

Die anspruchsvolle Planung erlaubt nicht nur, im gesamten Einzugsbereich sauberes Fluss- von unterirdisch geführtem Schmutzwasser zu trennen, sondern konzentriert auch die Abwasserreinigung auf nur noch drei Kläranlagen. Kernstück der Maßnahmen ist der AK Emscher, der, ausgehend von etwa 5 m Tiefe in Dortmund, das Abwasser in Tiefen von bis zu 40 m nach Dinslaken leitet. Auf dieser Strecke bedient der AK Emscher zwei Kläranlagen, zu denen das Abwasser hochgepumpt werden muss.

Die Planung eines Bauwerks dieser Dimension ist mit den bisherigen Erfahrungen im Kanalbau nur unzureichend abgesichert. Allein die Transportkapazität festzulegen und Aussagen über die Entwicklung der Abwasserqualität für die nächsten rund 100 Jahre zu treffen, verlangt umfangreiche zusätzliche Erhebungen. Da beim AK Emscher der eigentliche Kanal wegen seiner Tiefenlage nur eingeschränkt zugänglich ist und Schächte nur im Abstand von 600 m geplant sind, kommt eine Inspektion durch Menschen nicht in Frage. Das sollen Roboter übernehmen. Entwickelt wird ein automatisches Inspektions- und Reinigungssystem, bei dessen Auslegung man davon ausgeht, dass manche Abschnitte des Kanals nie trockengelegt werden können.

Der Kanal - Stahlbetonrohre mit Durchmessern bis zu 3,4 m für Abflüsse bis etwa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ - wird in den wesentlichen Streckenabschnitten im Rohrvortrieb hergestellt. Um ihn über lange Jahre betreiben zu können, ist möglichst alles zu vermeiden, was den Beton korrodieren lassen würde. Eine der wichtigsten Voraussetzungen dafür: Es dürfen sich keine Ablagerungen bilden. Das ist nur durch ausreichend hohe Geschwindigkeiten bei allen denkbaren Wassermengen gewährleistet. Bleibende Ablagerungen enthalten organische Bestandteile, die unter Luftabschluss Schwefelwasserstoff entstehen lassen. Daraus bilden Thiobakterien schweflige Säure, die schließlich über Schwefelsäure zur Korrosion führt. Damit dies auch dann nicht geschieht, wenn die Kanäle nur wenig gefüllt sind, ist ein Mindestgefälle nötig. Dieses konnte mit Hilfe der TUM-Wissenschaftler festgelegt werden.

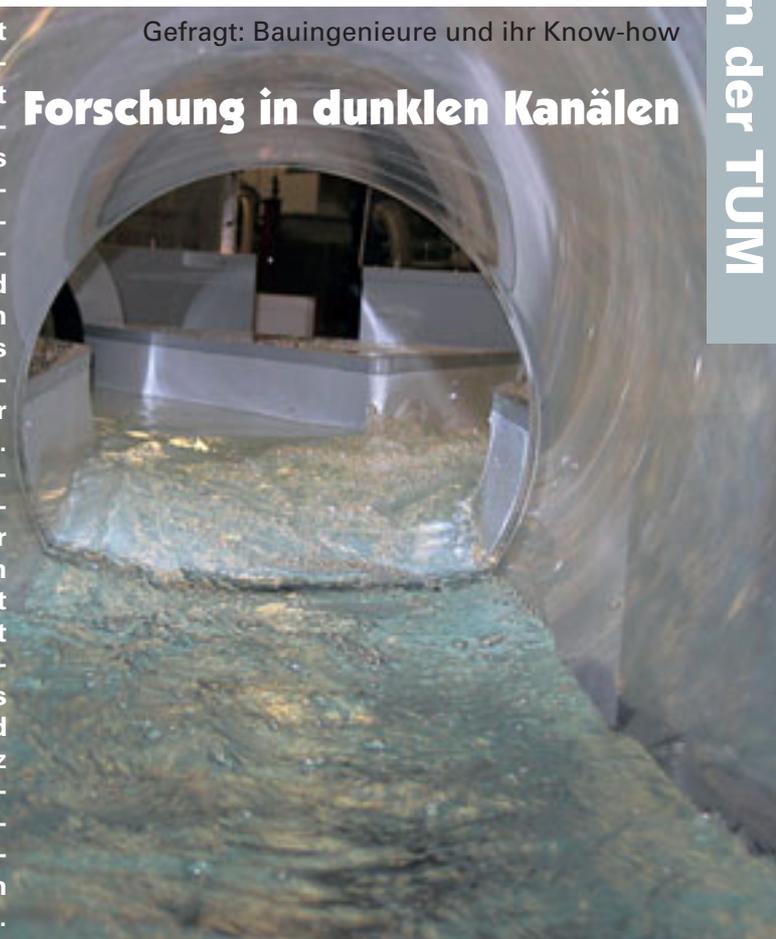
Abwasserkanäle sind im Tagesverlauf sehr unterschiedlich gefüllt. Diese variierenden Abflüsse werden beim AK

Emscher für einen langen Zeithorizont festgelegt. Da niemand weiß, wieviel Abwasser in Zukunft tatsächlich anfallen wird, sind Lösungen unerlässlich, die auch bei - aus wasserwirtschaftlicher Sicht - ungünstigen Entwicklungen des Wasserverbrauchs den ablagerungsfreien Betrieb durch entsprechende Eingriffe gewährleisten, etwa indem man den Zufluss aus Teilen des Einzugsgebiets zurückhält. Dazu muss man für den gesamten Kanal und zu jedem Zeitpunkt wissen, ob die kri-

Fluss kann man eigentlich nicht sagen. Ein großer Abwasserkanal ist sie, eine trübe, nicht selten stinkende Brühe, eingezwängt in Kanalwände aus Beton. Die Emscher, 109 Kilometer lange Kloake des Ruhrgebiets, entspringt bei Holzwickede nahe Dortmund und fließt oberhalb Duisburgs in den Rhein. Ein ehrgeiziges Projekt will aus dem verunstalteten Wasserlauf wieder einen richtigen Fluss machen. Bereits 2012 soll das Schmutzwasser sämtlicher Emscherzuläufe in ein 400 Kilometer langes, unterirdisches System aus Freispiegelkanälen verbannt sein. In diese Arbeiten fließt auch Know-how von TUM-Wissenschaftlern ein: Im Labor des Lehrstuhls für Hydraulik und Gewässerkunde (Prof. Franz Valentin) wurde Anfang Dezember 2003 das Modell einer wichtigen Einleitung in den Abwasserkanal (AK) Emscher in Betrieb genommen.

Gefragt: Bauingenieure und ihr Know-how

Forschung in dunklen Kanälen



Blick stromauf nach dem überkritischen Zufluss.

Foto: Lehrstuhl für Hydraulik und Gewässerkunde

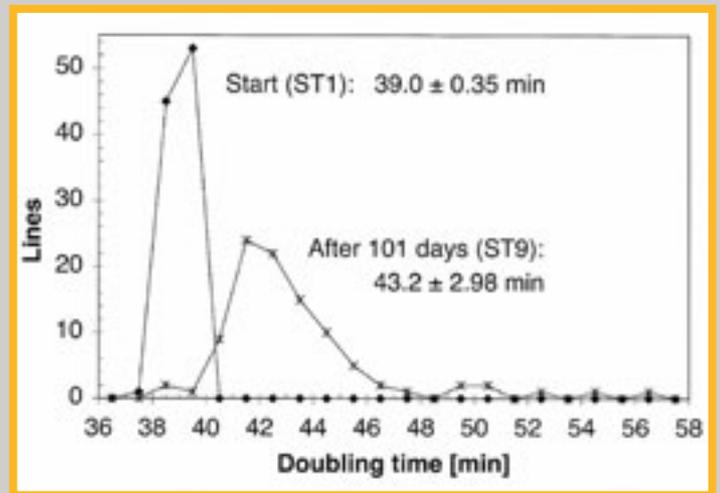
tische Abflussmenge unterschritten wird oder nicht. Bisher beruhen die Berechnungen der nötigen Rohrmaße auf wenigen nicht sehr aussagekräftigen Naturmessungen und Untersuchungen an Modellen mit maximal 445 mm Durchmesser. Der TUM-Lehrstuhl entwickelt jetzt ein numerisches Simulationsmodell, das mit Hilfe eines Turbulenzmodells wirklichkeitsnah abschätzen lassen soll, mit welchen Ablagerungen beim Transport von Feststoffen in nur teilgefüllten Rohren zu rechnen ist.

Die Strömungsverhältnisse im Sammelkanal werden im Bereich der Zuleitungen von Art und Umfang der Zuflüsse bestimmt. Besonders ausgeprägt sind Störungen an der Wasseroberfläche bei überkritischen Einleitungen, wenn das Wasser in große Tiefen abgeführt wird. Da im AK Emscher Überwachungsroboter eingesetzt werden sollen, braucht

Bakterien unter Dauerstress

Bakterien sind die am schnellsten wachsenden Organismen auf unserer Erde. Der »Weltrekord« liegt bei einer Verdopplungszeit von nur acht Minuten; viele verdoppeln sich unter optimalen Bedingungen immerhin einmal in 30 bis 60 Minuten. An Studienobjekten mangelt es den Wissenschaftlern der Abteilung für Mikrobiologie des Zentralinstituts für Lebensmittel- und Ernährungsforschung am TUM-Wissenschaftszentrum Weihenstephan (ZIEL) also nicht. Hier werden vor allem Krankheitserreger untersucht, die mit der Nahrung aufgenommen werden.

Während der Verdopplung wird das gesamte bakterielle Genom mit höchster Genauigkeit abgeschrieben. Das dafür zuständige Enzym, die DNA-Polymerase, hat eine Fehlerrate (Mutationsrate) von etwa 10^{-10} pro Basenpaar je Verdopplung. Man müsste also die DNA von rund 1 000 Bakterienzellen komplett sequenzieren, um im Durchschnitt eine Mutation zu finden. Die Wirkung dieser Mutationen kann sehr



Verteilung der Verdopplungszeiten in 100 Kulturen des Darmbakteriums *Escherichia coli* zu Beginn des Evolutionsexperiments (Mittelwert 39 min) und nach 101 Tagen Dauerstress in stationärer Phase. Auf der Ordinate ist die Zahl der Kulturen mit einer bestimmten Verdopplungszeit aufgetragen. *Quelle: Science 302, 1558 (2003)*

unterschiedlich sein: Positive Mutationen verleihen einer Zelle eine größere Fortpflanzungschance in der Konkurrenz mit anderen Mikroorganismen (»Fitness«), sind aber extrem selten. Die weitaus meisten Mutationen sind neutral - eine Veränderung ist nicht festzustellen -, oder gar negativ, verringern also die Fortpflanzungschance.

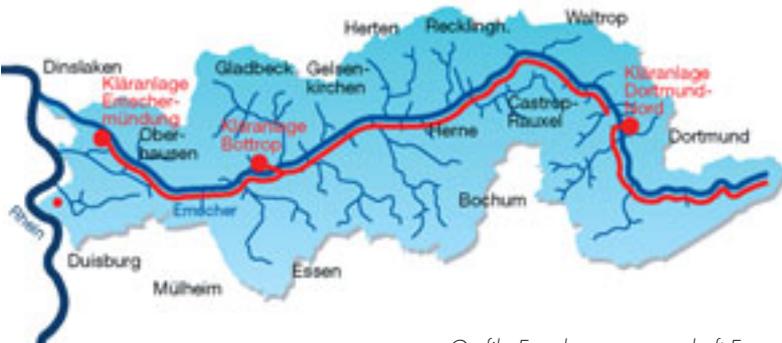
Weil Mutationen so selten auftreten, hat man lange angenommen, dass die evolutionäre Veränderung von Bakterien in sehr langen Zeiträumen verläuft. Allerdings wurden



man genaue Vorhersagen über Veränderungen in der Höhe des Wasserspiegels. Ebenso wichtig zu wissen ist, wie sich das Transportverhalten stromaufwärts der Einleitungen möglicherweise verändert. Immer dann, wenn die Einleitung einen Rückstau verursacht, steigt die Gefahr von Ablagerungen. Für den Emscherzulauf Hüller Bach haben die TUM-Ingenieure ein Modell im Maßstab 1:6,9 erstellt, an dem sie das hydraulische Verhalten unter verschiedenen Randbedingungen testen. Nachgebildet ist hier ein Zufluss zu einem Schacht, in dem sich der Rohrdurchmesser von 2,4 auf 2,8 m aufweitet. Die Ergebnisse sollen helfen, andere Zuleitungen im Hinblick auf die bestmögliche Gestaltung des Durchmesserübergangs und der zulässigen Verschwenkungswinkel bei unter- und überkritischem Zufluss zu planen. Außerdem lassen sich die dabei entstehenden Energiehöhenverluste und die mögliche Beeinflussung des Transportvermögens stromaufwärts verifizieren. Die Daten gehen in eine numerische 3D-Simulation der komplexen Wasserspiegellage im Bereich des Zusammenflusses ein.

Mit einem Investitionsvolumen von 4,4 Milliarden Euro ist der Umbau des Emschersystems eines der größten wasserwirtschaftlichen Projekte Europas. Für Planung und Bau der erforderlichen Anlagen sind die langjährigen Erfahrungen des TUM-Lehrstuhls in der physikalischen und numerischen Modellierung ähnlicher Bauwerke von großem Nutzen.

Franz Valentin



Grafik: EmscherGenossenschaft Essen