



***INSTITUT FÜR  
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT  
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)***

*35. Jahresbericht*

***2002***

Universität Karlsruhe (TH)  
**Institut für Siedlungswasserwirtschaft**  
Forschungszentrum Umwelt (FZU)  
**Adenauerring 20**  
**D-76131 Karlsruhe**

April 2003

Das vorliegende Dokument ist auch über das Internet frei verfügbar:  
<http://isww.bau-verm.uni-karlsruhe.de/berichte/berichte.html>

## *Inhaltsverzeichnis*

<b>1 Das Institut .....</b>	<b>6</b>
1.1 Anschrift .....	6
1.2 Institutsleitung.....	6
1.3 Mitarbeiter.....	6
1.4 Institutsaufgaben .....	7
1.5 Ausstattung .....	7
1.5.1 Analytisches Labor .....	7
1.5.2 Mikrobiologisches Labor.....	8
1.5.3 Verfahrenstechnisches Labor und Versuchsanlagen .....	8
1.5.4 Online Messsysteme .....	8
1.5.5 Boot 8	
1.5.6 Metall- und Kunststoff- Modellbauwerkstatt .....	8
1.5.7 EDV 8	
<b>2 Lehrangebot .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Forschungstätigkeiten .....</b>	<b>11</b>
3.1 Integration von Aufwuchskörpern in Belebungsanlagen zur Verbesserung der Schlammindeces und zur Erhöhung der Sedimentationsleistung von Nachklärbecken.....	12
3.2 Herstellung und Charakterisierung anorganischer Polymere - Vergleich des Flockungsprozesses für silikapartikelhaltige Suspensa mit anorganischen Polymeren und traditionellen Flockungsmitteln .....	13
3.3 Quantifizierung der saisonalen, naturräumlichen und lokalen Abhängigkeit der Fremdwasserzuflüsse in Mischwasserkanalisationen .....	16
3.4 Leichtzuschlagstoffe aus Klärschlamm.....	17
3.5 Voruntersuchungen zur Klärschlammkonditionierung im Labormaßstab .....	19
3.6 Stoffstromanalysen für kleine und mittlere Flussgebiete als Grundlage für die Planung und Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen .....	20
3.7 Bilanzierung von Schwermetalleinträgen in die Fließgewässer des Landes Baden-Württemberg.....	22
3.8 Dynamik von Sickerwasserabfluß und Stofftransport in mineralischen Bodenkörpern unter spezieller Berücksichtigung der mikrobiellen Biomasse .....	24
3.9 Untersuchung und Optimierung des Betriebsverhaltens von Kleinkläranlagen unter Grenzlastbedingungen .....	26
3.10 Nutzung von Küchenabfallzerkleinern (KAZ) im Rahmen eines Abfallwirtschaftskonzeptes .....	27
3.11 Durchführung von Untersuchungen zur Quantifizierung der Möglichkeiten zur Leistungssteigerung von Belebungsanlagen durch Einbringung schwimmender Bewuchskörper .....	28

3.12 Erfassung der chemisch-physikalischen und biologischen Prozesse des Wasser- und des Stofftransportes im Umfeld von Kanalleckagen.....	31
3.13 Quantifizierung der Vergärbarkeit von organischen Reststoffen.....	33
3.14 In situ-Sanierung eines kiesig-sandigen Bodens.....	35
<b>4 Institutsveranstaltungen.....</b>	<b>39</b>
4.1 16. Karlsruher Flockungstage (November 2002).....	39
4.2 Institutsseminar.....	40
4.3 Studentenexkursion.....	42
4.4 Assistenten-Treffen.....	42
<b>5 Besucher.....</b>	<b>44</b>
<b>6 Mitgliedschaften in Fachausschüssen, Gremien und Verbänden.....</b>	<b>44</b>
<b>7 Dissertationen 2002.....</b>	<b>45</b>
<b>8 Diplom-, Vertiefer- und Studienarbeiten.....</b>	<b>45</b>
8.1 Diplomarbeiten.....	45
8.2 Vertieferarbeiten.....	46
<b>9 Veröffentlichungen.....</b>	<b>46</b>
<b>10 Schriftenreihe.....</b>	<b>48</b>

## *Vorwort*

Wir legen hiermit wieder einen Jahresbericht vor (den 35.): Einerseits als eine Bilanz für uns selbst, andererseits auch als eine Darstellung unserer Arbeiten für die interessierte Fachöffentlichkeit, ja sogar für die Öffentlichkeit, wenn sie über das Internet Zugang zu uns findet. Gerade die Information der Öffentlichkeit rückt in jüngster Zeit immer mehr ins Blickfeld der aus dem „Elfenbeinturm“ heraustretenden Wissenschaftler. Und die Bedeutung der Information der Öffentlichkeit, die früher oder später auch in eine Information des Entscheidungsfällenden und Politikers mündet, kann nicht genügend hoch eingeschätzt werden. Das Jahr, über das wir berichten, zeichnet sich neben den alljährlich stattfindenden Veranstaltungen wie unsere Institutsseminare und die Flockungstage - die bei wachsendem Zuspruch erheblichen Arbeitsaufwand darstellen - durch eine Reihe besonderer Ereignisse oder Entwicklungen aus, auf die in diesem Vorwort kurz eingegangen werden soll.

Zunächst ist einmal festzustellen, dass das Institut wieder einmal (zum zweiten Mal) Gastgeber für das sogenannte Assistententreffen, d.h. eine durch die Oswald-Schulze-Stiftung und andere Sponsoren mitfinanzierte Zusammenkunft der wissenschaftlichen Mitarbeiter aller deutschsprachigen Forschungs- und Lehreinrichtungen an wissenschaftlichen Hochschulen darstellt, ausrichten konnte. Besonderheit bei diesem sogenannten Assistententreffen war, dass wieder einmal, wie schon in der Anfangsphase dieser Assistententreffen, auch eine Reihe von Lehrstuhlinhabern zusammenkam, einerseits, um den Vorträgen und Beiträgen zuzuhören und andererseits, um auch den Kontakt mit der nächsten Generation der Fachvertreter zu wahren oder zu intensivieren. Allfällige Bedenken auf beiden Seiten gegen solche gemeinsamen Veranstaltungen konnten weitgehend zerstreut werden, so dass der Hoffnung Ausdruck gegeben werden kann, dass diese Assistententreffen in Zukunft wieder in der alten Form stattfinden werden.

Die Klärschlammdebatte des Jahres 2002, die in vielerlei Hinsicht eher emotional als rational war, hat auch das Institut erreicht und dies in zweifacher Hinsicht. Zum einen weil der Institutsleiter in seiner anderen Funktion als ATV-DVWK-Repräsentant sich öffentlich gegen ein vollständiges Verbot der Aufbringung geäußert hat, was der baden-württembergischen Meinung widersprach. Hier sind zweifelsohne auch unbeabsichtigt gewisse Nachteile für das Institut entstanden. Umgekehrt ist aber festzustellen, dass die jetzt im Land Baden-Württemberg propagierten neueren Erkenntnisse zum Vorhandensein zahlreicher (vornehmlich organischer) Schadstoffe im Klärschlamm vom Institut schon vor mehr als 10 Jahren veröffentlicht wurden und dies in einer sehr sorgfältig dokumentierten Dissertation (von Herrn Weißer). Wir haben uns zu fragen, warum diese Ergebnisse, die wir einerseits in der Institutsreihe veröffentlicht und andererseits auch in einem BMFT-Bericht dargestellt haben, nicht in die Öffentlichkeit in dem Sinne geraten sind, dass wir dafür eine Art Erstveröffentlichungsanspruch oder auch nur Anerkennung bekommen. Vielmehr werden wir im Gegenteil kritisiert für unser Festhalten an dem durch das Kreislaufwirtschaftsdenken gebotenen begrenzten Einsatz des Klärschlammes in der Landwirtschaft.

Ähnliches mag uns mit anderen Forschungsthemen geschehen, die gegenwärtig in der Bearbeitung anlaufen, wie etwa die Fragen der Vor- und Nachteile von Küchenabfallzerkleinerern in der Lösung der Akzeptanzprobleme der Biomüllsammlung und Biomüllverwertung oder auch in der generellen Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Kleinkläranlagen, insbesondere unter stark schwankenden Belastungen.

Vom Äußeren resp. auch Organisatorischen her ist in diesem Jahresbericht eine gewisse Neuerung zu verzeichnen, dass in vielen der aufgeführten Projekte die Projektleitung indirekt oder auch direkt auf die beiden Abteilungsleiter, Herrn Dr. Fuchs und Herrn Dipl.-Ing. Hoffmann übergegangen

gen ist, was nicht nur die Realität widerspiegelt, sondern vor allen Dingen auch zeigt, dass die Geldgeber nach und nach akzeptieren, dass nicht immer nur der Institutsleiter an erster Stelle stehen muss.

Abschließend ist vielleicht auch noch interessant darauf hinzuweisen, dass nach einem Jahr 2001 mit einem geringen Output an Promotionsarbeiten, nun das Jahr 2002 eine verhältnismäßig umfangreiche „Ernte“ zeitigt. Eine Größtzahl (im Vergleich mit allen anderen in den 35 vorangehenden Jahresberichten dargestellten Dissertationsvorhaben) ist abgeschlossen worden, z.T. allerdings in Form von externen Arbeiten, z.T. auch finanziert durch Graduiertenkollegs und Landesgraduiertenförderung. Ungeachtet der Finanzierung dieser Arbeiten ist festzustellen, dass das Institut und die Institutsangehörigen durch diese zahlreichen Arbeiten mit unterschiedlichsten Themen „sehr viel an Wissen dazu gewonnen haben“.

Wie üblich, aber nicht nur als Routine, möchte als Institutsleiter allen Institutsangehörigen sei es im technischen-verwaltungsmäßigen Bereich, sei es im wissenschaftlichen Bereich, sei es auch im studentischen Bereich (als Hilfskräfte) und nicht zuletzt auch den Zivildienstleistenden sehr herzlich danken für ihr Engagement für die Institutsarbeit und vor allem auch dem Redakteur dieses Berichtes Johannes Kraus. Wir haben zahlreiche Indikatoren, die erkennen lassen, dass die materielle Ausstattung des Institutes immer weiter zurück geht; der Institutsbericht mag aber zeigen, dass die Leistung des Institutes und sein Output wiederum gewachsen sind.

März 2003

H.H. Hahn

# 1 Das Institut

## 1.1 Anschrift

Institut für Siedlungswasserwirtschaft im forschungszentrum Umwelt  
 Universität Karlsruhe      Tel.:      0721/608-2457  
 Adenauerring 20              Telefax: 0721/607-151  
 76131 Karlsruhe  
<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gh40/Web/>  
 email: [isww@uni-karlsruhe.de](mailto:isww@uni-karlsruhe.de)

## 1.2 Institutsleitung

Professor Dr.-Ing. E.h. Hermann H. Hahn, Ph.D.

## 1.3 Mitarbeiter<sup>1</sup>

Wissenschaftliche Assistenten	Labormitarbeiter	Werkstatt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dr. Fuchs, Stephan</li> <li>• Hoffmann, Erhard</li> <li>• Dr. Würdemann, Hilke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwertner, Emanoil</li> <li>• Knäb, Birgit</li> <li>• Oeder, Patrick</li> <li>• Rapp, Nadine</li> <li>• Glieger-Ballon, Oliver</li> <li>• Schunder, Sebastian</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gomulski, Klaus</li> <li>• Derzapf, Josef*</li> <li>• Hick, Emanuel*</li> <li>• Schuler, Torsten</li> <li>• Seib, Andrej</li> </ul>
<b>Wissenschaftliche Mitarbeiter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bechtel, Antje</li> <li>• Blank, Andreas</li> <li>• Butz, Jan</li> <li>• Kegebein, Jörg</li> <li>• Kraus, Johannes</li> <li>• Lucas, Steffen</li> <li>• Oltmann, Anne*</li> <li>• Roddewig, Jochen</li> <li>• Scherer, Ulrike</li> <li>• Schnabel, Susanne*</li> <li>• Song, Yonghui*</li> <li>• Turkovic, Robertino*</li> <li>• Weber, Jan*</li> <li>• Zhang, Panyue</li> </ul>		<b>Sekretariat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laube, Ursula</li> <li>• Nollert, Christiana</li> </ul>
	<b>Zivildienstleistende</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Britting, Sebastian</li> <li>• Pinnow, Marcel</li> <li>• Pinter, Djordje*</li> </ul>	<b>Technische Abteilung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welker, Sigrid</li> </ul>
	<b>Doktoranden</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anders, Gereon* (S&amp;P)</li> <li>• Bekker, Marina</li> <li>□ Dobelmann, Jan Kai* (SLFA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scherer, Ulrike</li> <li>• Schwarz, Martin*</li> <li>□ Spahic, Mahmut (Saarberg-Hölter)</li> </ul>
<p>* Nicht im gesamten Zeitraum 2002 am ISWW</p>		

<sup>1</sup> Aktuelle Informationen über die Mitarbeiter des ISWW sind über das Internet erhältlich:  
<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gh40/Web/Mitarbeiter/Mitarbeiter.html>

## 1.4 Institutsaufgaben

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft bearbeitet in Lehre und Forschung sowohl verfahrenstechnische als auch planerische Fragestellungen.

Im verfahrenstechnischen Bereich konzentrieren sich die Arbeiten auf die Erforschung und Anwendung von Grundverfahren (unit operations) der Wasseraufbereitung, der konventionellen mechanisch-biologischen und der weitergehenden physiko-chemischen Abwasserreinigung sowie der Behandlung von Schlämmen. Ferner werden Verfahren zur mechanisch-biologischen Reinigung von Altlastböden erarbeitet. Basierend auf Grundlagenkenntnissen aus Wasserbau, Chemie, Physik, Biologie und Verfahrenstechnik wird die Lösung von praktischen Problemstellungen unter dem Gesichtspunkt einer verfahrenstechnischen Optimierung und Minimierung der Betriebskosten angestrebt.

Im planerischen Bereich stehen die Entwicklung und Anwendung computerorientierter Planungsverfahren für lokale, regionale und überregionale Ver- und Entsorgungseinrichtungen im Vordergrund. Dem mit Planungsaufgaben befassten Ingenieur werden Instrumentarien zur Verfügung gestellt, die eine Bearbeitung auch großer und komplexer Aufgabenstellungen in umfassenderer und effizienterer Weise erlauben, als es bisher mit konventionellen Planungsmethoden möglich war.

## 1.5 Ausstattung

### 1.5.1 Analytisches Labor

Durch die Ausstattung des Instituts mit modernen Analysengeräten kann in Wasser-, Abwasser-, Sediment-, Schlamm- und Bodenproben eine breite Palette von Summen- und Einzelparametern bestimmt werden. Das Spektrum der untersuchten Parameter reicht von einfachen pH-Wert Messungen bis zur quantitativen Bestimmung organischer Mikroschadstoffe. Dabei stehen unter anderem folgende Geräte zur Verfügung:

- CSB-Autoanalyser
- DOC/TOC-Analysegerät
- AOX-Analysegeräte
- Gefriertrocknungsanlage
- UV/VIS-Filter- und Spektralphotometer
- Anlage zur Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl
- Atomabsorptionsspektrometer
- Mikrowellenaufschlussgerät
- Kapillar-GC (FID, ECD, NPD)
- GC/MS-Kopplung
- HPLC-Gradienten System
- Anlage zur Gelpermeationschromatographie
- Einrichtung für SPME
- Elementaranalyse
- IR-Spektrometer
- Tensiometer
- CIS Partikelanalysegerät mit Laser- und Bildanalyse
- Zetameter zur Bestimmung der elektrophoretischen Beweglichkeit
- Laser-Doppler Anemometer

### **1.5.2 Mikrobiologisches Labor**

Das Institut verfügt über ein mikrobiologisches Labor zur Darstellung von Reinkulturen, Bakteri-identifikation und zum Betrieb von sterilen Batch- und kontinuierlichen Versuchen. Die Ausstattung besteht aus:

- Clean-bench
- Mikroskop mit Phasenkontrast
- temperierter Kulturraum
- Biolumineszenz-Messgerät
- Stereolupe

### **1.5.3 Verfahrenstechnisches Labor und Versuchsanlagen**

Für verfahrenstechnische Untersuchungen und Optimierungen im Bereich der Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung stehen mobile Versuchsanlagen im Labor- und Technikumsmaßstab zur Verfügung:

- Belebtschlammanlagen (2 l/h bis 1.000 l/h)
- Tropfkörper
- Scheibentauchkörper (5 bis 300 m<sup>2</sup> Scheibenfläche, resp. 150 – 2.000 l/d)
- Absetzbecken
- Flotationsanlagen z.T. mit nachgeschalteter Filtrationseinheit
- Kombinierte Sedimentations-/Elektroflotations-Modellanlage
- Flockungsanlagen (Reihenrührgeräte, Rohrreaktor)
- Schlammeindicker (Schlammhöhe bis 2,5 m) mit radiometrischer Dichte- und Kompressionsdruckmessung
- Anlage zur anaeroben Behandlung von organischen Hausmüllabfällen
- Hydrozyklon

### **1.5.4 Online Messsysteme**

- Messanlage zur Aufzeichnung und Probenahme bei Niederschlagsereignissen bestehend aus  
Regenschreiber  
Dataloggingsystem  
Probenehmer
- Mobiler On-line Messwagen zur Beprobung von Kläranlagen.

### **1.5.5 Boot**

Für gewässerkundliche Untersuchungen steht zu Forschungs- und Lehrzwecken ein Laborboot (Gewicht 4,5 t, Länge 8,5 m) zur Verfügung.

### **1.5.6 Metall- und Kunststoff- Modellbauwerkstatt**

Gemeinsam mit dem Forschungszentrum Umwelt verfügt das Institut für Siedlungswasserwirtschaft über eine mechanische Werkstatt, mit deren Hilfe sich labor- und versuchstechnische Anlagen konzipieren und für die jeweilige Anwendung modifizieren lassen.

### **1.5.7 EDV**

Neben üblichen Hard- und Softwarekomponenten verfügt das Institut zur Bearbeitung siedlungswasserwirtschaftlicher Fragestellungen über spezifische Programme:

### ***Graphische Arbeitsplätze***

An graphischen Arbeitsplätzen sind neben AutoCAD und SPARC auch ArcCAD, ARCVIEW sowie Visio, Harvard Graphics und weitere Graphik-Software vorhanden

### ***Simulationssoftware***

Zur Simulation unterschiedlicher Aufgabenfelder steht den Mitarbeitern eine Reihe von Tools zu Verfügung, die es erlauben, sowohl Prozesse der (biologischen) Abwasserreinigung (ARABER, GPS-X, Kasim (Modellbibliothek für Kläranlagen), Simulink) sowie biologische Vorgänge in Gewässern nachzuahmen, als auch Abflussereignisse (HauSS – Eigenentwicklung, Mouse, XP-EXTRAN/SWMM, ASIM 2 und 3) zu modellieren. Darüber hinaus sind am Institut Messsoftware mit Toolboxen (Matlab) sowie Dbase IV vorhanden.

### ***CIP-Pools***

Das Institut war und ist an mehreren CIP-Pools (Computerinvestitionsprogramm) der Universität beteiligt. Der CIP-Pool umfasst rund 30 vernetzte PC-Arbeitsplätze. Neben der für Bauingenieure speziellen Software, die dort zur Verfügung steht (R-STAB, RIB, ANSYS-ED usw.), sind CAD-Arbeitsplätze mit Digitalisieretablets installiert.

### ***WAP-Cluster***

Im Rahmen des WAP-Clusters (Wissenschaftliche Arbeitsplätze) wird durch die Vernetzung und Zusammenarbeit mehrerer Arbeitsplätze einzelner Institute in konkreten Projekten einerseits die Effektivität durch den erzielten Synergieeffekt gesteigert, andererseits können die Ressourcen der einzelnen Institute von dem jeweiligen Partnerinstitut mitbenutzt werden.

### ***Netzdienste***

Über das breitbandige Karlsruher Lichtwellenleiter Kommunikationsnetz (KLICK) ist jeder Arbeitsplatz am Institut direkt und permanent an das Internet angeschlossen. Dadurch können wichtige Netzdienste von allen Mitarbeitern in Anspruch genommen werden. Neben den bekannten Diensten auf der Basis des TCP/IP Protokolls (Email, SSH, SCP, FTP, TELNET, WWW usw.) ist eine Online Literaturrecherche in den Beständen der Universitätsbibliothek von jedem Arbeitsplatz aus möglich. Es besteht zudem Zugang zu Vektor- und Parallelrechnern (Rechenzentrum Universität Karlsruhe) und Zugang zu zentralen Datenbanken (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg usw.). Weiteren Recherchen zu wissenschaftlichen Zwecken über das weltweite Internet sind keine Grenzen gesetzt.

Im lokalen Bereich können über das Institutsnetz von jedem Arbeitsplatz folgende zusätzliche Dienste in Anspruch genommen werden:

- Transparenter Zugriff auf gemeinsame Speicherbereiche (NFS)
- Plotten/Drucken über das Universitäts-Netzwerk auf Geräte des Rechenzentrums
- Institutsinterne Email-Liste

Weiterhin fungieren Mitarbeiter des Instituts in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum der Universität Karlsruhe als Betreuer der bundesweiten Email-Liste für Wissenschaftler im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft über das Internet<sup>2</sup>.

- Listenadresse: siwawi-l@uni-karlsruhe.de

---

<sup>2</sup> Informationen über die Email-Liste für SiedlungswasserwirtschaftlerInnen sind über das Internet erhältlich:  
<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gh40/Web/siwawi/siwawi-l.html>

## 2 Lehrangebot

<u>WINTERSEMESTER</u>	<u>SOMMERSEMESTER</u>
<b>Informationsverarbeitung im Bauingenieurwesen</b> 1V/1Ü Lucas/Münch	<b>Verfahrenstechnik in der Wassergütewirtschaft</b> 2V Hahn/Hoffmann
<b>Laborpraktikum</b> 2V Hoffmann/Kraus	<b>Praktikum Verfahrenstechnik in der Wassergütewirtschaft</b> 2Ü Hahn/Hoffmann
<b>Projekt „Planen, Entwerfen, Konstruieren“</b> 2Ü Scholl/Fuchs u.a.	<b>Informationstechnologie in der Siedlungswasserwirtschaft</b> 1V/1Ü Butz
<b>Siedlungswasserwirtschaft und Ingenieurökologie</b> 2V/1Ü Hahn/Winter/Butz	<b>Einführung in die Industrieabwasserreinigung</b> 2V Hahn/Winter
<b>Stoffstromanalyse und Management in der Wassergütewirtschaft</b> 2V Hahn/Fuchs	<b>Operations Research</b> 2V/1Ü Hahn/Cembrowicz/Kraus
<b>Physikalisch-chemische Verfahren der Siedlungswasserwirtschaft</b> 2V Hahn/Hoffmann	<b>Siedlungswasserwirtschaftliches Seminar</b> 2S Hahn u. Mitarbeiter
<b>Bemessung von Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft</b> 1V Hahn/Hoffmann	<b>Integriertes Planen</b> 2S Fuchs/Bechtel/Roddewig
<b>Übungen zu Bemessung von Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft</b> 1Ü Hoffmann	<b>Umwelt und Hygiene</b> 1V Würdemann
<b>Altlasten</b> 2V Würdemann/Hahn	<b>Informationsverarbeitung im Bauingenieurwesen</b> 1V/2Ü Lucas
<b>Praktikum zur Verfahrenstechnik der Abwasserwirtschaft</b> 3Ü Hoffmann	<b>Bootspraktikum</b> 1V/1Ü Fuchs
<b>Siedlungswasserwirtschaftliches Seminar</b> 2S Hahn u. Mitarbeiter	<b>Geoökologisches Seminar in der Siedlungswasserwirtschaft</b> 2S Fuchs
<b>Seminar Umwelthygiene</b> 2S Würdemann	<b>Seminar Einführung in Diplomarbeiten</b> Ü Hoffmann
<b>Seminar Einführung in Diplomarbeiten</b> Ü Hoffmann	<b>Repititorium SWW</b> Ü Hoffmann
<b>Repititorium SWW</b> Ü Hoffmann	

### 3 Forschungstätigkeiten<sup>3</sup>

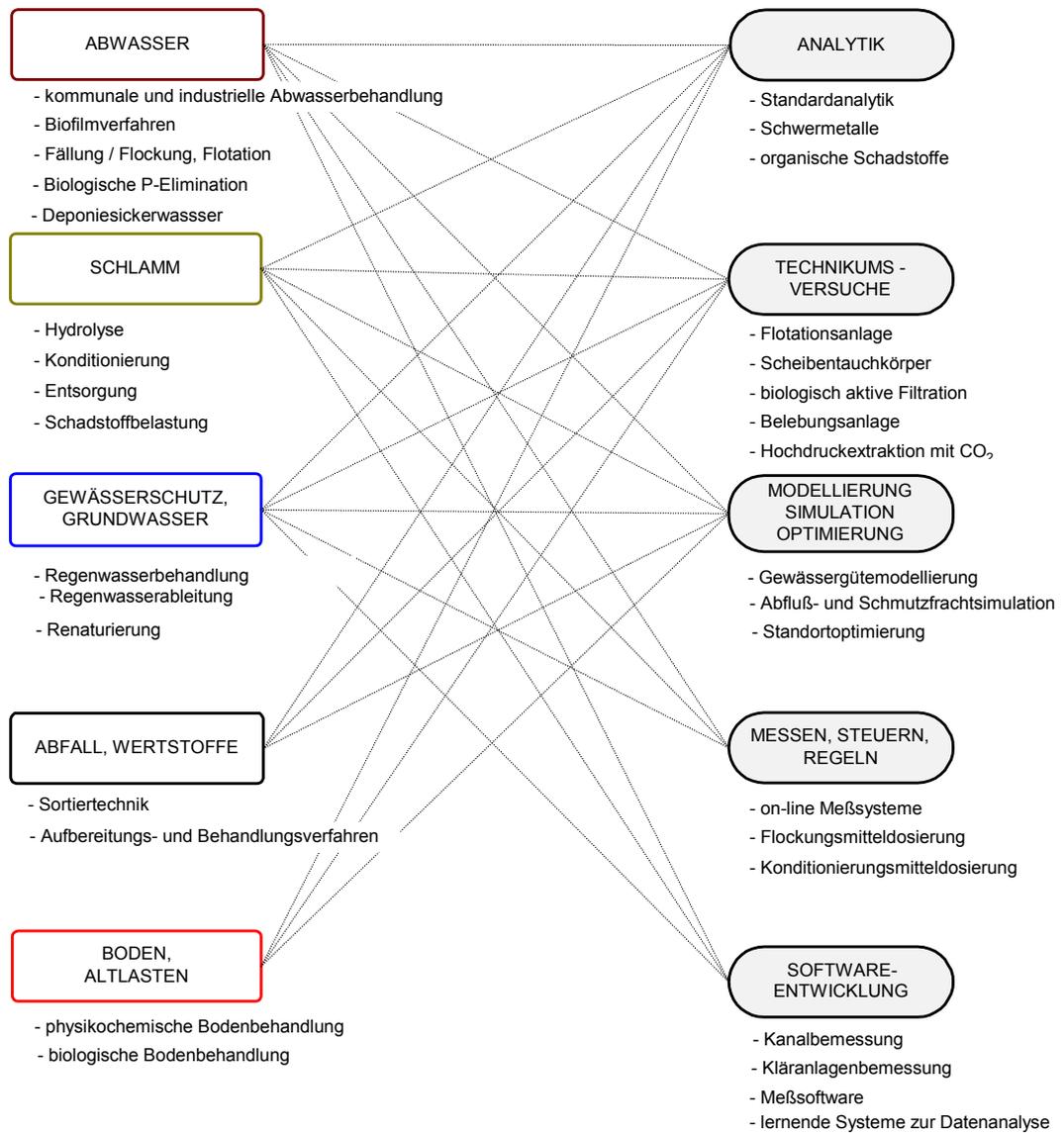


Bild 3-1: Forschungstätigkeiten im Überblick

Die Skizze zeigt die wichtigsten Forschungsthemen (links) und die zur Bearbeitung verwendeten Instrumente und Methoden (rechts)

<sup>3</sup> Die nachfolgenden sowie weitere Forschungsberichte des ISWW sind über das Internet unter der folgenden Adresse zu finden:

<http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gh40/Web/forschungsprojekte/projekte.html>

### 3.1 Integration von Aufwuchskörpern in Belebungsanlagen zur Verbesserung der Schlammindeces und zur Erhöhung der Sedimentationsleistung von Nachklärbecken

Grundsätzlich werden „neue“ Schwimm- und Blähschlammprobleme gerade bei Anlagen mit biologischer Phosphorelimination und Denitrifikation in zunehmendem Masse beobachtet, deren Auswirkungen sich vorwiegend in einer Verschlechterung der Phasenseparation dokumentieren lassen. Die Ursachen sind derzeit wenig verstanden. Vielfach werden als Erklärung Ursachenbündel aufgeführt, die eines gemeinsam haben: Die Korrelation der Auftretenswahrscheinlichkeit von Schwimm- und Blähschlammphänomenen mit der vorhandenen Verfahrenstechnik der Anlage.

Scheinbar in Vergessenheit geraten sind in diesem Zusammenhang Festbettreaktoren, schwimmende Aufwuchskörper und Sequencing Batch Reaktoren, welche tendenziell einen niedrigeren Schlammindeces aufweisen.

Ziel dieses Vorhabens ist es, mit Hilfe vorgeschalteten Sequencing Batch Biofilm Reaktoren, einerseits eine Ertüchtigung bestehender konventioneller Kläranlagen im Bereich der Nachklärung und andererseits eine erweiterte biologische Phosphorelimination zu erreichen.

Im Jahr 2002 wurde das Vorhaben fortgeführt. Die Versuchsanlage wurde von Hilfswissenschaftlern, als auch von einem Diplomanden betreut. Der Diplomand untersuchte den Schlamm des SBB-Reaktors, um eine "Differenzierung der Aktivität suspendierter und sessiler Biomasse im Hinblick auf die biologische Phosphorelimination mittels Kinetikuntersuchungen" (Ajim, 2002) zu ermöglichen.

Die Ergebnisse des praktischen Versuchs wurden mittels Simulation verifiziert und im Jahr 2002 abgeschlossen (Dutta, 2002). Hierzu wurde das Simulationsmodell GPS-X (Hydromantis, Inc.) verwendet. Um die erweiterte biologische Phosphorelimination im Sequencing Batch Biofilm Reaktor darzustellen, wurde uns ein eigens für dieses Projekt entwickeltes Tool von der Softwarefirma zur Verfügung gestellt.

#### Literatur:

- AJIM, H. (2002) Differenzierung der Aktivität suspendierter und sessiler Biomasse im Hinblick auf die biologische Phosphorelimination mittels Kinetikuntersuchungen.
- DUTTA, S. (2002) Modelling and simulation of Sequencing Batch Biofilm Reactor for enhanced biological phosphorous removal with post Denitrification and Nitrification in treatment of municipal wastewater.
- KNORPP, K. (2001) Charakterisierung des sessilen und suspendierten Schlammes einer konventionellen Belebungsanlage mit vorgeschaltetem Sequencing Batch Biofilm-Reaktor; Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe.
- WEBER, W. (1993) Betriebserfahrungen mit getauchten Festbetten; Manuskript Vortrag anlässlich des ATV-Seminars Einsatz von Biofilmreaktoren
- WENTZEL, M.C.; DOLD, P.L.; EKAMA, G.A.; MARAIS, G.V.R. (1985) Kinetics of biological phosphorus release. In: Enhanced biological phosphorus removal from wastewater. Wat. Sci. Tech. Vol. 17, Nr. 11 u. 12; S. 57-71
- WILDERER, P.A. (1995) Bio-P in SBR-Anlagen; Bio-P Hannover 95; Internationale Konferenz zur vermehrten biologischen Phosphorelimination; Heft 92; Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover; 1995
- WINKLER, U. (2001) Betriebsoptimierung eines zur biologischen Phosphorelimination betriebenen halbertechnischen Sequencing Batch Reaktor mit eingebauten Festbetten; Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe.

Stichworte: **Belebungsanlagen, Schwimm- und Blähschlamm, SBR-Verfahren**

**Projektleitung** Dipl.-Ing. E. Hoffmann

**Sachbearbeiter** Dipl.-Ing. Jan T. Weber  
**Zeitraum** August 2001 - Oktober 2002  
**Finanzierung** BMBF



### 3.2 Herstellung und Charakterisierung anorganischer Polymere - Vergleich des Flockungsprozesses für silikapartikelhaltige Suspensa mit anorganischen Polymeren und traditionellen Flockungsmitteln

Der Flockungsprozess ist ein häufig eingesetztes Verfahren in der Wasseraufbereitung, Abwasserreinigung und Schlammbehandlung [KLUTE, 1992]. Durch Zugabe von Flockungsmitteln werden dispergierte Partikel und andere unerwünschte oder schädliche Stoffe, die an den Partikeln adsorbiert werden können, entfernt. Eine möglichst weitgehende Ausnutzung des Potentials der Chemikalien zur Koagulation der Wasserinhaltsstoffe im Hinblick auf eine Maximierung der Formation der effizientesten Spezies und eine Minimierung der Betriebskosten spielen eine große Rolle. Dabei werden Aluminium- und Eisensalze als Flockungsmittel am häufigsten angewendet. Um eine effizientere Ausnutzung des Flockungsmittels zu erreichen, werden die traditionellen Metallsalze durch Vorneutralisierung und Einsatz anderen Komponenten zu anorganischen Polymeren oder Mehrfachpolymeren mit höherer Ladungsdichte und größerem Molekulgewicht umgeformt [TANG, 1990 \ GAO, 1998 \ WATANABE, 1998 \ SØGAARD, 2002].

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Herstellung und Charakterisierung anorganischer Polymere und Mehrfachpolymere, den Vergleich der Wirksamkeit der Polymere, sowie der Mehrfachpolymere und der traditionellen Metallsalze beim Flockungsprozess. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### (1) Polyaluminium Chlorid

PAC wurde durch die Zugabe von Basen in die AC-Lösung mit verschiedener Basizität jeweils unter 2,5 hergestellt. Wegen der Hydrolyse und der Polymerisation der Aluminiumionen verändert sich der pH-Wert der AC-Lösung im Basizitätsbereich von 0,25 – 2,25 sehr langsam.

Der pH-Wert von PAC ist abhängig von der Basizität, der Konzentration der Aluminiumionen, der Basenart und der Lagerzeit. PAC mit einer Basizität unter 2,5 und einer Konzentration unter 0,5 mol/l von Aluminium kann lange stabil bleiben. Die <sup>27</sup>Al-NMR-Spektren der PAC-Lösung zeigen, dass die höher geladenen Al<sub>13</sub>-Spezies sich in PAC finden und das Verhältnis zwischen Al<sub>13</sub>-Spezies und Monomeren in der PAC-Lösung mit zunehmender Basizität zunimmt. Das Zetapotential und der SC-Wert der Partikel für PAC mit höherer Basizität im ionenfreien Wasser sind positiver bei gleicher Dosiermenge als für PAC mit niedrigerer Basizität und AC.

Beim Flockungsprozess mit Leitungswasser zeigt PAC (B = 2,0) deutlich bessere Eigenschaften als AC. Bei gleicher Dosiermenge ist das Zetapotential der Partikel für PAC positiver als für AC. Die Partikelanzahl nimmt mit zunehmender Flokkulationszeit und Dosiermenge bei PAC schneller ab und der mittlere Partikeldurchmesser schneller zu als bei AC. Bei höheren Dosierungen und längeren Flokkulationszeiten nimmt die Partikelanzahl immer langsamer ab, und es setzt ein Rückgang des mittleren Partikeldurchmessers wegen der Zerstörung und Absetzung der größeren Ag-

gregate ein. Die kumulative Partikelvolumen- und die Partikelgrößen-Verteilung nach zahlenmäßiger Dichte zeigen, dass für PAC größere Partikel und insgesamt mehr große Partikel vorliegen. Aber es gibt keinen deutlichen Unterschied hinsichtlich der Trübungselimination zwischen PAC und AC.

## **(2) Polyaluminium Silikate**

Beim Titrationsprozess der Natronwasserglaslösung mit Salzsäurelösung ist eine abrupte Veränderung des pH-Wertes von 6 auf 2 zu beobachten. Wegen der starken Tendenz zur Gelatinierung bei einem pH-Wert über 3 wurde Polykieselsäure durch eine möglichst schnelle Vermischung von Salzsäurelösung und Natronwasserglaslösung hergestellt. Die verwendeten Polykieselsäuren mit einer Konzentration von 0,28 bzw. 0,56 mol/l Silicium weisen pH-Werte von 1,41 bzw. 0,98 auf. Die zulässige Lagerzeit der Polykieselsäure beträgt weniger als 30 min.

Durch Vermischung von kommerziellem Polyaluminium Chlorid - PAX-18 - und eigens hergestellter Polykieselsäuren wurde PASC hergestellt. Die Konzentration der Aluminiumionen in PASC beträgt 1, 2 und 3 mol/l; die Si/Al-Werte 1/20, 1/15, 1/10 und 1/5.

Der pH-Wert von PASC hängt von der Konzentration der Aluminiumionen und dem Si/Al-Wert ab. Alle pH-Werte der hergestellten PASC liegen zwischen 1,5 und 3,0; diese PASC sind über lange Lagerzeiten stabil. Aluminiumspezies finden sich in konzentrierter PAX-18 und PASC nur in der Form von Monomeren, Dimeren und Trimeren. Nach Verdünnung auf eine Konzentration von 0,1 mol/l treten die  $Al_{13}$ -Spezies auf. Das Verhältnis zwischen  $Al_{13}$ -Spezies und Monomeren nimmt mit zunehmendem Si/Al-Wert ab. Für PASC ist das Zetapotential bei gleicher Dosiermenge negativer als für PAX-18. Mit zunehmendem Si/Al-Wert und abnehmender Konzentration von PAC reduziert sich die Ladungsneutralisierungsfähigkeit stetig.

Beim Flockungsprozess mit Leitungswasser zeigt PASC im Hinblick auf die Aggregation, das Wachstum der Partikel und die Trübungselimination bessere Eigenschaften als PAX-18, obwohl PAX-18 eine bessere Ladungsneutralisierung bewirkt. Bei PASC ist das Zetapotential bei gleicher Dosiermenge kleiner als bei PAX-18. Für PASC nimmt die Partikelanzahl mit zunehmender Dosierung und zunehmender Flokkulationszeit schneller ab als für PAX-18. Der höhere Si/Al-Wert und die niedrigere Konzentration fördern diesen Effekt. Der mittlere Partikeldurchmesser nimmt entsprechend für PASC schneller zu als für PAX-18. Für höhere Si/Al-Werte bzw. niedrigere Konzentrationen steigt der mittlere Partikeldurchmesser schneller. Bei höherer Dosierung und längerer Flokkulationszeit nimmt die Partikelanzahl langsamer ab und der mittlere Partikeldurchmesser geht zurück. Entsprechend zeigt PASC eine bessere Trübungselimination als PAX-18. Höhere Si/Al-Werte von PASC sind günstiger für die Trübungsreduktion; jedoch ist der Einfluss der Konzentration von PASC hierauf nicht sehr ausgeprägt.

## **(3) Vergleich der Flockungsprozesse mit Aluminium(III)- und Eisen(III)salzen**

Für PAC ist das Zetapotential bei gleicher Dosis deutlich positiver als für FC und FS. Für FC verläuft die Abnahme der Partikelanzahl mit zunehmender Flokkulationszeit und zunehmender Dosierung deutlich schneller als für FS und PAC. Entsprechend nimmt der mittlere Partikeldurchmesser für FC deutlich schneller zu als für FS und PAC. Analog der kumulativen Partikelvolumen- und der Partikelgrößen-Verteilung nach der Dichte erreichen die Partikel für FC größere Durchmesser als für FS und PAC; das Volumen bzw. die Anzahl der größeren Partikel haben einen größeren Anteil an dem gesamten Partikelvolumen bzw. der -anzahl für FC als für FS und PAC. Bei höherer Dosiermenge und längerer Flokkulationszeit verändert sich die Partikelanzahl ebenfalls nur wenig; der mittlere Partikeldurchmesser geht gleichzeitig zurück. Die durch den Flockungsprozess indirekt bewirkte Trübungselimination ist am weitestgehenden bei FC, dann folgen bei PAC und FS (gleiche Dosiermenge vorausgesetzt). Eine Erhöhung des Energieeintrages verbessert die Flockungseffizienz bei allen Flockungsmitteln. Das Zetapotential bei dem niedrigeren

pH-Wert von 6,3 des Testwassers steigt im Gegensatz zu dem bei pH 7,9. Aber für alle Flockungsmittel wird die Flockungseffizienz bei Abnahme des pH-Wertes und gleichzeitiger der Erhöhung des Zetapotentials schlechter.

Obwohl PAC ein klar besseres Ladungsneutralisierungsvermögen aufweist, besitzt FC bessere Eigenschaften hinsichtlich Partikelwachstum und Flockungseffizienz. Aluminium(III)salze und Eisen(III)salze bewirken unterschiedliche Flockungsmechanismen in silikapartikelhaltigen Suspensionen.

**(4) Kinetische Aspekte:**

Bei einer Dosiermenge von 35,625 µmol/l von PAC und AC ist das Geschwindigkeitsgesetz erster Ordnung im Anfangsstadium bis 13,5 min zu beobachten; bei verlängerter Flokkulationszeit folgt der Koagulationsverlauf jedoch nicht mehr dem Gesetz einer Reaktion erster Ordnung.

Bei niedrigerer Dosiermenge sind lineare Koagulationsverläufe zu beobachten. Mit zunehmender Dosierung erhöht sich die Koagulationsgeschwindigkeit. Bei höherer Dosiermenge ist die Koagulationsgeschwindigkeit im Anfangsstadium sehr schnell, nimmt anschließend ab und bleibt schließlich unverändert auf einem konstanten Niveau.

Unter den verschiedenen Flockungsmitteln ist die Koagulationsgeschwindigkeit für FC am größten; dann folgen PAC und FS; für AC ist die Geschwindigkeit am geringsten. Im Vergleich zu PAX-18 ist die Koagulationsgeschwindigkeit für PASC höher, besonders für PASC mit höherem Si/Al-Wert.

Die gewählte Erhöhung des Energieeintrages von 45 auf 70 rpm führt zu einer Zunahme der Kollisionshäufigkeit und damit auch der Koagulationsgeschwindigkeit.

Der niedrigere pH-Wert von 6,3 lässt die Koagulationsgeschwindigkeit im Vergleich zu dem neutraleren pH-Wert von 7,9 abnehmen.

Literatur

GAO, B. (1998): „Applied Basic Studies on inorganic polymer flocculant polyaluminum silicate chloride“; Dissertation der Tsinghua University, Beijing.

KLUTE, R. (1992): „Polymerisierte Metallsalze und ihre Anwendung der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung“; 6. Karlsruhe Flockungstage; S. 123-135.

SØGAARD, E.G. (2002): „Production of the coagulation agent PAX-14, Contents of polyaluminium chloride compounds“; In: HAHN, H. H., HOFFMANN, E., ØDEGAARD, H. (Eds.): Chemical Water and Wastewater Treatment; Springer, Berlin, S. 3-16.

TANG, H.X., LUAN, Z.K. (1996): „The differences of behaviour and coagulating mechanism between inorganic polymer flocculants and traditional coagulants“; In: Hahn, H.H., Hoffmann, E., Ødegaard, H. (Eds.): Chemical Water and Wastewater Treatment; Springer, Berlin, S. 83-93.

WATANABE, Y., HASHIMOTO, K., HASEGAWA, T., KAMEDA, S., SUZUKI, H. (1998): „Application of polysilicate-iron coagulant to coagulation of algae and municipal wastewater“; In: Hahn, H.H., Hoffmann, E., Ødegaard, H. (Eds.): Chemical Water and Wastewater Treatment; Springer, Berlin, S. 3-13.

Stichworte: **Flockung, Anorganische Polymere**

**Projektleitung** Prof. Dr. Ing. E.h. H.H.Hahn, Ph.D.  
Dipl.-Ing. E. Hoffmann

**Sachbearbeiter** Master-Ing. Panyue Zhang

**Zeitraum** ab Oktober 2000

**Finanzierung** Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)



### 3.3 Quantifizierung der saisonalen, naturräumlichen und lokalen Abhängigkeit der Fremdwasserzuflüsse in Mischwasserkanalisationen

Seit vielen Jahren ist das Problem ‚Fremdwasser‘ in der Fachwelt bekannt. Aus verschiedenen Quellen stammende Wasserströme führen zu wirtschaftlichen und betrieblichen Nachteilen. Unkontrolliertes Verhalten der Anlagen zur Mischwasserbehandlung, eine verminderte Reinigungsleistung von Kläranlagen sowie erhöhte Investitions- und Betriebskosten können die Folgen erhöhter Fremdwasserabflüsse sein. In der jüngeren Vergangenheit abgeschlossene Untersuchungen belegen, dass die anzusetzenden Fremdwasserzuschläge deutlich über den in der Planungspraxis üblichen, pauschalen Annahmen (50...200%) liegen können. Außerdem wird immer wieder über eine starke Saisonalität in Bezug auf das Auftreten von Fremdwasser berichtet.

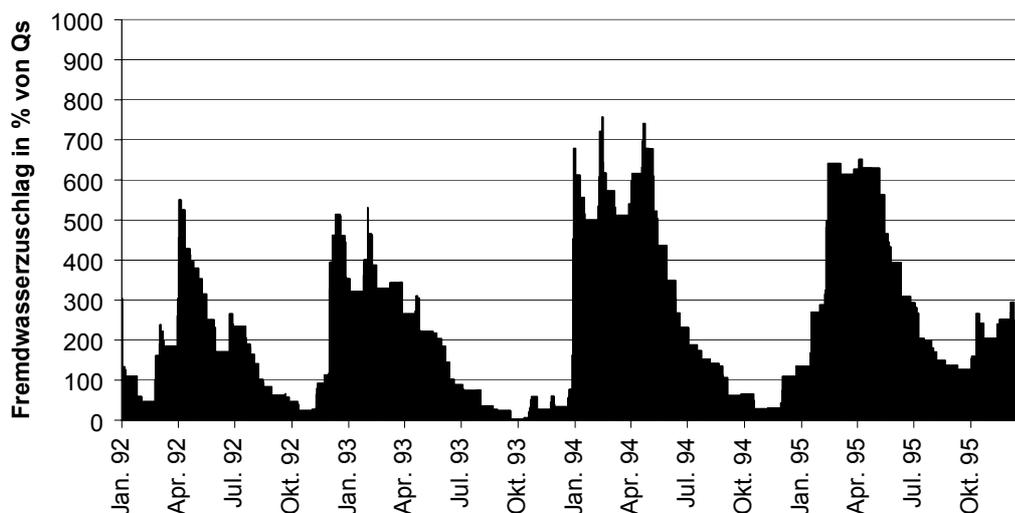


Bild 3-2: Saisonale und jahreszeitliche Schwankungen des Fremdwasserzuschlages einer Kläranlage ermittelt mit der Methode des gleitenden Minimums

Das Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit mit der Firma UFT, Bad Mergentheim durchgeführt, um das "Fremdwasser-Problem" in Baden-Württemberg quantifizieren. Zu diesem Zweck wurde ein Datenpool der Firma UFT mit 34 Kläranlagen in Baden-Württemberg ausgewertet. Um die Zuflusscharakteristik der Abwasserreinigungsanlagen in Bezug auf den Fremdwasserzuschlag auswerten zu können, wurde ein neues Verfahren, die *Methode des gleitenden Minimums* entwickelt. Es zeigte sich, dass grundsätzlich alle Kläranlagen im Jahresverlauf saisonale Schwankungen aufweisen. Dabei treten hohe Fremdwasserzuflüsse vorzugsweise im Winter und Frühling, niedrige im Sommer und Herbst auf. Die Schwankungsbreiten Sommer- zu Winterhalbjahr können sehr gering sein, bei stark mit Fremdwasser belasteten Anlagen aber auch bis zu 1:10 betragen.

Die Daten der 34 Entwässerungsnetze wurden außerdem im Hinblick auf die regionale Verteilung der Fremdwasserprobleme untersucht. Dabei gelang es, einen Zusammenhang zwischen dem maximal auftretenden Monats-Fremdwasserzuschlag einer Kläranlage und dem Naturraum, in welchem sich die Anlage befindet, herzustellen.

Derzeit konzentrieren sich die weiteren Arbeiten einerseits auf die Verifizierung der bislang gewonnenen Erkenntnisse durch eine Ausweitung des Datenpools. Andererseits wird anhand von statistischen, flächendeckend verfügbaren Informationen der Einfluss verschiedener potentieller Einflussfaktoren auf die Fremdwasserproblematik geprüft.

Literatur:

BROMBACH, H., WEIß, G., LUCAS, S. (2002): Temporal Variation of Infiltration Inflow in Combined Sewer Systems, 9. International Conference on Urban Drainage ICUD, September 8-13, 2002, Portland, Oregon.

Stichworte: **Fremdwasser**

**Projektleitung** Dr.-Ing. S. Fuchs  
 Prof. H.H. Hahn, Ph.D.  
**Sachbearbeiter** Dipl.-Ing. Steffen Lucas  
**Zeitraum** Herbst 2000 - Frühjahr 2001  
**Finanzierung** Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg



### 3.4 Leichtzuschlagstoffe aus Klärschlamm

**Ausgangssituation**

In der Bundesrepublik fallen ca. 2,5-3 Mio. jato Trockenrückstand (TR) kommunaler Klärschlämme an. Davon wird ein Großteil deponiert, etwa 45% landwirtschaftlich verwertet und ca. 19% verbrannt [ATV, 1998]. Der bisherige Entsorgungsweg der Deponierung entfällt gemäß den Bestimmungen der TA Siedlungsabfall ab 2005 [ABFABLV, 2001]. Der landwirtschaftlichen Nutzung stehen aufgrund des Schadstoffpotentials Akzeptanzprobleme entgegen. Ein alternatives Verwertungskonzept ist die Herstellung von Leichtzuschlagstoffen, deren bekannteste Vertreter Blähton bzw. Hydrokultur sind. Um die Eignung von Klärschlamm für einen vergleichbaren Herstellungsprozess zu untersuchen, wurden hierzu verschiedene Brennversuche durchgeführt.

**Einfluss der Brenntemperatur**

Bild 3-3 zeigt 12 Proben in nach der Brenntemperatur aufsteigender Reihenfolge von 1.100 bis 1.290°C. Alle Proben wurden bei 550°C 20 min lang vorerhitzt und dann 10 min bei  $T_B$  gebrannt. Zuerst einmal macht sich die Farbänderung bemerkbar: Der anfängliche ziegelrotbraune Farbton wird mit wachsender Temperatur immer dunkler und ist ab 1.250°C dunkelgrau-schwarz mit nur einem leichten Rotstich; bei 1.290°C verbleibt als Farbe nur noch anthrazit. Gleichzeitig nimmt auch der Glanz zu: Während ein solcher bei 1.180°C erst nur schwach zu erkennen ist, nimmt auch er mit der Temperatur zu und ist ab 1.250°C als „metallisch glänzend“ zu bezeichnen; bei 1.275°C ist gar ein Goldbronze-Ton auszumachen. Verbunden mit der glänzenden Oberfläche ist naturgemäß auch ihre Glattheit: Infolge der zunehmenden Erweichung nimmt die Rauigkeit deutlich ab. Zwischen 1.275 und 1.290°C wird der Schmelzpunkt erreicht, der in der Keramikindustrie als sog. Halbkugelpunkt definiert ist.

Verbunden mit diesem äußeren Erscheinungsbild sind auch die physikalischen Eigenschaften wie Bläh- und Sintergrad. Während eine Versinterung schon bei 1.100°C festzustellen ist, setzt das Blähen erst ab etwa 1.200°C ein, erkennbar u.a. an dem feinen Porensystem, welches an der Auflagefläche z.T. offen zu Tage tritt; es wird mit anwachsender Temperatur immer größer, bis die

Proben ab 1.260°C quasi hohl sind. Entsprechend der zunehmenden Versinterung bzw. Erweichung nimmt auch die Haftung an der Feuerfestunterlage zu.



Bild 3-3: Auswirkung der Brenntemperatur

Aufgrund der Tatsache, dass das Brennen ohne Gutbewegung bzw. ohne Bepuderung mit einer hochschmelzenden Komponente (wie in der Praxis der Blähtonerzeugung üblich) erfolgte, was ein Festsintern behindern würde, ist ab 1.190°C ein minimales Kleben zu beobachten, welches ab 1.230°C deutlich und bei 1.260°C stark ausgeprägt ist. Bei 1.275 und 1.290°C sind die Pellets unlösbar mit der Unterlage verbunden. Neben dem gröber bis hohl werdenden Porensystem wird die Brauchbarkeit der Pellets also auch dadurch eingeschränkt, dass die Pellets mit der Unterlage bzw. bei Kontakt auch miteinander versintern. Als geeignetes Intervall für die Brenntemperatur ist daher der Bereich zwischen 1.190°C und 1.230°C anzusehen.

### **Brenndauer**

Der Effekt der zweiten Haupteinflussgröße - die Brenndauer - ist in *Bild 3-4* dargestellt. Bei dieser Versuchsreihe wurde die Brenntemperatur bei 1.220°C konstant gehalten und die Verweildauer zwischen 1 und 60 min variiert (die Vorwärmparameter waren mit 550°C/20 min unverändert). Es ergibt sich ein im Vergleich zur Brenntemperatur sehr ähnliches Bild sowohl in Farbe, im Bläh- und Erweichungsverhalten sowie der Klebeneigung: Die Farbe wechselt wiederum von einem in diesem Fall hellen, matten Ziegelrot (1 min) über braunschwarz, mattglänzend (12 min) bis dunkelgrau-schwarz mit Metallglanz (>30 min). In gleicher Weise steigt auch wieder der Verschlackungsgrad und die Klebeneigung sowie auch die Blasenbildung; bei Verweilzeiten > 24 min sind die Pellets aus den o.g. Gründen unbrauchbar.

Die Laborversuche zeigen, dass es bei Wahl geeigneter Verweilzeiten und Brenntemperaturen möglich ist, qualitativ hochwertige Leichtzuschlagstoffe aus dem Beiprodukt der Abwasserreinigung herzustellen, was auch anhand von Klärschlämmen unterschiedlicher Herkunft verifiziert werden konnte.



Bild 3-4: Auswirkung der Brennzeit

Literatur:

ABFABL (20.02.2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung - AbfAbLV); Bundesgesetzblatt I, S. 305-317.

ATV (01/1998): Klärschlammumfrage der ATV ermöglicht Kostentransparenz in der Abfallwirtschaft; Presseinformationen.

Stichworte: Klärschlammverwertung, Leichtzuschlagstoffe, Blähvorgang

**Projektleitung** Prof. Dr.-Ing. E.h. H. H. Hahn, Ph.D.  
 Dipl.-Ing. E. Hoffmann  
**Sachbearbeiter** Dipl.-Ing. Johannes Kraus  
**Zeitraum** 12.1998 - 11.2003  
**Finanzierung** bisher aus Eigenmitteln des Instituts



### 3.5 Voruntersuchungen zur Klärschlammkonditionierung im Labormaßstab

Die wirtschaftliche Entwässerung von Klärschlamm ist mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Ausbringung von Flüssigschlamm für fast alle großtechnisch angewendeten Entsorgungs- und Verwertungsverfahren Voraussetzung. In den letzten Jahren haben organische Polymere gegenüber der Anwendung von Eisen- und/oder Aluminiumsalzen Marktanteile gesichert. Gründe hierfür sind zum einen die im Gegensatz zu den anorganischen Flockungs-/Fällungsmitteln nur sehr

geringe Zunahme der Schlammmenge, zum anderen Vorteile bei der weiteren Behandlung des Schlammkuchens insbesondere dann, wenn die thermische Schiene gewählt wird.

Für den Einsatz derartiger Konditionierungshilfsmittel ist es jedoch sowohl aus Kosten- als auch Verfahrensgründen unerlässlich, die Zugabe hinsichtlich der Dosiermenge zu optimieren. Underdosierung verursacht schlechte Entwässerungsergebnisse, Überdosierung kann ebenfalls zu einer Verschlechterung führen und erhöht darüber hinaus die Betriebskosten. Oftmals vertreiben die auf diesem Sektor tätigen Firmen nicht nur die entsprechenden Einsatzmittel, sondern stellen auch dafür erforderliche Dosier- und Lösestationen her. Sie sind daher - neben den Anwendern - bestrebt, den ganzen Prozess von der Zugabe über die Lösung/Reifung, die Mischung mit dem zu flockenden Schlamm sowie die Entwässerung selbst zu optimieren. Eine Schlüsselrolle kommt dabei der Dosier- und Lösetechnik zu, da diese oftmals den einen entscheidenden Schritt darstellt. Die Fa. Reiflock Abwassertechnik, Baden-Baden, entwickelt hierzu im Rahmen eines DBU-Forschungsvorhabens eine neuartige Station, die nicht batchweise sondern quasikontinuierlich eine Gebrauchslösung aus einer Kombination von Flüssig- und Pulverpolymeren herstellen und dem zu flockenden Schlamm zumischen soll. In diesem Zusammenhang wurden am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe (TH) Voruntersuchungen zur Klärschlammkonditionierung im Labormaßstab durchgeführt []. Dabei wurden verschiedene Flockungsmittel getestet, um sowohl deren optimale Kombination, als auch geeignete Konzentrationen herauszufinden; Endziel des Vorhabens ist bei gleichbleibendem Entwässerungsergebnis eine Einsparung an Konditionierungsmitteln bzw. bei gleichbleibender Zudosierung wesentlich höhere TR-Gehalte im entwässerten Schlamm zu erreichen.

Literatur:

BOCHEN, G.: „Laboruntersuchungen zur Optimierung des Einsatzes organischer Polymere bei der Klärschlammkonditionierung; Vertieferarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, 2002.

Stichworte: Klärschlammkonditionierung, Flockungsmittel

---

<b>Projektleitung</b>	Dipl.-Ing. E. Hoffmann
<b>Sachbearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Johannes Kraus
<b>Zeitraum</b>	09.2001 - 02.2002
<b>Finanzierung</b>	Fa. Reiflock Abwassertechnik, Baden-Baden Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

---

### 3.6 Stoffstromanalysen für kleine und mittlere Flussgebiete als Grundlage für die Planung und Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen

Ziel des Gesamtvorhabens ist die Erstellung eines pfadspezifischen und für kleine bis mittlere Einzugsgebiete aussagekräftigen Stoffstrommodells. Dabei wird einerseits angestrebt, eine Prozessnähe zu erreichen, die es erlaubt, die Transporte und Rückhalte im Gebiet mit ausreichender Präzision zu beschreiben, um Maßnahmen zur Verminderung der Nährstoff- und Schwermetallausträge zu formulieren. Andererseits soll das Gesamtmodell eine breite Anwendbarkeit über das

Modellgebiet hinaus haben. Zu diesem Zweck werden empirische und prozessabbildende Ansätze auf ihre Eignung geprüft.

Die Arbeiten zur Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, die in diesem Jahresbericht schwerpunktmäßig vorgestellt werden sollen, konzentrierten sich auf den Pfad Grundwasser, der von besonderer Bedeutung ist: Bundesweit werden mehr als 50 % der gesamten Stickstoffeinträge über diesen Pfad realisiert (BEHRENDT et al., 2002).

Zur Ermittlung des Stickstoffaustrages stehen zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze zur Verfügung:

- Entsprechend der Vorgehensweise für die großen Flussgebiete Deutschlands können Sickerwasser- und nachfolgend Grundwasserkonzentrationen auf Basis von Nährstoffbilanzen bzw. Bilanzüberschüssen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen berechnet werden (MLR, 2000). Die Berechnung des Sickerwassers erfolgt nach einem von WENDLAND (1992) entwickelte Modell, der für das Kraichbachprojekt modifiziert wurde. Das Modell verknüpft die aus hydrologischen und geologischen Gegebenheiten abgeleiteten Sickerwassermengen mit einer Verweilzeit im Aquifer und Stickstoffüberschüssen, um letztendlich Aussagen zur Nitratkonzentration im Grundwasser zu treffen. Im Projekt konnte eine kleinräumige Betrachtung in der durch die Landnutzungsdaten vorgegebenen Rasterweite von 30 x 30 m erfolgen.
- Eine weitere Möglichkeit bietet die Auswertung der in Baden-Württemberg im Zusammenhang mit der SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung) bzw. mit der Düngeberatung erhobenen  $N_{\min}$ -Daten. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass zunächst nur eine Grundannahme zu treffen ist - nämlich, dass die im Herbst, zu Beginn der Sickerperiode, in 60–90 cm angetroffenen Stickstoffgehalte mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgetragen werden.

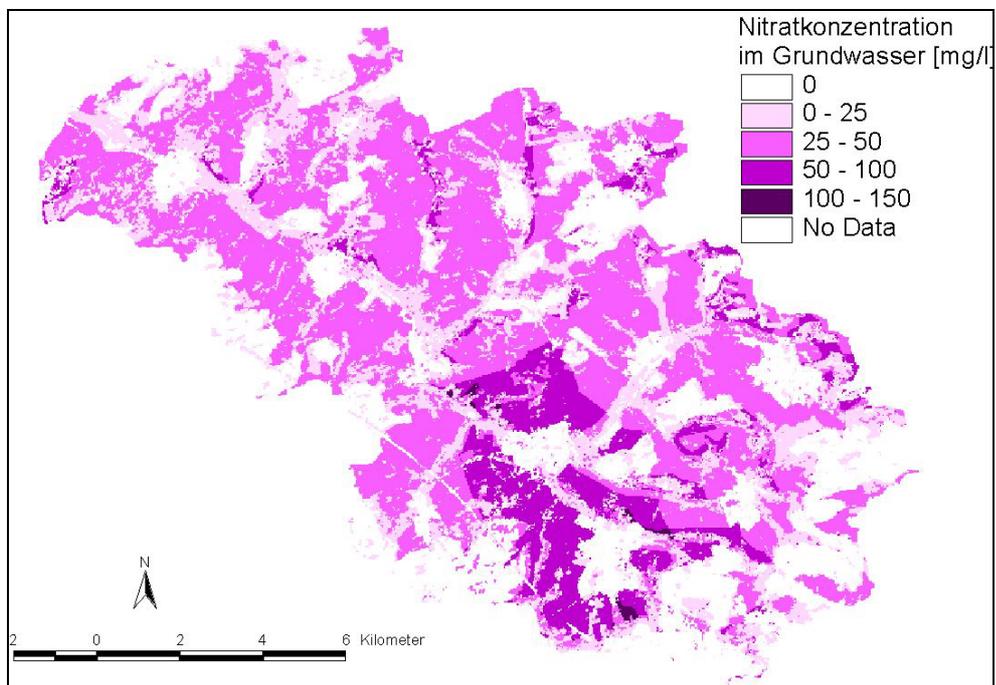


Bild 3-5: Nitratkonzentrationen im Grundwasser des oberen Kraichbachs

Zur Berechnung der Nitratkonzentration im Grundwasser werden zunächst die berechneten Sickerwassermengen mit den Überschusssalden der Nährstoffbilanzierung verknüpft. Der Nitratabbau im Boden wird nachfolgend anhand einer bodentypspezifischen Denitrifikationskapazität und der von der Stickstoffkonzentration im Boden abhängigen Denitrifikationsrate (in der Summe ca.

75%) abgeschätzt. Die daraus resultierende Nitratreduktion ist schließlich von der ursprünglichen Nitratkonzentration im Sickerwasser (im Mittel 180 mg NO<sub>3</sub>/l) abzuziehen, um eine Grundwasserkonzentration zu erhalten. Die Ergebnisse dieser Vorgehensweise sind in Bild 3-5 dargestellt:

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Befunden anderer Studien unterstreicht die grundsätzliche Anwendbarkeit der bisher vorgestellten Ansätze. Allerdings ist festzuhalten, dass die Berechnung der Bilanzüberschüsse, der Sickerwassermenge und -konzentrationen ebenso wie die Ermittlung der Abbauraten auf einer Reihe von Annahmen beruht und keine Möglichkeit besteht, Teilergebnisse anhand von Messdaten zu überprüfen. Es wird daher ein zweiter Ansatz untersucht, der im Wesentlichen auf der Auswertung von Messdaten basiert.

SCHWEIGERT (2002) stellt ein Verfahren vor, das auf der Basis von N<sub>min</sub>-Bodengehalten die Nitrat auswaschung aus landwirtschaftlichen Flächen abschätzt. Die von ihm vorgeschlagenen Analysen der Bodengehalte in 60-90 cm Tiefe schließen den Temperatur- und Niederschlagseinfluss ein. Ziel ist es, anhand der gemessenen Herbst- und Frühjahrswerte eine direkte Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser zu stellen. Es wird davon ausgegangen, dass der Stickstoffanteil, der im Herbst in der Bodenschicht unterhalb von 60 cm liegt, von der Pflanze nicht mehr genutzt und daher ausgewaschen wird.

Literatur:

- BEHRENDT, H.; BACH M.; KUNKEL, R.; OPITZ, D.; PAGENKOPF, W.G.; SCHOLZ, G. & WENDLAND, F. (2002): Quantifizierung der Nährstoffeinträge der Flussgebiete Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens. Forschungsbericht 29922285, Umweltbundesamt.
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM (2000): Stickstoffdüngung im Ackerbau. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung 1 (2. Auflage). Stuttgart.
- SCHWEIGERT, P. (2002): Abschätzung der Nitrat auswaschung in Wasserschutzgebieten durch Analyse von N<sub>min</sub>-Daten. Wasser & Boden, 54/4, 33-36.
- WENDLAND, F. (1992): Die Nitratbelastung in den Grundwasserlandschaften der „alten“ Bundesländer (BRD). Berichte aus der Ökologischen Forschung 8. Forschungszentrum Jülich GmbH.

Stichworte: **Schwermetalle, Nährstoffe, Eintragspfade, GIS, Gewässerschutzmaßnahmen**

<b>Projektleiter</b>	Dr.-Ing. S. Fuchs Prof. Dr.-Ing. E.h. H.H. Hahn, Ph.D.
<b>Sachbearbeiter</b>	Dipl.-Biol. Antje Bechtel Dipl.-Ing. Jan Butz
<b>Zeitraum</b>	10.2000 – 04.2001 Vorprojekt 10.2001 – 09.2003
<b>Finanzierung</b>	BWPLUS (Projekträgerschaft „Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“)



### 3.7 Bilanzierung von Schwermetalleinträgen in die Fließgewässer des Landes Baden-Württemberg

Hintergrund dieser Studie ist die Istwertabschätzung der Schwermetallemissionen in die Fließgewässer des Landes Baden-Württemberg als Grundlage für die Umsetzung der Europäischen Was-

serrahmenrichtlinie. Zu diesem Zweck werden die Einträge von sieben Schwermetallen (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn) in die Fließgewässer Baden-Württembergs über verschiedene punktförmige und diffuse Quellen abgeschätzt. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse wird es möglich sein, signifikante Quellen und Eintragspfade zu identifizieren und so im optimalen Fall die Schwermetallemissionen zu senken.

In Bild 3-6 sind die verschiedenen punktförmigen und diffusen Quellen und Eintragspfade von Schwermetallen in Oberflächengewässer dargestellt.

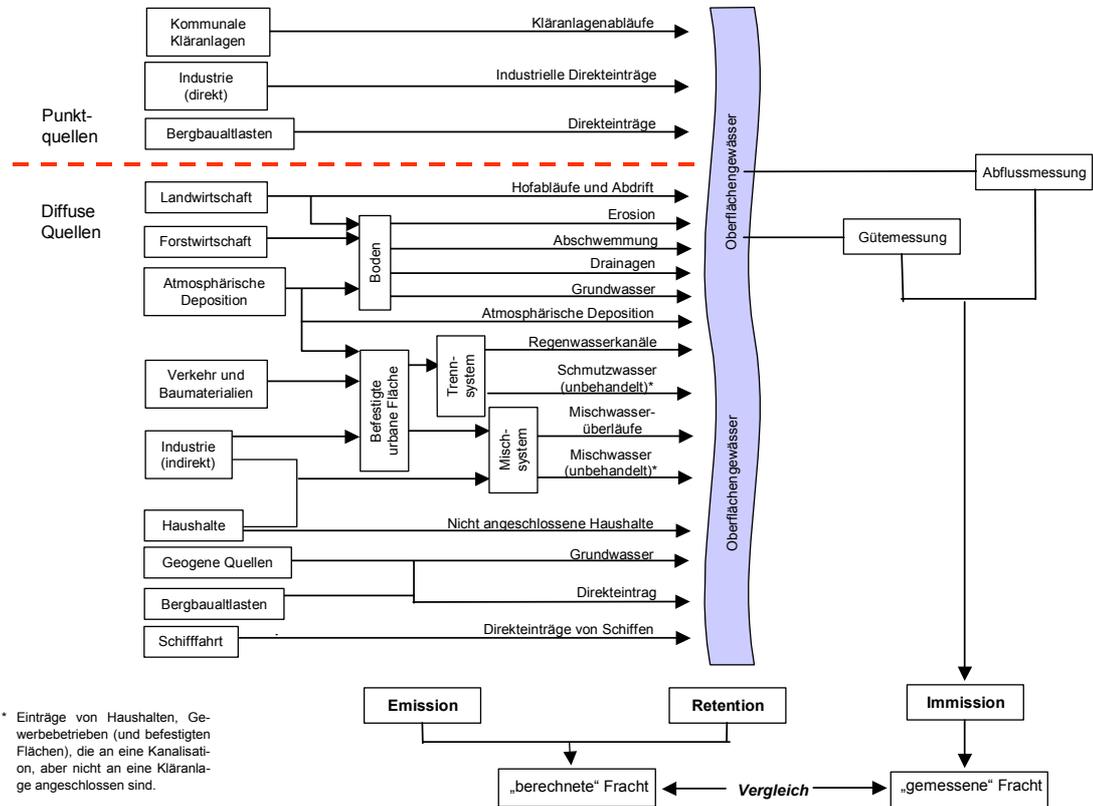


Bild 3-6: Stoffquellen und Eintragspfade in Oberflächengewässer (nach FUCHS ET AL., 2003, verändert)

Für die Berechnung der Schwermetallemissionen ist eine umfassende Recherche von Daten bei den zuständigen Behörden, Verbänden etc. sowie in der Literatur erforderlich.

Ziel ist es, ein spezielles Modell für das Land Baden-Württemberg zu entwickeln, wobei das von BEHRENDT ET AL. (2001) für die Bilanzierung von Nährstoffeinträgen verfasste Modell MONERIS als Grundlage dient. Bei der Anpassung sollen für Schwermetalle typische Transportprozesse und Schwermetall-spezifische Eintragspfade berücksichtigt sowie das Modell im Hinblick auf die Situation in Baden-Württemberg optimiert werden. Hierfür werden unter anderem Daten aus dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM genutzt.

Um eine Aussage über die Qualität der Abschätzung machen zu können, werden die berechneten Schwermetallemissionen mit den im Gewässer gemessenen Immissionen verglichen. Hierbei wird die durch Retentionsprozesse im Gewässer entstehende Reduktion der Schwermetallkonzentrationen mit Hilfe der Retentionsfunktion von VINK und BEHRENDT (2002) abgeschätzt.

Zum heutigen Zeitpunkt dominiert der Anteil der diffusen Quellen die Schwermetalleinträge in Fließgewässer. Dabei spielen für die verschiedenen Schwermetalle jedoch unterschiedliche Quellen bzw. Eintragspfade eine maßgebliche Rolle. Als signifikante Eintragspfade wurden die Kanali-

sation (Cd, Hg, Pb, Cu und Zn), die Erosion (Pb, Cr) und der Grundwasserzufluss (Ni) (FUCHS ET AL., 2003) ausgewiesen.

Literatur:

BEHRENDT, H.; OPITZ, D.; PAGENKOPF, W.-G. (2001): Analyse der Nährstoffeinträge und -frachten in den Flüssen des Landes Baden-Württemberg. Studie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz von Baden-Württemberg, unveröffentlicht.

FUCHS, S.; SCHERER, U.; HILLENBRAND, T.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F.; BEHRENDT, H.; OPITZ, D. (2003): Quantifizierung der Schwermetalleinträge aus Deutschland zur Umsetzung der Beschlüsse der Internationalen Nordseeschutzkonferenz. Abschlussbericht zum UBA-Vorhaben NR. 200 22 233, Herausgabe als UBA-Texte in Bearbeitung.

VINK, R.J.; BEHRENDT, H. (2002): Emissions, immissions and retention processes of heavy metals in the Rhine and Elbe drainage areas and their tributaries. Accepted by Hydrological Processes.

Stichworte: **Schwermetalle, Diffuse Einträge, Punktquellen, Emission, Immission, Retention, Modell MONERIS**

**Projektleiter** Dr.-Ing. S. Fuchs  
**Sachbearbeiter** Dipl.-Biol. Anne Oltmann  
**Zeitraum** Juli 2002 – Juni 2003  
**Finanzierung** Landesanstalt für Umweltschutz



### **3.8 Dynamik von Sickerwasserabfluß und Stofftransport in mineralischen Bodenkörpern unter spezieller Berücksichtigung der mikrobiellen Biomasse**

Beim Betrieb von Bodenfiltern zur Abwasserreinigung kann es häufig zu Betriebsproblemen durch Porenraumverstopfungen, auch Kolmation genannt, kommen. Bei den wenigen Forschungsarbeiten, die zur Kolmation von Bodenfiltern vorliegen, wird meist von einer Kolmation durch den Eintrag von Feststoffen ausgegangen [1].

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stand deshalb die Frage, welchen Einfluss die mikrobielle Biomasse auf die Kolmation von abwasserdurchsickerten Filtern hat. Des weiteren sollte die vertikale Verteilung der Biomasse und der Bioaktivität in solchen Filtern untersucht werden. Parallel dazu wurde die Reinigungsleistung durch die Mikroorganismen und die Auswirkung von negativen Umweltfaktoren auf die Mikroorganismen untersucht.

Mit einer eigens entwickelten Methode zur Nucleinsäurebestimmung [2, 3] konnte sowohl die mikrobielle Biomasse als auch die Bioaktivität simultan mit einer Messung erfasst werden. Die neue Methode liefert robuste und reproduzierbare Ergebnisse [4].

Zwischen dem Rückgang der hydraulischen Leitfähigkeit der Filter und der maximalen DNA-Filterkonzentration konnte mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,85 eine enge Korrelation (Bild 3-7) festgestellt werden. Damit konnte gezeigt werden, dass die Mikroorganismen durch die Biomasseproduktion das Kolmationsverhalten der Filter wesentlich beeinflussen. Eine noch stärkere Korre-

lation zwischen dem Rückgang der hydraulischen Leitfähigkeit und der Biomasse ist unwahrscheinlich, da neben der mikrobiellen Biomasse (DNA) auch Faktoren wie beispielsweise die Ausbildung von extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) oder die räumliche Struktur des Biofilms Einfluss auf die hydraulische Leitfähigkeit haben.

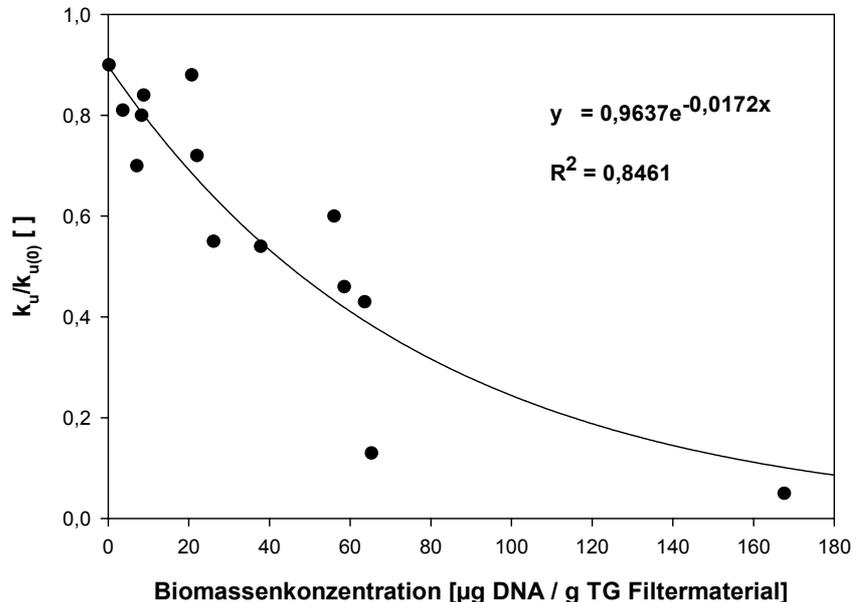


Bild 3-7: Korrelation zwischen dem Rückgang der hydraulischen Leitfähigkeit als Folge der biologischen Kolmation und der Filterschicht mit der höchsten Biomassekonzentration.

Am Beispiel des Retentionsbodenfilters (RBF) Langenalb konnte der Einfluss der Mikroorganismen-Biomasse auf die Filterdurchlässigkeit besonders deutlich gezeigt werden. Zum Zeitpunkt der Totalkolmation konnten in den oberen Filterschichten sehr hohe Biomassen (DNA) und Bioaktivitäten (RNA) gemessen werden. Während dieser Zeit musste der RBF außer Betrieb gehen, da das Abwasser nicht mehr durch den RBF sickern konnte. Nach Außerbetriebnahme und Trockenfallen des RBFs von 3 Monaten war der RBF dekolmatiert und die ursprüngliche hydraulische Leitfähigkeit wiederhergestellt.

Der deutliche Zusammenhang zwischen dem Rückgang der hydraulischen Leitfähigkeit und dem DNA-Gehalt, der in den Laborfiltern festgestellt wurde, konnte somit in der Praxis an einem RBF bestätigt werden. Die Produktion von mikrobieller Biomasse ist demnach sehr stark für die Kolmation von Filtern zur Abwasserreinigung verantwortlich. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es sich dabei um einen reversiblen Prozess handelt, der beispielsweise durch längeres Austrocknen des Filters oder durch andere negative Umwelteinflüsse (z. B. hohe Nitritkonzentrationen) reversibel ist.

#### Literatur:

- [1] PLATZER, C.; K. MAUCH (1997): Soil clogging in vertical flow reed beds - mechanisms, parameters, consequences and.....solutions? *Water Science and Technology* 35(5): 175-181.
- [2] DELL'ANNO, A.; FABIANO, M.; DUINEVELD, G. C. A.; KOK, A.; DANOVARO, R. (1998): Nucleic Acid (DNA, RNA) Quantification and RNA/DNA Ratio Determination in Marine Sediments: Comparison of Spectrophotometric, Fluorometric, and High-Performance Liquid Chromatography Methods and Estimation of Detrital DNA. *Applied and Environmental Microbiology* 64 (9). 3238-3245.
- [3] SCHWARZ, M.; FUCHS, S.; HAHN, H. H. (2001): Direct extraction of tRNA, rRNA and DNA by HPLC from soil filters to quantify microbial biomass and activity. Kurzfassung KSA16. Seite 37. BIOSpekt-

rum Sonderausgabe anlässlich der VAAM-Jahrestagung 2001 in Oldenburg. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. ISSN 0947-0867.

- [4] SCHWARZ, M.; FUCHS, S.; HAHN, H. H. (2001): Microbial biomass and activity in soil fed with different wastewaters. In: Wetlands and Remediation II: Proceedings of the Second International Conference on Wetlands & Remediation: Burlington, Vermont, September 5-6, 2001. (Eds.: Nehring, K. W.; Brauning, S. E.). 235-242.

Stichworte: **Bodenfilter, DNA, Durchlässigkeit, HPLC, Kolmation, RNA**

<b>Projektleiter</b>	Prof. H. H. Hahn, Ph. D. Dr.-Ing. S. Fuchs
<b>Sachbearbeiter</b>	Dipl.-Biol. Martin Schwarz
<b>Zeitraum</b>	01.10.1998 – 30.09.2001
<b>Finanzierung</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft (Graduiertenkolleg “Grenzflächenphänomene in aquatischen Systemen und wässrigen Phasen”)



### 3.9 Untersuchung und Optimierung des Betriebsverhaltens von Kleinkläranlagen unter Grenzlastbedingungen

#### Hintergrund

Ca. 10% der Bevölkerung in Deutschland können auch langfristig nicht an zentrale Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen werden. Aus diesem Grunde sind Kleinkläranlagen mit biologischer Behandlung auch als Dauerlösung unausweichlich. In Baden-Württemberg sind ca. 150.000 dezentrale Systeme in Betrieb. Neben dem üblichen Einsatzbereich in permanent bewohnten ländlichen Haushalten besteht ein zunehmender Bedarf an technischen Lösungsmöglichkeiten zur Reinigung temporär anfallender Abwässer, z.B. aus Wochenend- und Ferienhäusern. Beim Einsatz biologischer Systeme in Wochenend- und Ferienhäusern ist mit extrem unbalancierten Belastungsverhältnissen zu rechnen, die sich durch längere Abwesenheitszeiten der Bewohner oder durch die zeitweilige Anwesenheit einer größeren Nutzergruppe ergeben. Im Rahmen des Vorhabens werden die Grenzlastbedingungen verschiedener biologischer Systeme vergleichend untersucht. Im Zentrum steht das verfahrensspezifische Reinigungspotential nach längeren zuflusslosen Zeiten und die Dauer der Wiederinbetriebnahme bis zum Erreichen der geforderten Ablaufwerte. Um die Verhältnismäßigkeit der Mittel zu wahren werden nur kompakte, einfache Systeme mit moderaten Herstellungs- und Betriebskosten bei geringem Wartungsaufwand untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Formulierung von Betriebsstrategien für Kleinkläranlagen mit diskontinuierlicher Belastung und liefern eine Hilfestellung zur Verfahrenswahl und Dimensionierung kostengünstiger, zuverlässiger Kleinkläranlagen.

#### Status 2002

Es wurde eine viersträßige Anlage, bestehend aus den Elementen Belebungsanlage, Schwebebettanlage, Tropfkörper und Scheibentauchkörper, konstruiert und gefertigt. Die Anlage wird im Bypass zu einer bestehenden Kleinkläranlage im Karlsruher Ölhafen betrieben. Zum Jahresende wurde die Testphase abgeschlossen. Die Inbetriebnahme erfolgte im Januar 2003.

Stichworte: Kleinkläranlagen, diskontinuierliche Belastung

**Projektleiter** Dipl. Ing. E. Hoffmann  
**Sachbearbeiter** Dipl. Ing. Jörg Kegebein  
**Zeitraum** September 2002 – September 2004  
**Finanzierung** ATV (Baden Württemberg)



### 3.10 Nutzung von Küchenabfallzerkleinern (KAZ) im Rahmen eines Abfallwirtschaftskonzeptes

#### Hintergrund

Die getrennte Sammlung und Verwertung der Bioabfallfraktion ist durch hohe Kosten von ca. 50 €/ (Haushalt\*a) sowie durch Akzeptanzdefizite geprägt. Häufig werden nur geringe Teilmengen der tatsächlich anfallenden Bioabfallmenge über die getrennte Sammlung erfasst. Sammelbehälter, die einer großen Zahl von Nutzern zugeordnet werden, weisen in der Regel hohe Störstoffanteile auf. Überwachungs- und Sanktionsmaßnahmen, wie sie von einigen Gemeinden eingeführt wurden, erscheinen bei Großbehältern wenig sinnvoll, da Sanktionsmaßnahmen kollektiv die gesamte Nutzergruppe treffen würden, eben auch diejenigen, die kein Fehlverhalten an den Tag legen.

Die Nutzung von Küchenabfallzerkleinern (KAZ) in Rahmen eines Abfallwirtschaftskonzeptes sollte insbesondere in städtischen, dicht bebauten und im Trennsystem entwässerten Wohngebieten ohne nennenswerten Grünflächenanteil eine interessante Alternative sein. Die Bioabfallfraktion besteht hier im wesentlichen aus Küchenabfällen, also aus Speise- und Zubereitungsresten mit Wassergehalten von 80 – 99 %. Küchenabfälle können nach einer Vorbehandlung mit dem KAZ gemeinsam mit dem Abwasser in die Kläranlage transportiert und dort stofflich und/oder energetisch verwertet werden.

Bei Verwendung von KAZ werden die für Vergärungsverfahren typischen Aufbereitungsschritte Störstoffausschleusung, Zerkleinerung und Suspendierung vor Ort durchgeführt. Biotontypische Hygieneprobleme wie Madenbefall, Fäulnisgerüche oder Keimbelastungen können systembedingt nicht auftreten.

Die Umsetzung des Systems setzt lediglich den ablagerungsfreien Transport im Kanalsystem, sowie Möglichkeiten zur stofflichen und/oder energetischen Verwertung auf der angeschlossenen Kläranlage voraus.

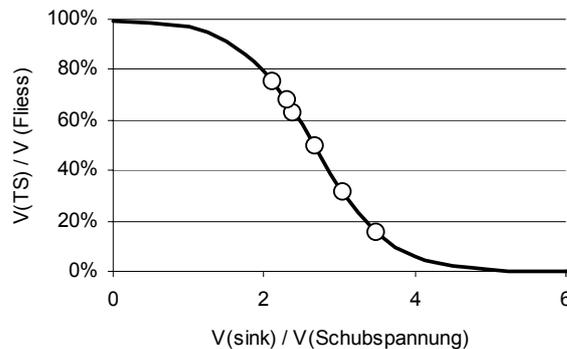
#### Status 2002

Es wurden zwei Teilthemen untersucht, die sich im weitesten Sinne mit dem Transport organischer Partikel im Kanalsystem befassen.

1. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde der Frage nachgegangen, ob mit der Nutzung von KAZ eine Verschärfung der Rattenproblematik zu erwarten ist. Das Studium der Lebens- und insbesondere Ernährungsgewohnheiten zeigt, dass zerkleinerte, suspendierte Lebensmittelreste nicht den Anforderungen einer Nahrungsquelle für Ratten entsprechen. Es lässt sich sogar der

Schluss ziehen, dass Lebensmittel, die in Biotonnen gelagert werden, eine besser verfügbare Nahrungsquelle darstellen.

2. In einer experimentellen Arbeit wurden die Transportgeschwindigkeit zerkleinerter Lebensmittel gemessen. Als Modellfeststoff wurde gekochter Reis verwendet, der aufgrund hoher Sinkgeschwindigkeiten eine schlecht transportierbare Fraktion repräsentiert. In den Versuchen konnte gezeigt werden, dass sich die Transportgeschwindigkeit in einem dimensionslosen Diagramm als Funktion der Sinkgeschwindigkeit, der Sohlschubspannungsgeschwindigkeit und der Fließgeschwindigkeit darstellen lässt.



$$V_{TS} = \frac{V_{FLIESS}}{1 + e^{\frac{2,05 \cdot V_{SINK} - 5,45}{V_{SCHUB}}}}$$

**Stichworte:** Küchenabfallzerkleinerer, Transport im Kanal, Covergärung

<b>Projektleiter</b>	Dipl. Ing. E. Hoffmann Prof. Dr. Ing. E.h. H.H. Hahn, Ph.D.
<b>Sachbearbeiter</b>	Dipl. Ing. Jörg Kegebein
<b>Finanzierung</b>	bisher aus Eigenmitteln des Instituts

### 3.11 Durchführung von Untersuchungen zur Quantifizierung der Möglichkeiten zur Leistungssteigerung von Belebungsanlagen durch Einbringung schwimmender Bewuchskörper.

Teilprojekt des vom BMBF geförderten Projektes „Integration von Aufwuchskörper in Belebungsanlagen zur Verbesserung der Schlammindeces und zur Erhöhung der Sedimentationsleistung von Nachklärbecken“.

In Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination und Denitrifikation wird in zunehmendem Maße die Bildung von Schwimm- und Blähschlamm beobachtet. Diese „Problemschlämme“ beeinträchtigen die Betriebssicherheit vieler Anlagen und sind momentan als eine der dringlichst zu lösenden Fragen im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung anzusehen [KUNST ET AL., 2000].

Neben dem Einsatz von Chemikalien zur Bekämpfung von „Problemschlämme“ gibt es verfahrenstechnische Ansätze, durch eine modifizierte Prozessführung die Absetzeigenschaften der Belebtschlammflocken positiv zu beeinflussen.

Aufgrund der günstigeren Flockenstruktur bzw. -dichte bereitet die Absetzbarkeit bzw. die Abtrennung von Biomasse bei Festbettreaktoren (fixiert oder suspendiert) kaum Probleme [ATV,

2002]. Zusätzlich ist der spezifische Volumenbedarf der Nachklärung bei Festbettreaktoren deutlich geringer als bei Belebungsanlagen.

Vor diesem Hintergrund ist es nur naheliegend, eine Kombination beider Verfahrenstechniken (eine Symbiose aus sessiler, auf suspendierten Bewuchskörpern fixierter Biomasse und suspendiertem Belebtschlamm) in Betracht zu ziehen.

Im Rahmen des Vorhabens werden zwei halbtechnische Anlagen betreut, einerseits eine MBBR-Anlage (Bild 3-8), andererseits eine konventionelle Belebungsanlage als Referenz. Die beiden halbtechnischen Anlagen wurden auf Grund des Demonstrationscharakters auf einer Kläranlage mit Schwimm-/Blähschlammproblematik (kommunale Kläranlage Pforzheim) angesiedelt. Die Beschickung der Versuchsanlagen erfolgte aus dem Ablauf der Vorklärung.



*Bild 3-8: MBBR-Versuchsanlage*

Die konventionell betriebene Versuchsanlage wurde zur Überprüfung der Übertragbarkeit des Maßstabs konzipiert.

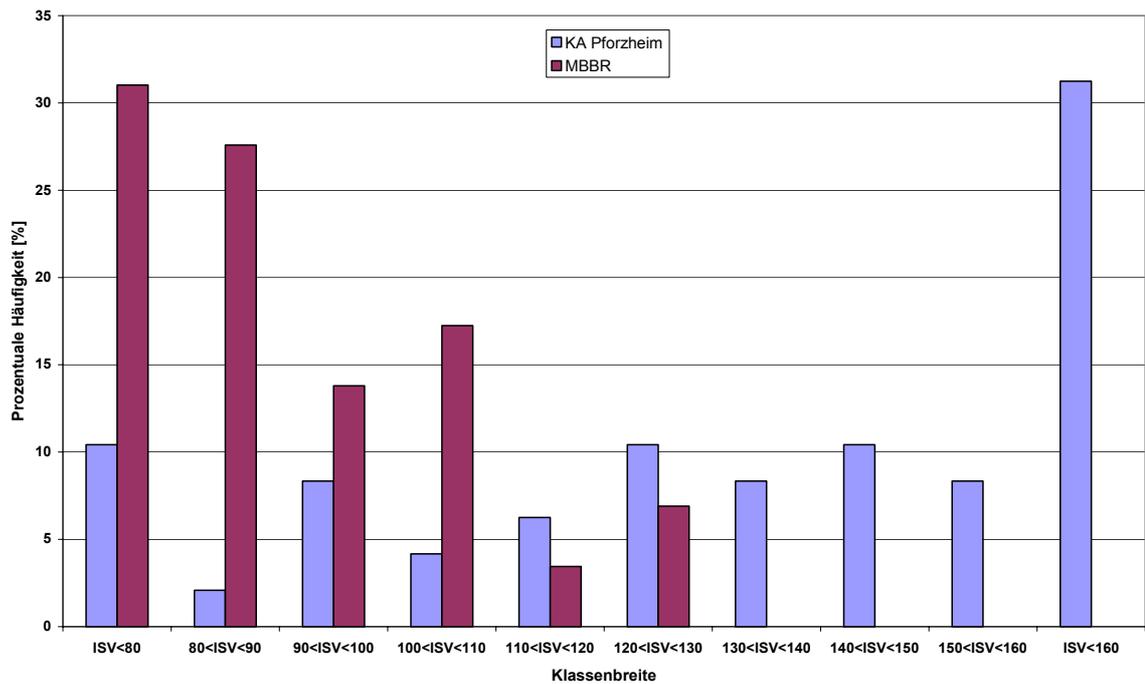


Bild 3-9: Häufigkeit der gemessenen ISV-Werte

Erste Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz der suspendierten Aufwuchskörper (Kaldnes) eine deutliche Verbesserung der Schlammindizes zu beobachten ist.

In Bild 3-9 sind die Ergebnisse der Bestimmung des Schlammvolumenindex (ISV) dargestellt.

Literatur:

KUNST S., HELMER C., KNOOP S. (2000): "Betriebsprobleme auf Kläranlagen durch Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum. Handbuch zur Identifizierung und Bekämpfung fädiger Bakterien"; Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

ATV-DVWK-ARBEITSGRUPPE KA-6.3 (2002): "Neue Erkenntnisse über Anlagen mit getauchten Festbetten", Arbeitsbericht, Korrespondenz Abwasser, Jahrgang 49, Nr.12, S.1703-1707.

Stichworte: **MBBR, Bläh- /Schwimmschlammbekämpfung, Kommunale Kläranlagen**

**Projektleiter** Prof. Dr. Ing. E.h. H.H. Hahn, Ph.D.  
**Sachbearbeiter** Dipl.-Ing. Andreas Blank  
**Zeitraum** 01.2002 bis 03.2003  
**Finanzierung** BMBF



### 3.12 Erfassung der chemisch-physikalischen und biologischen Prozesse des Wasser- und des Stofftransportes im Umfeld von Kanalleckagen

Für die Sanierung der öffentlichen Kanalisation müssten schätzungsweise 45 Mrd. Euro investiert werden. Der Zustand privater Entwässerungsleitungen, die etwa die vierfache Länge der öffentlichen Kanalisation aufweisen, dürfte deutlich schlechter sein; sie sind in diesen Abschätzungen nicht enthalten. Da mit den in der Vergangenheit getätigten Investitionen (2000 etwa 3,2 Mrd. DM) maximal der jetzige Zustand der Kanalisation erhalten werden kann, wäre eine Verbesserung der Situation nur mit deutlich erhöhten Ausgaben möglich, die durch die Netzbetreiber mittelfristig nicht leistbar sind. Daher muss im Sinne des Grundwasser- und Bodenschutzes eine auf Gefährdungspotentialen basierende Entscheidungshilfe geschaffen werden.

Eine wesentliche Grundlage bei der Entscheidung, welche Leckagen vorrangig saniert werden sollten, stellt die Frage dar, inwieweit es zu einer Selbstabdichtung der Leckage, d.h. einer Kolmation des umgebenden Bodensubstrates kommt und wie stabil diese Kolmation z.B. bei über die Leckage steigendem Grundwasser ist. Die biologische Kolmation wird durch Mikroorganismen und deren Abbauprodukte hervorgerufen, die sich am Substrat festsetzen und den Porenraum verengen. Mechanismen und Dynamik dieses Prozesses und seine Einflussgrößen wurden an Bodensäulen untersucht.

#### *Säulenversuche*

Um abzuschätzen, inwieweit Kolmationen von Bodensubstraten von der beaufschlagten Abwassermenge und der Porenweite (d.h. Korngröße) des Substrates abhängen und welche Rolle biologische Prozesse bei der Kolmation einer Bodenmatrix im Umfeld einer Kanalleckage spielen, wurden senkrecht aufgestellte Rohre mit verschiedenen Bodensubstraten befüllt (Bodensäulen) und mit 8 bzw. 20 l/d (21 bzw. 52 cm/d) feststofffreiem, künstlichem Abwasser nach OECD beschickt.

Die Menge des aus der Bodensäule abfließenden Wassers und die überlaufende Wassermenge im Falle einer Kolmation wurden regelmäßig ausgewogen und beprobt. Am 120. Versuchstag wurden Bodenproben genommen, deren Biomasse und -aktivität anhand der DNA- und RNA-Gehalte mit einer HPLC bestimmt wurden. Nachdem die 4 mit Sand gefüllten Bodensäulen Kolmationserscheinungen gezeigt hatten, wurden die Bodensäulen 64 Tage von unten mit etwa 3 l/d Trinkwasser mit begrenztem Druck rückgespült. Damit sollte überprüft werden, inwieweit eine Kolmation durch Grundwasserüberstau wieder aufgelöst werden kann. Am Ende dieser Versuchsphase wurden wieder Bodenproben zur Bestimmung der Biomasse und deren Aktivität gezogen. In einer dritten Versuchsphase wurden die Bodensäulen wie in der ersten Versuchsphase weitere 60 Tage mit OECD-Abwasser beschickt.

Vor jeder Versuchsphase wurde ein Tracerversuch mit Uranin durchgeführt, um Änderungen der Durchflussgeschwindigkeitsverteilung, und damit der hydraulischen Leitfähigkeit durch die Kolmation und die Rückspülung festzustellen. Zuletzt wurden die Säulen demontiert, die Substrate schichtweise abgegraben, Bodenproben zur Bodenfeuchte- und Glühverlustbestimmung entnommen.

Nach etwa 40 Versuchstagen hatten sich ammonifizierende Bakterien soweit etabliert, dass sie den aus dem Harnstoff und dem organischen Material stammenden Stickstoff des OECD-Abwassers quantitativ in Ammonium umwandelten. Die relativ hohe Stofffracht führte sehr schnell zu einem anaeroben Milieu, so dass eine Nitrifikation nicht festgestellt werden konnte.

Erste Untersuchungen der Bodenproben zeigten die höchsten Biomassen und -aktivitäten in den ersten Zentimetern der Bodenschicht. Dies stimmt mit den von Martin Schwarz am ISWW unternommenen Versuchen mit intermittierend beschickten Säulen gut überein. Die geringe Porenweite

der Feinsandsäulen stellt offenbar bereits einen limitierenden Faktor für die Biomasse dar. Eine entgeltliche Messung und Auswertung der Bodenproben steht jedoch noch aus.

Die hydraulische Leitfähigkeit der Bodensubstrate nahm bei der Abwasserbelastung der Säulen erwartungsgemäß mit abnehmender Porenweite ab. Eine vollständige Reversibilität der Kolmationen durch die Rückspülung der Säulen konnte nicht nachgewiesen werden. Dennoch lösten sich die Kolmationen weitgehend auf. Eine Abhängigkeit des Stoffrückhaltes oder der -umsetzung von der Korngrößenverteilung bzw. Porenweite des Substrates konnte bei den gegebenen hohen Belastungen nicht nachgewiesen werden.

### **Großversuchstand**

In einem Großversuch wurde eine Kanalleckage in Maßstab 1:1 nachgebildet, um die Prozesse im Umfeld einer Leckage im Dreidimensionalen zu erfassen. In einem mit Sand gefüllten Behälter (3 m lang, 1,5 m breit, 1,5 m hoch) wurde ein mit einer Leckage versehenes Abwasserrohr (DN 200) verlegt, das von 6 l/s Abwasser durchströmt wurde. Das Leckagewasser wurde am Behälterboden in acht Ablauffeldern gesammelt, nachdem es vertikal 85 cm des Sandkörpers und 30 cm eines Filterkieses durchsickert hatte. Das ablaufende Sickerwasser wurde mengenmäßig erfasst und zeitweise auf die üblichen Abwasserparameter untersucht. In den Sandkörper wurde in drei Ebenen eine Matrix von Sensoren zur Bestimmung der Bodenfeuchte und der Saugspannung sowie Saugkerzen zur Beprobung des Bodenwassers eingebaut. Zur Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeit wurde ein Tracerversuch durchgeführt.

Die Wassermengenmessungen zeigten starke, etwa periodische Schwankungen, die sich möglicherweise auf Wachstumszyklen der Biomasse zurückführen lassen. Eine weitere Ursache könnten Temperaturschwankungen sein. Die örtlich sehr unterschiedlichen Abflussmengen weisen auf präferenzielle Fließwege hin. Das im Abwasser enthaltene Ammonium wird vollständig nitrifiziert. Die Tracerversuche zeigen keine eindeutigen Peaks wie bei einer Pfropfenströmung. Auch das weist auf präferenzielle Fließwege und ein sehr komplexes örtlich differenziertes Abflussverhalten hin.

### Literatur:

- BAVEYE, P., VANDEVIVERE, P., HOYLE, B. L., DELEO, P. C. & SANCHEZ DE LOZADA, D. (1998): Environmental Impact and Mechanisms of the Biological Clogging of Saturated Soils and Aquifer Materials. *Critical Reviews in the Environmental Science and Technology* 28 (2): 123-191.
- BERGER, CH., LOHAUS, J., WITTNER, A. & SCHÄFER, R. (2002): Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001. GfA., Hennef.
- COOKE, A. J. & ROWE, R. K. (1999): Extension of Porosity and Surface Area Models for Uniform Porous Media. *Journal of Environmental Engineering* 125(2), pp. 126-136.
- DAUL, R. (2001): Biologische Kolmation von Bodenkörpern. Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
- DOHMANN, M. (1999): Wassergefährdung durch undichte Kanäle. Erfassung und Bewertung Springer Verlag.
- RIJNAARTS, H. H. M., NORDE, W., BOUWER, E. J., LYKLEMA, J. & ZEHNDER, A. J. B. (1996): Bacterial Deposition in Porous Media Related to the Clean Bed Collision Efficiency and to Substratum Blocking by Attached Cells. *Environmental Science and Technology* 30(10), pp. 2869-2876.
- SCHWARZ, M., FUCHS, S. & HAHN, H. H. (2001): Microbial biomass and activity in soil fed with different wastewaters. In: Nehring K. W., Brauning S. E. (Eds.). 2001. *Wetlands & Remediation: The Second International Conference*; Burlington, Vermont, September 5-6. Battelle Press. Columbus, Ohio. (Im Druck).
- SCHWARZ, M. (2002): Abwasser im Boden: Nachgewiesen durch Bioaktivität und Biomasse. Seminar des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
- SEKI, K., MIYAZAKI, T. & NAKANO, M. (1998): Effects of microorganisms on hydraulic conductivity decrease in infiltration. *European Journal of Soil Science* 49 (2), pp. 231-236.

- TAYLOR, S. W., MILLY, P. C. D. & JAFFÉ, P. R. (1990): Biofilm Growth and the Related Changes in the Physical Properties of a Porous Medium. 2. Permeability Water Resources Research 26(9). pp. 2161-2169.
- VANDEVIVERE, P. & BAVEYE, P. (1992): Saturated Hydraulic Conductivity Reduction Caused by Aerobic Bacteria in Sand Columns. Soil Science of America Journal 56(1), pp. 1-13.

Stichworte: **Kanalleckagen, Kolmation, diffuse Einträge ins Grundwasser, Biomassenbestimmung mit HPLC, Bodenfeuchtebestimmung**

<b>Projektleiter</b>	Dr. Ing. S. Fuchs Prof. Dr.-Ing. E.h. H. H. Hahn, Ph.D.
<b>Sachbearbeiter</b>	Dipl.-Ing. Jochen Roddewig
<b>Zeitraum</b>	01.2000 bis 12.2002
<b>Finanzierung</b>	DFG



### 3.13 Quantifizierung der Vergärbarkeit von organischen Reststoffen

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde eine Reihe von Untersuchungen zur Charakterisierung organischer Substanzen hinsichtlich ihrer Vergärbarkeit bzw. ihres anaeroben Abbaus mit einer gezielten Biogasgewinnung durchgeführt.

Dafür wurde eine grundlegende Literaturrecherche bezüglich der Analysemethoden, die eine Vergärbarkeit der organischen Stoffe quantifizieren können, durchgeführt.

Die zur Zeit im wesentlichen eingesetzten Parameter zur Charakterisierung der organischen Fracht von Siedlungsabfällen wie CSB-flüssig, CSB-fest, organische Säuren, TS, oTS erfassen die Bindungsformen der organischen Stoffe und ihre Zusammensetzung nicht.

So lässt z.B. der meist in der Abfallanalytik benutzte Parameter Glühverlust keine Aussage über die Art der organischen Substanz und damit über die Vergärbarkeit des Abfallstoffes zu. Schwer bzw. nicht abbaubare organische Kohlenstoffverbindungen (Kunststoffe, Lignin, Huminstoffe) können in diesem Summenparameter ebenso enthalten sein, wie leicht abbaubare (Mono-, Disaccharide) [Zach, 1996].

Demzufolge wurden, ergänzend zu den konventionellen Analysemethoden aus der Abwasseranalytik, die in Tab. 3-1 vorgestellt sind, Methoden aus der Lebensmittel- und Futtermittelanalytik für die Bestimmung der Zusammensetzung der zu vergärenden Substrate hinzugezogen. Ein Methodenüberblick (Analysenüberblick) ist in Tab. 3-2 vorgestellt.

Tab. 3-1: *Analysenmethoden der Abwassertechnik*

Parameter	Methodik, Geräte
gelöster chemischer Sauerstoffbedarf	Küvettentest der Fa. Dr. Lange, Aufschlussgerät und Photometer, Dr. Lange LP2W;
partikulärer chemischer Sauerstoffbedarf	DIN 38 414 DEV S9, Aufschlussgerät
Trockensubstanzgehalt	DIN 38 404 DEV S2
organischer Trockensubstanzgehalt	DIN 38 409-H 1
TOC	Elementaranalysator „CHN-O-RAPID“
organische Säuren	Küvettentest der Fa. Dr. Lange, Aufschlussgerät und Photometer, Dr. Lange LP2W
Pufferkapazität	Methodik zur Bestimmung der organischen Säuren in Faulwasser; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Titrationsbürette

Diese hinzugezogenen Analysen beruhen auf der Bestimmung aller Stoffgruppen der „natürlichen Stoffe“, die nach biochemischen Gesichtspunkten aus den folgenden Gruppen bestehen: strukturreiche und strukturarmer Kohlenhydrate, Proteine und Fette. Diese Stoffgruppen haben unter anaeroben Bedingungen verschiedene Abbauraten und benötigen demzufolge unterschiedliche Abbauezeiten bis zum Erreichen eines bestimmten Abbaugrades.

Tab. 3-2: *Lebensmittel- und Futtermittelanalytik*

Parameter	Methodik, Geräte
Cellulose	Van Soest Analytik, Fibertec System, [Van Soest, 1963]
Hemicellulose	Van Soest Analytik, Fibertec System, [Van Soest, 1963]
Lignin	Van Soest Analytik, Fibertec System, [Van Soest, 1963]
Monosaccharide (wasserlösliche Kohlenhydrate)	photometrische Bestimmung nach chemischem Aufschluss, Photometer, [Kleber, H.-P.; Schlee, D.; Schöpp, W., 1997]
Disaccharide und gelöste Polysaccharide	photometrische Bestimmung nach chemischem Aufschluss, Photometer [Kleber, H.-P.; Schlee, D.; Schöpp, W., 1997]
Proteine	Photometrische Bestimmung nach Bradford, Photometer [Bradford, M., 1976]

Für die praktische Durchführung dieses Vorhabens wurde eine halbertechnische Vergärungsanlage (Bild 3-10) aufgebaut und betrieben.

Als Untersuchungsmaterialien wurden Biertreber, Weintrester, Kartoffelschalen und Zuckerrübenmelasse sowie Kantinenabfälle ausgewählt.

Literatur:

- BRADFORD, M.: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding; Anal. Biochem. 72, S. 248-254, 1976.
- KLEBER, H.-P.; SCHLEE, D.; SCHÖPP, W.: Biochemisches Praktikum: Methoden für Studium, Praxis, Forschung; Stuttgart; Gustav Fischer Verlag Jena, 1997.
- VAN SOEST, P. J.: Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds, II. A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin, Journal of the Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.), 46 (5), S. 829-835, 1963.
- ZACH A.: Modified sequential fibre analysis – based on a method developed by Van Soest, Waste Reports 04/96.

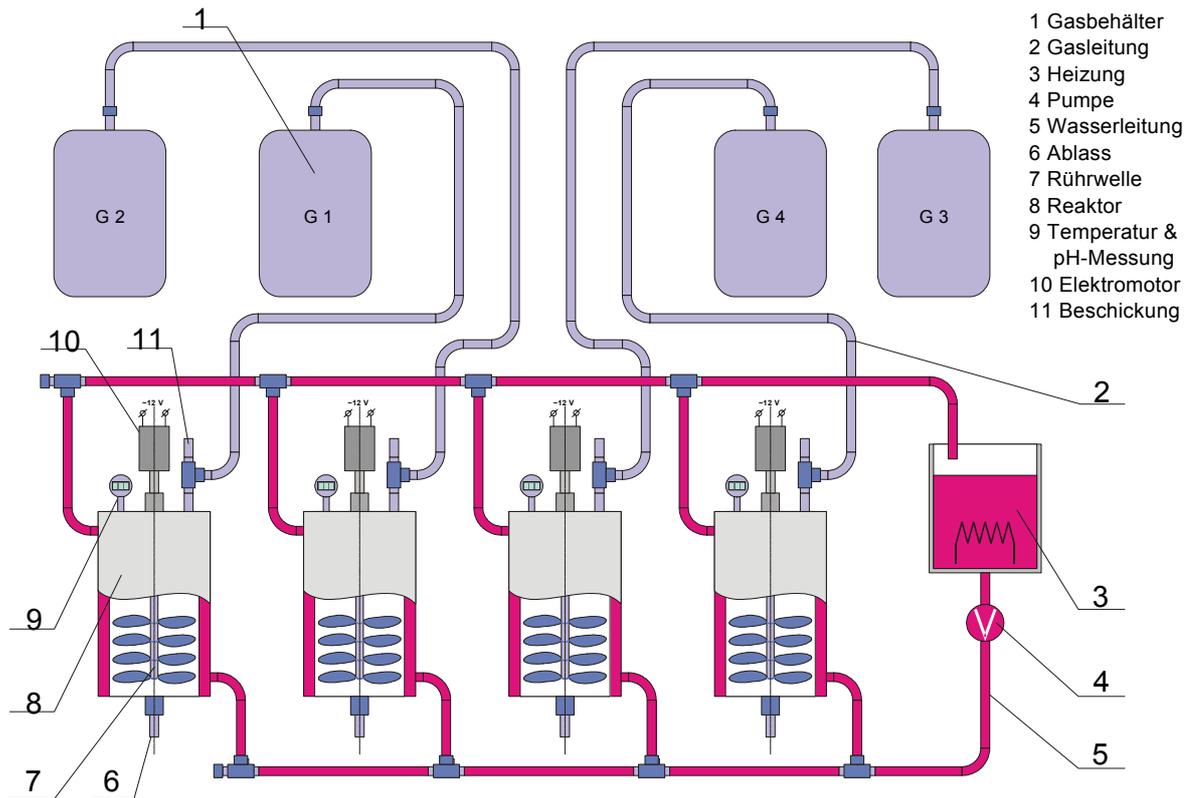


Bild 3-10: Fließschema der halbtechnischen Vergärungsanlage

**Stichworte:** Vergärung, anaerobe Behandlung, Biomasse, nachwachsende Rohstoffe, Bioabfälle

**Projektleiter** Prof. Dr.-Ing. E.h. H. H. Hahn, Ph.D.  
 Dipl.-Ing. E. Hoffmann  
**Sachbearbeiter** Dipl.-Ing. Marina Bekker  
**Zeitraum** 01.2000 bis 12.2002  
**Finanzierung** Landesgraduiertenkolleg  
 Sachmittel von FISKA und Oswald-Schulze Stiftung



### 3.14 In situ-Sanierung eines kiesig-sandigen Bodens

Im Bereich eines Treibstofflagers ist der Boden und das Grundwasser mit aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen verunreinigt worden. Zur biologischen in situ-Sanierung des Schadensherdes wird vom Institut für Boden- und Felsmechanik, dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und der Firma Umweltschutz Nord gemeinsam eine Versuchsanlage betrieben. Während der biologische Schadstoffabbau im teilgesättigten Boden weitgehend abgeschlossen ist, be-

stehen in der gesättigten Zone Probleme, in ausreichendem Maße Sauerstoff einzubringen. Zum Abbau der Schadstoffe werden daher aerobe und anaerobe Abbauprozesse kombiniert. Ein Wasserkreislauf dient der Versorgung des Bodens mit Sauerstoff und Nitrat. Zusätzlich wird dem Boden durch eine Einspeisung von Druckluft in die gesättigte Zone (Air Sparging) Sauerstoff zugeführt.

In 2002 wurde das von Spieß (Spieß 2002) entwickelte Verfahren zum Air Sparging über einen Zeitraum von 5,5 Monaten im Dauerbetrieb eingesetzt. Hiermit konnte die Sauerstoffversorgung im gesättigten Boden deutlich verbessert werden. Im Entnahmebrunnen wurde die mittlere Sauerstoffkonzentration von Null auf maximal 1,5 mg/l O<sub>2</sub> erhöht. Der zusätzliche Sauerstoffeintrag förderte den biologischen Abbau von Schadstoffen in situ derart, dass nach Abschalten der Druckluftspeisung die Zufuhr von Sauerstoff über den Wasserkreislauf ausreichte, um einen mittleren Sauerstoffgehalt von 1 mg/l im Entnahmebrunnen zu erzielen. D.h. die Schadstoffkonzentration im gesättigten Boden konnte soweit verringert werden, dass die Sauerstoffzehrung durch die biologischen Abbauprozesse deutlich abgenommen hat und somit nun auch bei geringerer O<sub>2</sub>-Zufuhr Sauerstoff im Entnahmebrunnen nachweisbar ist.

Parallel dazu ergibt sich ein erheblicher Rückgang der Schadstoffbelastung im Bodenwasser. Bild 3-11 zeigt den Verlauf der BTEX-Konzentration im Entnahmebrunnen. Die Schadstoffgehalte sind im Mittel um 90 % zurückgegangen. Der Verlauf der Belastung mit Mineralölkohlenwasserstoffen (KW(GC)) ist in Bild 3-12 dargestellt. Hier ergibt sich im Verlauf der Sanierung eine Abnahme um 70 %.

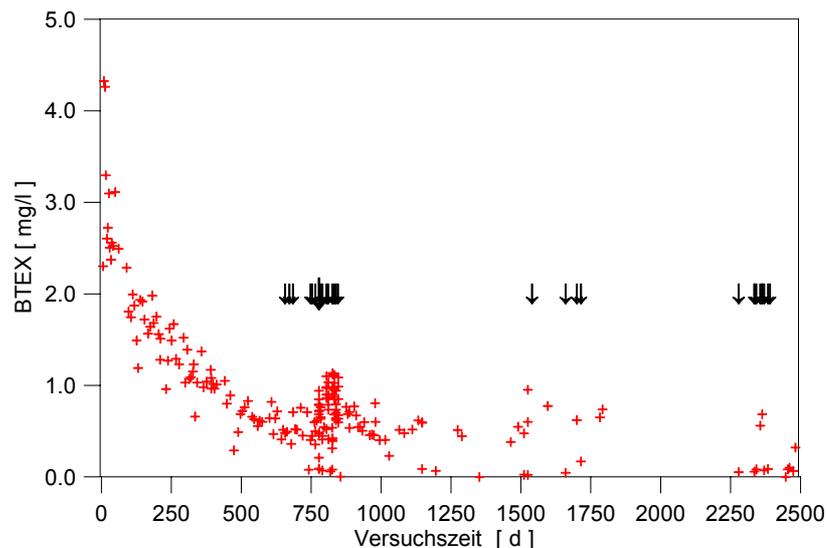


Bild 3-11: Abnahme des BTEX-Gehaltes im Entnahmebrunnen  
Pfeile: Schadstoffmobilisierung durch Air Sparging

Außerhalb des Testfeldes wurde über eine ca. 10 m entfernt gelegene Grundwassermessstelle (GWM 3/288) auf ihren Schadstoffgehalt hin untersucht. Bild 3-12 zeigt den Verlauf des BTEX-Gehaltes und des Gehaltes an Mineralölkohlenwasserstoffen (KW(GC)) im unbehandelten Bereich der Altlast. Die Werte weisen insgesamt eine hohe Schwankungsbreite auf. Der BTEX-Gehalt schwankt zwischen 4 und 10 mg/l. Der KW(GC)-Gehalt liegt zwischen 6 und 12 mg/l. Eine Beeinflussung des Pegels durch die Sanierungsmaßnahme - insbesondere ein Schadstoffanstieg infolge einer Schadstoffmobilisierung durch das Air Sparging - ist nicht zu erkennen.

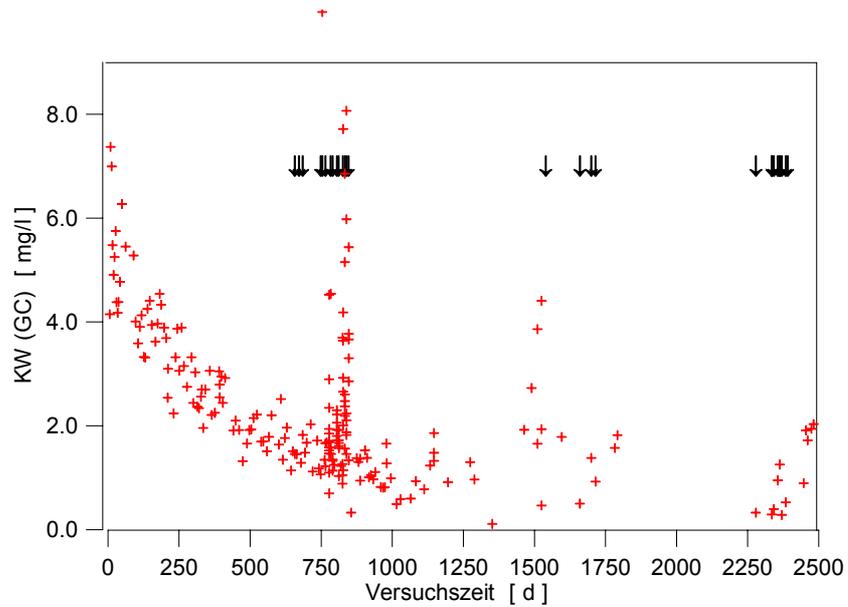


Bild 3-12: Abnahme des KW (GC)-Gehaltes im Entnahmebrunnen  
Pfeile: Schadstoffmobilisierung durch Air Sparging

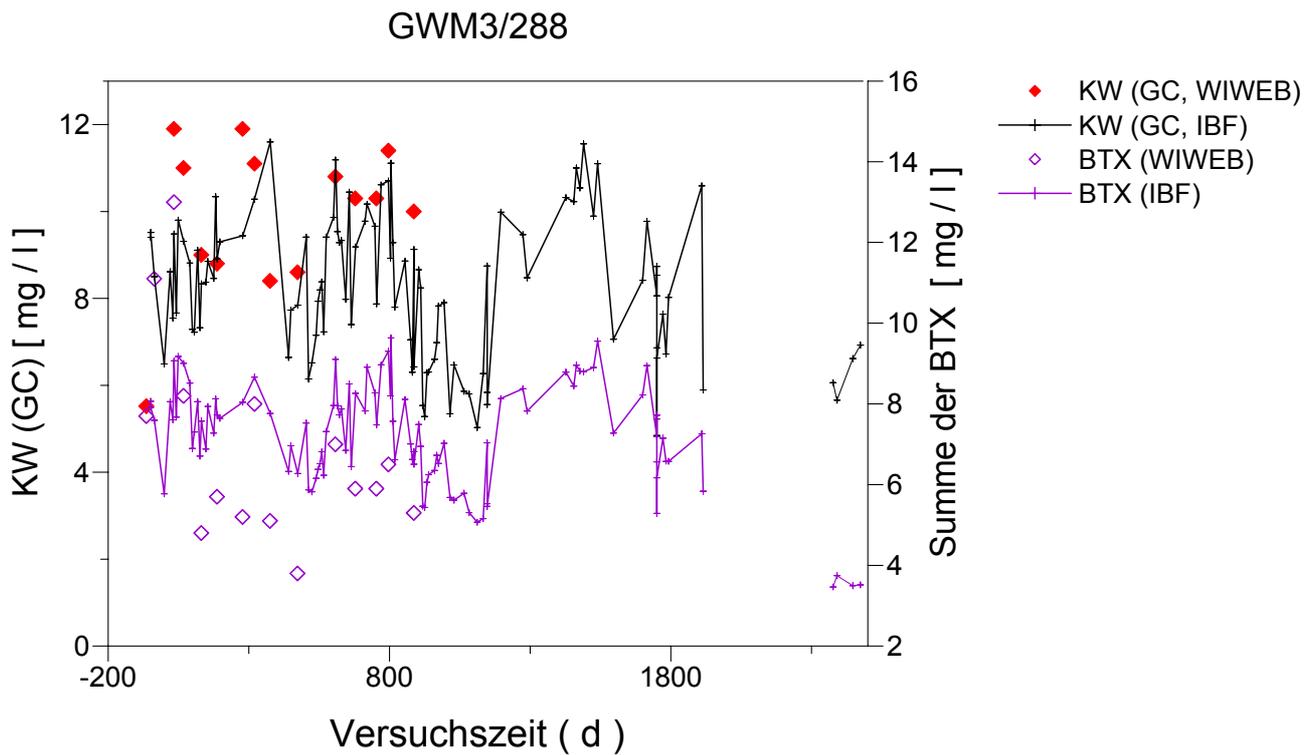


Bild 3-13: BTX- und KW (GC)-Gehalt in benachbarter GW-Messstelle

Literatur:

SPIEB, A. (2002): „Kombination von in-situ-Verfahren zur Behandlung kohlenwasserstoffbelasteter Böden einschließlich Air Sparging“. Dissertation Veröffentlichungen des Instituts für Boden- und Felsmechanik, der Universität Karlsruhe, Heft 157, ISSN 0453-3267.

**Projektleiter** Dr.-Ing. Dipl.-Biol. Hilke Würdemann  
**Sachbearbeiter** N.N.  
**Zeitraum** 11.2002 bis 10.2003  
**Finanzierung** US Airforce



## 4 Institutsveranstaltungen

### 4.1 16. Karlsruher Flockungstage (November 2002)

#### *Bläh- und Schwimmschlamm*

Immer noch ist die Bläh- und Schwimmschlamm-Bildung eines der am häufigsten vorkommenden Betriebsprobleme auf kommunalen Kläranlagen. Fadenförmige Organismen, deren bekanntester Vertreter das Bakterium *Microthrix parvicella* ist, sind die Ursache. Vor 3 Jahren war das Thema Blähschlamm schon einmal einer der Schwerpunkte der Karlsruher Flockungstage. Mit der 16. Auflage unserer Veranstaltung wollten wir diesen Komplex unter dem Tagungsmotto „Bläh- und Schwimmschlamm“ noch einmal aufgreifen und beleuchten, welche neue Erkenntnisse sich in der Zwischenzeit ergeben haben. Am 06. und 07. November trafen sich hierzu 130 Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und kommunaler Ebene zu den jährlich stattfindenden Karlsruher Flockungstagen. Dabei wurden sowohl Ursachen als auch Bekämpfungsmethoden vorgestellt: Während Referenten aus dem wissenschaftlichen Bereich verstärkt den Gründen dieser Phänomene nachgingen, zeigten Berichte aus der Anlagenpraxis Erfahrungen bei der Blähschlamm-Bekämpfung mit verschiedenen Verfahren und Chemikalien.

Dick Eikelboom berichtete einer erstaunten Zuhörerschaft hierzu aus den Niederlanden, dass dies dort schon seit einigen Jahren kein Problem mehr sei und zeigte sich verwundert, dass es in Deutschland (und Österreich, wie Herr Rachholz vom Abwasserverband Leibnitz-Wagna-Kaindorf vorstellte) nach wie vor eines der Hauptprobleme darstellt. Frau Lemmer stellte hierzu den momentanen Stand der Forschung dar.

Solchermaßen gerüstet konnte man sich den Erfahrungsberichten widmen, nach denen die Bläh- und Schwimmschlammproblematik hierzulande immer noch den bestimmungsgemäßen Betrieb beeinträchtigt.

Von der Fa. Kemwater wurde eine auf Gensonden basierende sichere Identifikationsmöglichkeit für *Microthrix parvicella* vorgestellt, die aber eben speziell nur diesen Organismus nachweisen kann, andere Fadenorganismen müssen hingegen nach wie vor mikroskopisch bestimmt werden.

Die Fa. ECI stellte ihre unter dem Namen „Quadrofloc“ firmierende Methode zur Schwimmschlamm-Bekämpfung vor, wobei auf eine Kombination von Eisen- und Aluminiumsalzen zurückgegriffen wird; die genaue Zusammensetzung erfolgt anhand individueller Entscheidung und Beratung vor Ort.

Die Fa. Opto Clean Service setzt hingegen auf die natürlich mikrobielle Bekämpfung, bei der eine zusätzliche Bewuchsfläche, eine optimierte Mischbiozönose sowie die Zugabe von Enzymen ein Milieu schaffen, das aufgrund der Konkurrenzsituation Fadenbildner in den Hintergrund drängt.

Drastisch vor Augen geführt wurden den Zuhörern die Auswirkungen einer Schwimmschlamm-Decke von Herrn Nix (Klärwerk Beningsfeld, Bergisch-Gladbach), der sich seit 1994 auf seiner Anlage mit diesem Problem beschäftigen muß. Erfahrungen wurden dort mit dem mechanischen Schwimmschlammabzug als Sofortmaßnahme sowie verschiedenen Flockungs- und Fällungsmitteln gemacht, wobei sich in diesem speziellen Fall eine Kalkeisendosierung bewährt hat.

Gleiche Probleme aber eine andere Lösung schilderte Herr Rachholz vom Abwasserverband Leibnitz-Wagna-Kaindorf: Dort erwiesen sich Fällmittel auf Aluminiumbasis als Mittel der Wahl, wobei nicht auf das teurere Polyaluminium zurückgegriffen werden musste, um die Bläh- und Schwimmschlammprobleme in den Griff zu bekommen.

Nicht nur die Bekämpfung derartiger Probleme, sondern schon deren Vermeidung im Vorfeld bei der Bemessung und Planung standen im Mittelpunkt des Beitrages von Prof. Dichtl (TU Braun-

schweig). Hier zeigt der Einsatz eines Selektors, bei dem rückgeführter Belebtschlamm und Abwasserzulauf in einem hochbelasteten Kontaktbecken vermischt werden, gute Ergebnisse; aber auch Substratgradienten durch Kaskadenanordnung des Belebungsbeckens oder das SBR-Verfahren können die Bildung fädiger Organismen unterdrücken. Für den Betrieb wurde neben dem mechanischen Abzug und der getrennten Behandlung wiederum der Einsatz von Eisen- oder Aluminiumsalzen sowie von Talk als Beschwerungsmittel empfohlen.

Bekämpfungsmaßnahmen auf den Kläranlagen der Linksniederrheinischen Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG) wurden im Folgenden geschildert: Dort versprach insbesondere der mechanische Abzug sowie der Einsatz von Polyaluminium Erfolg, und auch dem Selektor wird ein positiver Einfluss bescheinigt.

Die Fa. Südflock stellte ihre Einsatzmittel Südflock K2 und Terrana als effektive Maßnahme vor. Im ersten Fall handelt es sich um ein Aluminiumsalz, im zweiten um ein Bentonit als Aufwuchs- und Beschwerungsstoff.

Ebenfalls in erster Linie durch Schlammbeschwerung wirkt das Talkum-Produkt der Fa. Luzenac, welches sich insbesondere als Sofortmaßnahme in akuten Fällen bewährt hat, bei denen die nicht unerhebliche Schlammzunahme nur eine zweitrangige Rolle spielt.

Eine weitere chemische Maßnahme - die Kombinationsflockung aus Eisensalzen und Flockungshilfsmittel - zur schnellen Symptombekämpfung sowie der Kalk-Eisen-Dosierung als Präventivmaßnahme wurde von der Fa. Kronos vorgestellt. Dadurch lassen sich Störungen des Kalk-Kohlensäuregleichgewichts vermeiden und die Abwasserreinigung stabilisieren.

Der abschließende Beitrag chemischer Behandlungsmethoden wurde von der Fa. Kruse vorgestellt; hierin wurde ebenfalls über erfolgversprechende Ergebnisse mit Aluminiumsalzen berichtet.

Beschlossen wurde die Vortragsreihe mit mechanischen Verfahren, bei denen der Schwimmschlamm mit speziellen Vorrichtungen abgezogen wird. Die Fa. HM Entwässerungstechnik stellte hierzu ihr kontinuierlich arbeitendes siebbandähnliches Aggregat vor, während das Ingenieurbüro Aquacleantec einen Sauger einsetzt und den abgetrennten Schlamm in einem speziellen Behälter unter Einsatz eines Dispergierers entgast.

Traditionell begleitet wurde die Tagung durch eine Fachausstellung, wobei die teilnehmenden Firmen ihre Produkte und Konzepte im Bereich der Abwasserbehandlung anboten. Die Vortragspausen wurden für intensive und direkte Gespräche zwischen Anwendern und Herstellern genutzt.

## 4.2 Institutsseminar

Zusätzlich zu den Flockungstagen veranstaltet das Institut zweimal jährlich ein jeweils ganztägiges Seminar, in dem es einen Teil seiner Arbeiten einer interessierten Fachöffentlichkeit vorstellt.

*Wintersemester 2001/2002*

15. Februar 2002

*Abwasser in der Bodenmatrix*

**Rieselfelder in Berling - Altlast mit Nutzungspotenzial**

C. Ertl (Institut für Gewässerökologie und Binnenschifffahrt, Berlin)

**Gefährdungspotenziale von Abwasserkanalleckagen für das Grundwasser unter besonderer Berücksichtigung von Bilanzierungs- und Regionalisierungsansätzen**

M. Eiswirth, I. Held, H. Hötzl, L. Wolf (Lehrstuhl für angewandte Geologie, Karlsruhe)

**Erfassung des Wasser- und Stofftransportes im Umfeld von Kanalleckagen**

J. Roddewig (Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe)

**Abwasser im Boden: Nachgewiesen durch Bioaktivität und Biomasse**

M. Schwarz (Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe)

**Substratauswahl für Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung - Anforderungen und Betriebsergebnisse**

S. Fuchs (Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe),  
B. Lambert (Bioplan Landeskulturgesellschaft, Sinsheim)

*Sommersemester 2002*

12. Juli 2002

*Fremdwasser in der Kanalisation*

**Begrüßung**

Hermann H. Hahn (Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe)

**Fremdwasser - die gesetzlichen Rahmenbedingungen**

Bernd Haller (Regierungspräsidium Karlsruhe)

**Fremdwasser - Bestimmungsmethoden und zeitliche Variationen**

Gebhard Weiß (Firma UFT, Bad Mergentheim)

**Fremdwasser - aus kommunaler Sicht**

Gottfried Lempe (Tiefbauamt Karlsruhe)

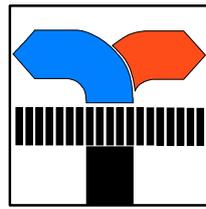
**Fremdwasser - Erfahrungen aus der Praxis**

Rolf Pecher (Beratender Ingenieur für Siedlungswasserwirtschaft, Erkrath)

**Fremdwasser - Regionalisierung**

Steffen Lucas (Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe)

### 4.3 Studentenexkursion



# IFAT 02

13.-17. Mai 2002

Neue Messe München

Interessierten Studenten wurde eine Exkursion zur alle 3 Jahre ausgerichteten „Internationalen Fachmesse für Umwelt und Entsorgung: Wasser, Abwasser, Abfall, Recycling“ (IFAT 02) angeboten, welche vom 13. bis 17. Mai auf dem Gelände der Neuen Messe in München stattfand.

Der 2-tägige Besuch konnte für die Studierenden - dank der freundlichen Unterstützung durch den ‚Güteschutz Kanalbau‘ - äußerst günstig gestaltet werden, indem nur Kosten für die Busfahrt anfielen. Übernachtung, Frühstück sowie Freikarten für den Eintritt wurden durch die Spenden finanziert.

Den 26 Teilnehmern wurden Einblicke in die „reale Welt“ gewährt, was von einigen zur grundlegenden Information über mögliche, spätere Arbeitsfelder, von anderen - am Ende ihrer akademischen Mühen stehenden - direkt zur Kontaktaufnahme zu potentiellen Arbeitgebern genutzt wurde.

Aufgrund der Vielzahl der über 2.000 Aussteller, welche die gesamte Palette der Umwelttechniken nicht nur im deutschsprachigen Raum abdeckt, konnte sich jeder entsprechend seinen Wünschen und Vorstellungen individuell informieren.

### 4.4 Assistenten-Treffen



11.-13.09., Karlsruhe

Traditionell treffen sich die Assistenten der deutschsprachigen Institute der Siedlungswasserwirtschaft jährlich im September zu einem lockeren Erfahrungsaustausch. Die Ausrichtung der Veranstaltung erfolgt nach einem freiwilligen Rotationsprinzip, so dass sich in diesem Jahr unser Institut verantwortlich zeigte, den 45 Kolleginnen und Kollegen sowie erstmals 8 Professoren die Gelegenheit zum Gespräch und zur Diskussion zu geben.

Programmpunkte waren am ersten Tag die Begrüßung im Karlsruher Zentrum für Kunst und Medientechnologie (ZKM) sowie die offizielle Begrüßung am Abend unter Teilnahme der mitgereisten Professorenschaft.

Am zweiten Tag wurden im Rahmen einer Vortragsveranstaltung Themen aus dem Bereich Abfall- und Wasserwirtschaft diskutiert und der Tag mit einem Bunten Abend beschlossen. Die abschließende Exkursion führte zur Karlsruher Thermoselectanlage.

Finanziell unterstützt wurde die Veranstaltung freundlicherweise von folgenden Firmen, denen wir an dieser Stelle nochmals danken wollen.

- Eurawasser
- GWK Ingenieure
- Hamburger Stadtentwässerung
- Mobile Schlammentwässerung MSE
- Oswald-Schulze-Stiftung
- SAG Ulm
- Vivendi Berlin
- Weber-Ingenieure

## 5 Besucher

Prof. Avner **Adin**, Professor of Environmental Sciences of The Hebrew University of Jerusalem  
91904 Israel, Sommer 2002.

**Dutta**, Sanjay, Diplomand aus Indien, vom 14.05.2001 – 28.02.2002.

**Karapinar**, Nuray, Postdoktorandin aus der Türkei, vom 01.10.2001 – 31.03.2002.

**Janus**, Tomasz Krzysztof, Diplomand aus Izabilin/Polen im Rahmen des Sokrates/Erasmus-  
Austauschprogramms vom 1.4.2002 – 1.9.2002.

**Balcewicz**, Michal Jerzy aus Warszawa/Polen im Rahmen des Sokrates/Erasmus Austauschpro-  
gramms vom 1.4.2002 – 1.9.2002.

**Varga**, Csaba, Diplomand aus Ungarn 01.03.2002 – 30.05.02.

**Goncalves**, Ana Lúcia aus Curitiba/Brasilien, Universidade Federal do Paraná, vom 01.10.2002 –  
29.03.03.

## 6 Mitgliedschaften in Fachausschüssen, Gremien und Verbänden

### **Fuchs, S.**

- ATV-DVWK Arbeitsgruppe 2.1.1 "Weitergehende Anforderungen an Mischwasserentlas-  
tungen"
- ATV-DVWK Arbeitsgruppe Es 4.4 "Regenbecken und Bodenfilteranlagen "
- Bodenfilterarbeitsgruppe des Landes Baden-Württemberg
- Deutsche Expertengruppe „Diffuse Quellen“ UBA.

### **Hahn, H.H.**

- Präsident der ATV-DVWK
- Vorsitzender des Beirates des Forschungszentrum Umwelt
- Vizepräsident des IFAT-Messebeirates München
- Mitglied im Werbeausschuss der Münchner Messegesellschaft für die IFAT
- Herausgeber des gwf im Verlag Oldenbourg
- Mitglied im Organisationskomitee der Internationalen Göteborg Symposien
- Vorstandsmitglied des Güteschutz Kanalbau
- Mitglied im Redaktionsbeirat der Korrespondenz Abwasser
- Mitglied im Umweltbeirat der Evangelischen Landeskirche in Baden
- Vorstandsmitglied Vereinigung deutscher Gewässerschutz
- ATV-DVWK Arbeitsgruppe 8.2 „Kläranlagen“

### **Hoffmann, E.**

- ATV Nachbarschaftslehrer in Baden-Württemberg

## 7 Dissertationen 2002

- Dipl.-Ing. **Gereon ANDERS**: Einsatz von Scheibentauchkörpern zur Güllebehandlung mit dem Ziel der weitergehenden Nährstoffreduktion; Referent Prof. H.H. Hahn, Korreferent Prof. T. Jungbluth (Universität Hohenheim), 16.01.2002.
- Dipl.-Ing. **Andreas HITZLER**: Beurteilung und Optimierung von Sandwaschanlagen im Einsatz auf Kläranlagen; Referent Prof. H.H. Hahn, Korreferent Prof. F.W. Günthert (Universität der Bundeswehr), 10.07.2002.
- Dipl.-Geoök. **Frank Emil OBERACKER**: Verwendung und Entsorgung arsenhaltiger Wasserwerksschlämme; Referent Prof. H.H. Hahn, Korreferent Prof. D. Maier, 10.07.2002.
- Dipl.-Biol. **Holger Nils VOLKMANN**: Gelöste organische Kohlenwasserstoffverbindungen im Dürreychbachtal (Nordschwarzwald); Referent Prof. H.H. Hahn, Korreferent Prof. F. Nestmann, 16.07.2002.
- Dipl.-Ing. **Matthias KLINGEL**: Prozess-Simulation in der Abwasser- und Abfallbehandlung; Referent Prof. H.H. Hahn, Korreferent Prof. P. Krebs (TU Dresden), 17.07.2002.
- Dipl.-Ing. **Frank BUCHHEISTER**: Biologische Stickstoffeliminierung aus Betriebsabwässern der Metallverarbeitung; Referent Prof. J. Winter, Korreferenten Prof. H.H. Hahn, Prof. R. Küster (FZK), 17.07.2002.
- Ing. Civil **Iris Violeta Dominguez TALAVERA**: Optimierung städtischer Abwasserentsorgungsnetze; Referent Dr. R.G. Cembrovicz, Korreferent Prof. H.H. Hahn, 29.11.2002.

## 8 Diplom-, Vertiefer- und Studienarbeiten

### 8.1 Diplomarbeiten

- DUTTA, Sanjay**: Modeling and Simulation of Sequencing Batch Biofilm Reactor for Enhanced Biological Phosphorus Removal with post denitrification and Nitrification in Treatment of Municipal - Wastewater; Betreuer Weber, 12.02.2002.
- HOUY, Alexander**: Quantifizierung und qualitative Beurteilung von Feststofffrachten in Mischwasserentlastungen mit einem Akkumulationsprobennehmer; Betreuer: Butz/Fuchs, 28.03.02.
- BÖTTGER, Gunnar**: Stoffstrom-, Verwertungs- und Wirtschaftlichkeitsanalyse von organischen Reststoffen und Produktionsabwässern im Hinblick auf eine energetische Verwertung am Beispiel der Weinwirtschaft; Betreuer Hoffmann, 13.05.02.
- VARGA, Csaba (Ungarn)**: Untersuchungen der zweistufigen Hydrolyse von kohlenhydrathaltigen Abfällen zur Optimierung des anaeroben Abbaus; Betreuer Bekker, 20.05.02.

- VESELY, Stephan:** Aufkommen, Bekämpfung und Trends der Rattenpopulation in städtischen Siedlungsgebieten; Betreuer Kegebein, 03.07.02.
- TEEGER, Jens:** Konzeptstudie zur Sammlung, Ableitung und Behandlung der Abwässer einer kleinen Gemeinde im Südschwarzwald; Betreuer Hoffmann, 14.08.02.
- MOCHEL, Anne:** Combined System Storage Tank Operation; Betreuer Hoffmann, 24.09.02.
- AJIM, Hassan:** Differenzierung der Aktivität suspendierter und sessiler Biomasse im Hinblick auf die Biologische Phosphorelimination mittels Kinetikuntersuchungen; Betreuer Weber, 19.12.02.
- NICKEL, Heike:** Freisetzung der Schwermetalle Zn, Cu und Pb von Siedlungs- und Verkehrsflächen – Literaturstudie; Betreuer Fuchs/Oltmann, 20.12.2002.
- HAHN, Oliver:** Transport organischer Feststoffe in flachen Abwasserkanälen, Betreuer Kegebein, 23.12.2002.
- LUTZ, Karin:** GIS-gestützte Anwendung und Evaluierung einer Methode zur Berechnung von Schmutzpotentialen von Kanalnetzen; Betreuer Butz/Fuchs, 13.01.2003

## 8.2 Vertieferarbeiten

- BOCHEN, Guy:** Laboruntersuchungen zur Optimierung des Einsatzes organischer Polymere bei der Klärschlammkonditionierung; Betreuer Hoffmann/Kraus, 27.01.2002.
- SHAO, Wei:** Beurteilung der Regenwasserbehandlung des Kanalnetzes der Stadt Kraichtal mittels verschiedener statischer Verfahren; Betreuer: Butz, 19.02.02.
- HOUY, Alexander:** Entwicklung eines Akkumulationsprobenehmers; Betreuer Butz, 04.03.02.
- STORZ, Timo:** Evaluation of existing effluent Treatment Operations and Processes of a Molasses based Distillery; Betreuer Hoffmann, 29.04.2002.
- QAQUNDA, Wael:** Untersuchung der Effizienz der Schaumbehandlung mittels mechanischer Behandlung und Entgasung; Betreuer Hoffmann, 25.09.2002.
- QAQUNDA, Raed:** Energetische Verwertung von Biertreber und Weintrester; Betreuer Bekker/Hoffmann, 29.10.2002.

## 9 Veröffentlichungen

- BROMBACH, H., WEIB, G., LUCAS, S. (2002):** Temporal Variation of Infiltration Inflow in Combined Sewer Systems, 9. International Conference on Urban Drainage ICUD, September 8-13, 2002, Portland, Oregon.
- FUCHS, S. (2002):** Dimensionierung und konstruktive Gestaltung von Retentionsbodenfiltern. In: Anforderungen an die Gestaltung und Bemessung von Kanalisationsnetzen, Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH, Essen, 24. April 2002.

- FUCHS, S. (2002):** Betriebserfahrungen mit Retentionsbodenfiltern. In: Retentionsbodenfilter zur Behandlung von Niederschlagsabflüssen aus Misch- und Trennsystemen. Technische Akademie Hannover, 12. September, Münster.
- GAO, B.Y., HAHN, H. H., HOFFMANN, E. (2002):** Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. *Water Research*, 36, 3573-3581.
- HAHN, H.H.:** „Was Ingenieure von Juristen lernen sollten“, *Korrespondenz Abwasser, KA*, Heft Nr. 8/2002.
- HAHN, H.H.:** „Der Mittelstand ist of flexibler“ in *Wasserwirtschaft Wassertechnik WWT AWT*, 3/2002, S. 7.
- HAHN, H.H. (2002):** Wassertechnik - Wassertechnologie. In: *Wasser - essentielle Ressource und Lebensraum*. Parthier, Benno (Hrsg.). Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina, NF, Bd. 85, Nr. 323, S. 375-396. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale).
- HAHN, H.H.; HOFFMANN, E.; ØDEGAARD, H. (2002):** Chemical Water and Wastewater Treatment VII. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Gothenburg Symposium 2002, Gothenburg, Sweden. IWA Publishing, Alliance House, London, UK.
- HAHN, H.H.; KRAUS, J. (Hrsg., 2002):** Bläh- und Schwimmschlamm. Tagungsband der 16. Karlsruher Flockungstage. Schriftenreihe des ISWW der Universität Karlsruhe (TH), Bd. 108. Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe.
- KEGEBEIN, J.; HOFFMANN, E.; HAHN, H.H. (2002):** Effects of chemical agents on filamentous growth and activated sludge properties, in Hahn, Hoffmann, Ødegaard (Eds.) *Chemical water and wastewater treatment VII*, IWA Publishing, London, pp. 273-283.
- SCHERER, U., FUCHS, S., BEHRENDT, H. & HILLENBRAND, T. (2002):** Emissions of Heavy Metals into River Basins of Germany. IWA 3rd World Water Congress Melbourne Australia 7-12 April 2002.
- SONG Y.H.; HAHN H.H.; HOFFMANN, E. (2002):** Effects of solution Conditions on the Precipitation of Phosphate for Recovery. A Thermodynamic Evaluation. *Chemosphere* 48: 1029-1034.
- SONG Y.H.; HAHN H.H.; HOFFMANN, E. (2002):** The Effect of Carbonate on the Precipitation of Calcium Phosphate. *Environmental Technology* 23: 207-215.
- SONG, H.; HAHN, H.H.; HOFFMANN, E. (2002):** Effects of PH and Ca/P Ratio on the Precipitation of Phosphate. In: *Chemical Water and Wastewater Treatment VII*. Hahn, H.H.; Hoffmann, E.; Ødegaard, H. (Eds.) pp. 349-362. IWA Publishing, Alliance House, London, UK.
- WÜRDEMANN, H.; WITTMAYER, M.; FRIEDEMANN, B. (2002):** Vergärungsanlage als Co-Fermentation von Bioabfällen und Klärschlamm. In: „Anaerobe biologische Abfallbehandlung“ - Grundlagen, Probleme, Kosten. Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V. Universität Dresden.
- WÜRDEMANN, H.; WITTMAYER, M.; SCHULKEN, L. (2002):** Co-Vergärung von organischen Stoffen - sind die Gärrückstände zukünftig noch landwirtschaftlich zu verwerten?. In: 4. Dialog „Abfallwirtschaft M-V“, Institut für Landschaftsbau und Abfallwirtschaft, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz, Universität Rostock.

## 10 Schriftenreihe

- [1] **KARPE, H.-J.:** Zur Wirtschaftlichkeit bei der Planung von Fernwasserversorgungen. Karlsruhe 1969 (Eigenverlag des Verfassers).
- [2] **PÖPEL, J.:** Schwankungen von Kläranlagenabläufen und ihre Folgen für Grenzwerte und Gewässerschutz. GWF, Schriftenreihe Wasser – Abwasser, 16. Oldenbourg Verlag München 1971.
- [3] **MEIER, P. M.:** Möglichkeiten zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung von Zweckverbänden. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 4. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1972.
- [4] **ABENDT, R.; AHRENS; W.; CEMBROWICZ, R. G.; HAHN, H. H.; KNOBLAUCH, A.; ORTH, H.:** Operations Research und seine Anwendung in der Siedlungswasserwirtschaft I. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 5. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1972.
- [5] **NOLL, K.:** Untersuchungen zur Grundwasserentnahme aus den pleistozänen Sedimenten des Rheintalgrabens im Rhein-Neckar-Raum. Karlsruhe 1972 (Eigenverlag des Verfassers).
- [6] **NEIS, U.:** Experimentelle Bestimmung der Stabilität anorganischer Schwebstoffe in natürlichen Gewässern. Karlsruhe 1974 (Eigenverlag des Verfassers).
- [7] **AHRENS, W.:** Optimierungsverfahren zur Lösung nichtlinearer Investitionsprobleme – angewandt auf das Problem der Planung regionaler Abwasserentsorgungssysteme. Quantitative Methoden der Unternehmensplanung, Bd. 4. Verlag Meisenheim/Glahn 1975.
- [8] **ORTH, H.:** Verfahren zur Planung kostenminimaler regionaler Abwasserentsorgungssysteme. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 9. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1975.
- [9] **MOSEBACH, K. G.:** Phosphatrücklösung bei der Ausfällung von Simultanschlamm. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 11. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1975.
- [10] **AHRENS, W.; CEMBROWICZ, R. G.; DEHNERT, G.; HEISS, H.-J.; HAHN, H. H.; HENSELEIT, H. J.; ORTH, H.; SENG, H. J.:** Operations Research und seine Anwendung in der Siedlungswasserwirtschaft II. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 12. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [11] **DEHNERT, G.:** Regionale Planung der Standorte für Abwasserbehandlungsanlagen mit Hilfe graphentheoretischer Algorithmen. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 1. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [12] **HAHN, H. H. (Hrsg.):** Umweltschutz im Bereich des Wasserbaus. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 14. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [13] **JØRGENSEN, S. E.:** Reinigung häuslicher Abwässer durch Kombination eines chemischen Fällungs- und Ionenaustauschverfahrens. Karlsruhe 1976 (Eigenverlag des Verfassers).
- [14] **RUF, J.:** Gewässergütesimulation unter Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse. Prognostisches Modell Neckar, Bericht 16. Dornier System. Friedrichshafen 1977.

- [15] **AHRENS, W.; DEHNERT, G.; DURST, F.; GERBER, J.; HAHN, H. H.; PAESSENS, H.; WEUTHEN, H. K.:** Tourenplanung bei der Abfallbeseitigung. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 3. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1977.
- [16] **KLUTE, R.:** Adsorption von Polymeren an Silikaoberflächen bei unterschiedlichen Strömungsbedingungen. Karlsruhe 1977 (Eigenverlag des Verfassers).
- [17] **KNOBLAUCH, A.:** Mathematische Simulation des Phosphorkreislaufs in einem gestauten Gewässer. GWF, Schriftenreihe Wasser – Abwasser, Bd. 17. Oldenbourg Verlag, München 1978.
- [18] **ABENDT, R.:** Aussagefähigkeit von Sauerstoffhaushaltsrechnungen. Hochschulsammlung Ingenieurwissenschaft, Wasserwirtschaft, Bd. 1. Hochschulverlag, Stuttgart 1978.
- [19] **SENG, H. J.:** Systematische Beurteilung der Umweltverträglichkeit bei Abfalldeponiestandorten. Hochschulsammlung Ingenieurwissenschaft, Abfallwirtschaft, Bd. 2. Hochschulverlag, Stuttgart 1979.
- [20] **INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT:** Fortschritte bei der Anwendung von Flockungsverfahren in der Abwassertechnologie. 2. Verfahrensstechnisches Seminar. Karlsruhe 1979 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [21] **HAHN, H. H. (Hrsg.):** Von der Abfallbeseitigung zur Abfallwirtschaft, Fachkolloquium zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Hans Straub, Karlsruhe 1980 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [22] **INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT:** Planung und Organisation von Einzelkläranlagen und Gruppenkläranlagen, 6. Planungstechnisches Seminar. Karlsruhe 1980 (Eigenverlag des Instituts).
- [23] **KÄSER, F.:** Transport suspendierter Feststoffe in Fließgewässern. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [24] **EPPLER, B.:** Aggregation von Mikroorganismen. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [25] **INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT:** Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung, 3. Verfahrenstechnisches Seminar. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts).
- [26] **PAESSENS, H.:** Tourenplanung bei der regionalen Hausmüllentsorgung. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts).
- [27] **KIEFHABER, K. P.:** Versuchsanlagen zur Entspannungsflotation von Abwasser – Vergleich von Versuchsergebnissen. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [28] **HAHN, H. H.; SENG, H. J. (Hrsg.):** Wirtschaftlichkeit in der Abfallwirtschaft. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts).
- [29] **HAHN, H. H.; PAESSENS, H. (Hrsg.):** Tourenplanung in der Abfallwirtschaft II. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts).
- [30] **DICKGIESSER, G.:** Betriebssichere und wirtschaftliche Klärschlamm Entsorgung. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [31] **HAHN, H. H. (Hrsg.):** Wasserversorgung und Abwasserbehandlung in Entwicklungsländern. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts).
- [32] **HAHN, H. H. (Hrsg.):** Schlämme aus der Abwasserfällung/-flockung. Karlsruhe 1983 (Eigenverlag des Instituts).

- [33] **v. FALKENHAUSEN, K.:** Planung eines Entsorgungssystems für die Klärschlammbehandlung. Karlsruhe 1983 (Eigenverlag des Instituts).
- [34] **HEISS, H.-J.:** Stabilität kostenminimaler Lösungen bei der Planung von Abwasserentsorgungssystemen. Karlsruhe 1983 (Eigenverlag des Instituts).
- [35] **HAHN, H. H. (Hrsg.):** Planung im Gewässerschutz unter besonderer Berücksichtigung von Flußgebietsmodellen. Karlsruhe 1984 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [36] **BANTZ, I.:** Ein Rechenverfahren zur Darstellung der Auswirkungen von Stoßbelastungen auf die Qualität von Fließgewässern. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [37] **LÖHR, J.:** Einfluß der Tiefendurchmischung auf die Entwicklung von Phytoplankton – dargestellt am Beispiel des Maines. Karlsruhe 1984 (Eigenverlag des Instituts).
- [38] **TROUBOUNIS, G.:** Strukturorientierte Simulation des Kohlenstoff-, Stickstoff-, Phosphor- und Sauerstoffhaushaltes flacher Gewässer. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [39] **DITTRICH, A.:** Transport und Sedimentation organischer Stoffe in Abwasserteichen. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [40] **GROHMANN, A.; HAHN, H.H.; KLUTE, R. (Hrsg.):** Chemical Water and Wastewater Treatment. Practical Experience and New Concepts. Proceedings from the 1st Gothenburg Symposium, 1984. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1985 (vergriffen).
- [41] **HAHN, H.H.; NEIS, U. (Hrsg.):** Belastungsschwankungen auf Kläranlagen: Auswirkungen und Möglichkeiten zur Reduktion, insbesondere durch Chemikalieneinsatz. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts).
- [42] **SCHMITT, T.G.:** Der instationäre Kanalabfluß in der Schmutzfrachtmodellierung. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [43] **IOSSIFIDIS, V.:** Die Rolle der Ablagerungen bei der Schmutzfrachtberechnung in Kanalisationsnetzen. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [44] **SCHMITT, T.G.; HAHN, H.H. (Hrsg.):** Schmutzfrachtberechnung für Kanalisationsnetze. Karlsruhe 1986 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [45] **DÖLL, B.:** Die Kompensation der Oberflächenladung kolloidaler Silika-Suspensionen durch die Adsorption kationischer Polymere in turbulent durchströmten Rohrreaktoren. Karlsruhe 1986 (Eigenverlag des Instituts).
- [46] **MERTSCH, V.:** Sedimentation, Eindickung und Entwässerung von Fällungs-/ Flockungsschlämmen. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [47] **KORDES, B.:** Berechnung der Energiebilanz von Kläranlagen unter Berücksichtigung zeitlicher Schwankungen. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [48] **GEPPERT, B.:** Tourenplanung bei der innerstädtischen Hausmüllentsorgung. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts).
- [49] **GUTEKUNST, B.:** Sielhautuntersuchungen zur Einkreisung schwermetallhaltiger Einleitungen. Karlsruhe 1988 (Eigenverlag des Instituts).
- [50] **HAHN, H.H.; KLUTE, R.; BALMER, P. (Hrsg.):** Recycling in Chemical Water and Wastewater Treatment. Proceedings from the 2nd international Gothenburg Symposium. Karlsruhe 1986 (Eigenverlag des Instituts).

- [51] **HAHN, H.H.; LEE, C.M. (Hrsg.):** Abwasserreinigung in Entwicklungsländern mit besonderer Berücksichtigung der Industrie. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts).
- [52] **HOFFMANN, E.:** Strömungsstrukturen in Flockungsreaktoren (in Vorbereitung).
- [53] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R. (Hrsg.):** Fällung/Flockung - Erfahrungen aus Labor und Praxis. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [54] **KRÜGER, E.M.:** Stabilität mineralischer Basisabdichtungen von Hausmülldeponien bezüglich des Ausbreitungsverhaltens anorganischer Schadstoffe. Karlsruhe 1989 (Eigenverlag des Instituts).
- [55] **SISKOS, D.:** Kläranlagenauslegung für stehende Vorfluter. Karlsruhe 1989 (Eigenverlag des Instituts).
- [56] **HOU, R.:** Kontrollstrategien für Fällung und Flockung auf Kläranlagen mit einem Vorhersagemodell der Zu- und Ablaufracht. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [57] **XANTHOPOULOS, C.:** Methode für die Entwicklung von Modellregenspektren für die Schmutzfrachtberechnung. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [58] **HAHN, H.H.; XANTHOPOULOS, C. (Hrsg.):** Schadstoffe im Regenabfluß aus städtischen Gebieten - Präsentation eines BMFT - Verbundprojektes. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [59] **LEE, C.-M.:** Tone zur physikalisch-chemischen Abwasserreinigung. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [60] **HARTMANN, K.-H.:** Anaerobe Behandlung von Sickerwässern aus Hausmülldeponien. Karlsruhe 1991 (Eigenverlag des Instituts).
- [61] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R. (Hrsg.):** Vor-, Simultan- oder Nachfällung? - Entscheidungskriterien für Planung, Entwurf und Betrieb. Karlsruhe 1991 (Eigenverlag des Instituts).
- [62] **LEONHARD, D.:** Eindickung und Entwässerung als Konsolidierungsvorgang. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts).
- [63] **WEISSER, M.:** Untersuchungen zur Belastung kommunaler Klärschlämme durch organische Schadstoffe - Abschlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 02 WS 464/8. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts).
- [64] **HAHN, H.H.; XANTHOPOULOS, C. (Hrsg.):** Schadstoffe im Regenabfluß II. Präsentation des BMFT-Verbundprojektes. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [65] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R. (Hrsg.):** Sanierung von Kläranlagen. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts).
- [66] **DÜRETH-JONECK, S.:** Entwicklung eines naturnahen, praxisorientierten Mobilitätstests für Schwermetalle und Arsen in kontaminierten Böden. Karlsruhe 1993 (Eigenverlag des Instituts).
- [67] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R. (Hrsg.):** Fällungs-/Flockungskemikalien. Anforderungen, Angebot, Auswahl und Qualität. Karlsruhe 1993 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [68] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R. (Hrsg.):** Wechselwirkungen der biologischen und chemischen Phosphorelimination. Tagungsband zu den 7. Karlsruher Flockungstagen, Karlsruhe 1993 (Eigenverlag des Instituts).

- [69] **LANGER, S.J.:** Struktur und Entwässerungsverhalten polymergeflockter Klärschlämme. Karlsruhe 1994 (Eigenverlag des Instituts).
- [70] **MÜLLER, N.:** Gewässergütemodellierung von Fließgewässern unter Berücksichtigung qualitativer, quantitativer, flächenhafter und sozioökonomischer Informationen. Karlsruhe 1994 (Eigenverlag des Instituts).
- [71] **HAHN; H.H.; TRAUTH, R. (Hrsg.):** Klärschlamm - Ressource oder kostenintensiver Abfall? Tagungsband zu den 8. Karlsruher Flockungstagen, Karlsruhe 1994 (Eigenverlag des Instituts).
- [72] **MIHOPULOS, J.:** Wechselwirkung Flockenbildung - Flockenabtrennung unter Berücksichtigung der Durchströmungsmuster in Sedimentations- und Flotationsbecken. München 1995 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [73] **XANTHOPOULOS, C.; HAHN, H.H. (Hrsg.):** Schadstoffe im Regenwasser III. München 1995 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [74] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R. (Hrsg.):** Wirtschaftlichkeitsfragen in der Abwasserreinigung. Tagungsband zu den 9. Karlsruher Flockungstagen, München 1995 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg, vergriffen).
- [75] **SCHMID, K.:** Tensidunterstützte und biologische Sanierung der Feinkornfraktion aus der Bodenwäsche bei kohlenwasserstoffhaltigen Altlasten. München 1996 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [76] **HÖLZER, D.:** EDV-gestützte Planung von Belebtschlammanlagen unter besonderer Berücksichtigung betrieblicher Aspekte, München 1996 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [77] **HARITOPOULOU, T.:** Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle in urbanen Entwässerungssystemen- Aufkommen, Transport und Verbleib. München 1996 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [78] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R. (Hrsg.):** Wechselwirkung zwischen Einzugsgebiet und Kläranlage. Tagungsband zu den 10. Karlsruher Flockungstagen, München 1996 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [79] **FUCHS, S.:** Wasserwirtschaftliche Konzepte und ihre Bedeutung für die Ökologie kleiner Fließgewässer - Aufgezeigt am Beispiel der Mischwasserbehandlung. München 1997 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [80] **BEUDERT, G.:** Gewässerbelastung und Stoffaustrag von befestigten Flächen in einem kleinen ländlichen Einzugsgebiet. München 1997 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [81] **WITT, P.CH.:** Untersuchungen und Modellierungen der biologischen Phosphatelimination in Kläranlagen. München 1997 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [82] **PSCHERA, S.:** Abwasserbehandlung mit Ozon: Klassifizierung von Abwasser zur optimierten Verfahrensgestaltung in der Kreislaufwirtschaft. München 1997 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [83] **TRAUTH, R.:** Lokalisierung von Grundwasserschadstoffquellen in urbanen Räumen München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [84] **JAKOBS, J.:** Quantifizierung der Wirkung von Kanalnetzbewirtschaftungsmaßnahmen mit Hilfe des detailliert hydrodynamischen Schmutzfrachtmodells HAuSS. München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).

- [85] **XANTHOPOULOS, C.:** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 1 - Oberfläche. München 1998 (Oldenbourg-Verlag).
- [86] **SCHMITT, T.G.:** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 2 -Kanalisation. München 1997 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [87] **SEYFRIED, C.F.:** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 3 - Kläranlage. München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [88] **HAHN, H.H., SCHÄFER, M. (Hrsg.):** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 4 - Emission/Immission. München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [89] **HAHN, H.H., WILHELMI, M.:** Abwasserreinigung - Reststoffproblem oder Sekundärrohstoffquelle. Tagungsband zu den 11. Karlsruher Flockungstagen, München 1997 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [90] **SCHULZ, S.:** Der Kanal als Reaktor: Neubildung von AOX durch Wirkstoffe in Reinigungsmitteln. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [91] **WOLTER, C.:** Steuer- und Regelkonzepte der Vorklärung unter Einbeziehung der Vorfällung/Flockung und Schlammhydrolyse. München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [92] **PFEIFER, R.:** Schmutzstoffrückhalt durch chemisch-physikalische Regenwasserbehandlung im Trennsystem. München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [93] **LIN, L.Q.:** Entstabilisierung und Aggregation von Silika und Huminsäure mit Aluminiumsalzen in turbulenten Rohrströmungen. München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [94] **HAHN, H.H., WILHELMI, M. (Hrsg.):** Abwasserfällung und Flockung. Tagungsband zu den 12. Karlsruher Flockungstagen, München 1998 (Kommissionsverlag R. Oldenbourg).
- [95] **HUPPERT, N.:** Elimination von Ibuprofen und NBBS in kommunalen Kläranlagen analysiert mittels Festphasenmikroextraktion. München 1999 (Oldenbourg Verlag).
- [96] **FUCHS, S.; HAHN, H.H. (Hrsg., 1999):** Schadstoffe im Regenabfluß IV. Abschlußpräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. München 1999 (Oldenbourg Verlag).
- [97] **SCHÄFER, M.:** Regionalisierte Stoffstrombilanzen in städtischen Einzugsgebieten – Möglichkeiten, Probleme und Schlußfolgerungen. Universität Karlsruhe – Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft 1999.
- [98] **HAHN, H.H.; KRAUS, J. (Hrsg.):** Technologische Aspekte der Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung. Tagungsband zu den 13. Karlsruher Flockungstagen, Universität Karlsruhe – Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft 1999.
- [99] **KISHI, R.T.:** Einzugsgebietseigenschaften und Fließgewässergüte (Modellierung stofflicher Parameter mit Hilfe raumbezogener Daten). Karlsruhe 2000 (Universität Karlsruhe – Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [100] **NAUDASCHER, I.:** Kompostierung menschlicher Ausscheidungen durch Verwendung biologischer Trockentoiletten - mit besonderer Berücksichtigung des Kleingartenbereichs. Karlsruhe 2001 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).

- [101] **ANDERS, G.:** Der Einsatz von Scheibentauchkörpern zur Güllebehandlung mit dem Ziel der weitergehenden Nährstoffreduktion. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [102] **WITTLAND, C.:** Angepasste Verfahren zur Industrieabwasserreinigung - Modell zur Verfahrensauswahl. Karlsruhe 2000 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [103] **HAHN, H.H.; KRAUS, J. (Hrsg.):** Projektmanagement, Maschinentechnik und gesetzliche Vorgaben. Karlsruhe 2000 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [104] **SCHMID-SCHMIEDER, V.:** Vergleich der Leistungsfähigkeit von Biofilmverfahren bei Sanierungen bzw. Erweiterungen von kommunalen Kläranlagen. Karlsruhe 2001 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [105] **HAHN, H.H.; KRAUS, J.:** Geruchsemissionen. Karlsruhe 2001 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [106] **ANTUSCH, E.:** Lokalisierung organischer Schadstoffemissionen durch Sielhautuntersuchungen. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [107] **OBERACKER, F.E.:** Verwendung und Entsorgung arsenhaltiger Wasserwerksschlämme. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [108] **HAHN, H.H.; KRAUS, J.:** Bläh- und Schwimmschlamm. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).

**Bände erhältlich bei:**

**Institut für Siedlungswasserwirtschaft**

**Forschungszentrum Umwelt der Universität Karlsruhe (TH)**

**Adenauerring 20**

**D-76131 Karlsruhe**

**Tel.: 0721/608-3477**

**Fax: 0721/607-151**

**email: [ursula.laube@isww.uka.de](mailto:ursula.laube@isww.uka.de)**