

Abwassertechnik am Scheideweg - Entsorgung oder Wertstoffgewinnung?

Peter A. Wilderer

Tag für Tag befreit uns ein sanfter Druck auf die Spültaste von dem stinkenden gelb-braunen Süsschen, das wir „Unser Abwasser“ nennen. Wasser aus Duschen, Spül- und Waschmaschinen kommt hinzu. Auf seinem Weg durch kilometerlange, unterirdisch verlegte Rohrleitungen vereinigt sich dieses „Unser Abwasser“ mit Abläufen aus Gewerbebetrieben und Industrieanlagen. So entsteht schließlich eine heterogene Mischung aus gelösten und partikulären Substanzen organischer und anorganischer Natur. Dieses Stoffgemisch zu entwirren und aus dem Abwasser wieder abzuscheiden, ist die Aufgabe der Kläranlage. Es entsteht so aber nicht nur gereinigtes Abwasser, sondern auch das Konzentrat dessen, was zuvor im Abwasser enthalten war, Klärschlamm nämlich. Über dessen Entsorgungsmöglichkeiten reden sich bereits Generationen von Ingenieuren, Landwirten, Umweltschützern und Kommunalpolitikern die Köpfe heiß. Ist die Technik der Abwasserbehandlung, wie sie sich über die zurückliegenden 150 Jahre hinweg in den Industriestaaten entwickelt hat, eigentlich noch zeitgemäß?

Wie kam es zur Abwassertechnik von heute?

Begonnen hat die Entwicklung der Abwassertechnik in der Mitte des 19. Jhs. in England. Damals befaßte sich eine königliche Kommission mit der Frage, warum in den Ballungszentren des Landes immer wieder Seuchen auftraten, die Tausenden von Menschen das Leben kosteten. Man stellte fest, daß in den Stadtteilen, in denen die Straßen mit Morast bedeckt waren, die meisten Krankheitsfälle auftraten, und schloß daraus, daß die Seuchen durch den direkten Kontakt der Menschen mit diesem Morast ausgelöst wurden – mit den darin enthaltenen pathogenen Mikroorganismen und Viren, wie man heute weiß. Woher aber kam der Morast? Er entstand dadurch, daß die Menschen in Ermangelung anderer Entsorgungsmöglichkeiten ihr Nachtgeschirr – und nicht nur das – auf die Straße entleerten (Abb. 1). So war es naheliegend, dem Problem durch Verlegung von Kanälen zu begegnen, mit denen das Abwasser unterirdisch aus den Siedlungsgebieten abgeleitet werden konnte. Es entwickelte sich die Technik der Abwasserableitung.

Für die weitere Diskussion ist wichtig, daß die Abwasserkanäle aus Kostengründen mit relativ geringem Gefälle verlegt werden, um nicht zu tief in das Gelände einschneiden zu müssen. Nun enthält Abwasser aber absetzbare Stoffe, die zu stinken beginnen und ganze Leitungen verstopfen können, wenn sich Sedimentschichten bilden. Um das zu verhindern, ist in den Kanälen für eine ausreichende Fließgeschwindigkeit zu sorgen. Viel Wasser ist notwendig, um ausreichende Abschwemmeffekte zu erzielen. Man

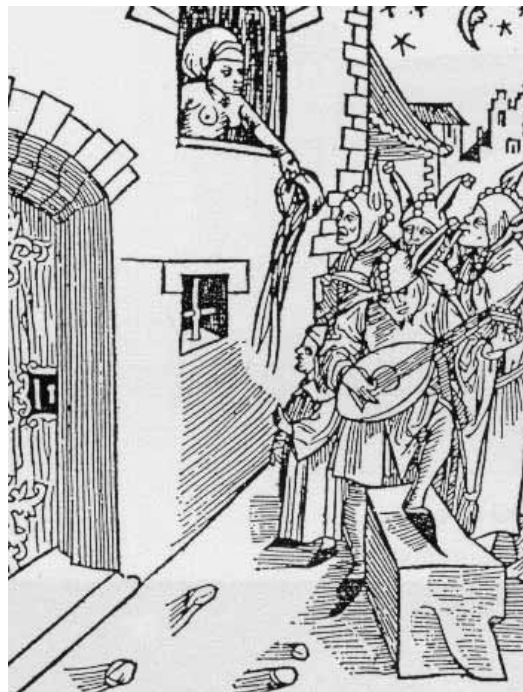


Abb. 1
Entleeren des Nachtgeschirrs auf die Straße, eine gängige Praxis bis weit in das 19. Jh. hinein (Quelle: Archiv Lehrstuhl für Wassergüte- und Abfallwirtschaft, TU München)

spricht daher auch von der Schwemmkanalisation. Daß als Transportmittel qualitativ hochwertiges Trinkwasser verwendet wird, stimmt nachdenklich vor allem, wenn man bedenkt, daß Trinkwasser vielerorts Mangelware ist.

Der Bau von Abwasserkanälen führte dazu, daß das Abwasser in den nächstgelegenen Fluß gelangte, wo sich zwangsläufig Schlammablagerungen bildeten. Der Fluß verwandelte sich in eine stinkende, trübe, ekelerregende Brühe. Verloren ging nicht nur die ländliche Idylle, wie dies in einer Erzählung von Wilhelm Raabe [1] überaus plastisch beschrieben wird. Gravierender war

die Zerstörung der ökologischen Gleichgewichte in den betroffenen aquatischen Systeme und die daraus entstandenen Gefahren für Mensch, Tier und Pflanze. Das Problem war nicht gelöst, sondern nur räumlich verlagert. Das Flußwasser war als Rohwasser für die Trinkwasserversorgung und als Brauchwasser für die Industrie praktisch

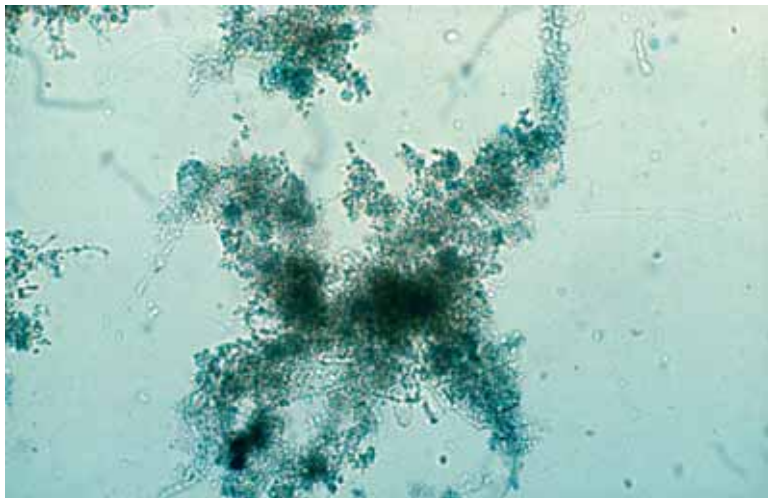


Abb. 2
Aggregation von
Bakterien in Form
einer Flocke (Belebtschlammflocke)



Abb. 3
Karl Imhoff (1876-
1965), Pionier der
Abwassertechnik

nicht mehr zu gebrauchen. Also mußte etwas getan werden, um Schlammablagerung, Gestankentwicklung und Verbreitung pathogener Keime zu vermeiden, und um die Funktionsfähigkeit der aquatische Ökosysteme zu erhalten. Man baute Anlagen, in denen das, was im Fluß nicht erwünscht ist, die Sedimentation nämlich, unter kontrollierten Bedingungen ablaufen kann. Mit Absetzbecken, aber auch mit Rechen, Sieben und Filtern sollten Trübstoffe abgeschieden und das Abwasser geklärt werden. Deshalb bezeichnen wir Abwasserreinigungsanlagen seither als Klär-Anlagen, obwohl unsere heutigen Reinigungsanstrengungen über das bloße Klären weit hinausgehen.

Mittlerweile hatte der Chemiker Frankland [2] eine Methode zur Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs entwickelt. Bei der Anwendung dieser Methode stellte man fest, daß Fische bei Absinken der Konzentration an Gelöstsauerstoff unter eine kritische Marke sterben. Besonders niedere Konzentrationswerte wurden an der Einleitungsstelle von Abwasser gefunden. Stromabwärts stieg die Sauerstoffkonzentration aber gewöhnlich wieder an, was man auf Selbstreinigungskräfte im Gewässer zurückführte. Mikroskopische Untersuchungen zeigten, daß Mikroorganismen bei der Selbstreinigung eine bedeutende Rolle spielen. Daraus leiteten Ingenieure die Idee ab, die auf mikrobiologischen Stoffwechselforgängen beruhenden Selbstreinigungsprozesse nachzubilden und in technischen Anlagen unter kontrollierten Bedingungen ablaufen zu lassen. So entstanden zu Anfang des 20. Jhs. die beiden bis zum heutigen Tage überwiegend eingesetzten Verfahren zur biologischen Abwas-

serreinigung, das Tropfkörper- und das Belebungsverfahren. Die beiden Verfahren unterscheiden sich dadurch, daß im Tropfkörper die Mikroorganismen als Biofilme an festen Flächen siedeln. Beim Belebungsverfahren vergesellschaften sich die Mikroorganismen in Form flockiger Gebilde, den Belebtschlammflocken (Abb. 2), die im Wasser schwimmen, solange für eine ausreichend hohe Mischungsenergie gesorgt wird, und sedimentieren, wenn das Wasser eigens dafür konstruierte Absetzbecken durchströmt.

Die grundlegenden Entwicklungsarbeiten zu beiden Verfahren fanden in England statt. Bei der apparatetechnischen Weiterentwicklung war später dann aber Karl Imhoff [3] die treibende Kraft (Abb. 3). Ihm verdanken wir nicht nur bedeutende technische Innovationen, sondern auch Bemessungsregeln, die aus der Erfahrung beim Betrieb von Kläranlagen abgeleitet wurden.

Bei der praktischen Anwendung der Verfahren zeigte sich, daß zum Erzielen eines ausreichend hohen Reinigungseffektes ganz unterschiedliche Organismenarten zusammenwirken müssen. Die benötigten Arten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wachstumsgeschwindigkeit und ihrer Anforderungen an die Milieubedingungen in den biologischen Anlageteilen. Viele der Bakterienarten, die bei der biologischen Abwasserreinigung eine wichtige Rolle spielen, kennen wir erst, seit die molekulare Mikrobiologie uns dazu die notwendigen Bestimmungsmethoden zur Verfügung gestellt hat. Mit Hilfe moderner Detektionsverfahren gelingt es heute, nicht nur die Verteilung der verschiedenen Organismenarten in Bioaggregaten (Belebtschlammflocken und Biofilme) zu messen (Abb. 4), sondern auch Informationen über die Stoffwechselaktivitäten der einzelnen Arten zu gewinnen [4]. Solche Informationen sind wichtig, um die Reinigungsprozesse in biologischen Abwasserbehandlungsanlagen wirksam und kostengünstig zu gestalten. Um alle die metabolischen Fähigkeiten der vielen wichtigen Organismenarten nutzen zu können, waren vielfältige verfahrenstechnische Entwicklungen zu leisten. Die biologische Abwasserreinigung wurde immer komplexer, platzaufwendiger (Abb. 5) und auch teurer. Mathematische Modelle wurden entwickelt, die heute in die Ingenieurpraxis weltweit Eingang gefunden haben und als Dimensionierungshilfsmittel sowie zur Betriebssteuerung von Kläranlagen eingesetzt werden.

Probleme bereitet der Klärschlamm, der bei der Abtrennung der partikulären Abwasserinhaltsstoffe sowie der überschüssigen Biomasse aus den biologischen Anlageteilen entsteht. Er enthält in konzentrierter Form Problemstoffe unterschiedlichster Art und Wirkung. Er enthält allerdings auch wertvolle Düngestoffe und Humus, und wäre deshalb für eine landwirtschaftliche

Verwertung bestens geeignet. Die Furcht vor einer Verbreitung von Schadstoffen in der Umwelt veranlaßt derzeit allerdings viele Kläranlagenbetreiber, von der landwirtschaftlichen Verwertung Abstand zu nehmen und den Klärschlamm zu verbrennen.

Ist die klassische Abwassertechnik noch zeitgemäß?

Ohne Einschränkung kann festgestellt werden, daß die Entwicklung der Abwassertechnik, der Schwemmkanalisation eingeschlossen, im Verbund mit der Entwicklung der städtischen Wasserversorgung wesentlich zum wirtschaftlichen Aufschwung der Industrieländer beigetragen hat. Durch Befriedigung der Grundbedürfnisse von Bevölkerung, Gewerbe und Industrie an ausreichenden Mengen sauberen Trinkwassers, nach geordneter Sanitärtechnik und effizienter Abwasserreinigung war eine wichtige Voraussetzung für Wohlstand und Wirtschaftswachstum gelegt. In den Genuß derartiger geordneter wasserwirtschaftlicher Verhältnisse gelangt derzeit aber nur ein Bruchteil der Erdbevölkerung. Über eine Milliarde Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser oder können sich sauberes Trinkwasser nicht leisten. Fast ein Drittel der Erdbevölkerung hat nach Schätzungen der Vereinten Nationen keinen Zugang zu einer menschenwürdigen Sanitärtechnik, und weniger als 10% der Erdbevölkerung ist an Kläranlagen angeschlossen. Dies alles geht einher mit Armut, Krankheiten, Kriminalität bis hin zu Terrorismus. Die Folgen betreffen nicht nur die Menschen in den unterentwickelten Ländern. Wie die Ereignisse der letzten Jahre gezeigt haben, sind weltweite Auswirkungen unvermeidlich.

Als Reaktion auf diese Mißstände haben die 191 Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen beschlossen, rasche und weitreichende Maßnahmen zur Armutsbekämpfung, zur Eindämmung von Seuchen, zur Verbesserung der Trinkwasserversorgung und zur Einführung von Abwassertechnik zu ergreifen. Die Kosten, die bei der Umsetzung der Beschlüsse anfallen, sind allerdings exorbitant. Die Weltbank rechnet mit einem Mittelbedarf von 180 Milliarden US\$ pro Jahr, wenn zur Lösung der anstehenden Aufgaben die klassischen Verfahren eingesetzt werden. Innovative, kostengünstigere Verfahren werden dringend benötigt, um mit weniger Geld einen hohen Standard hinsichtlich Ver- und Entsorgungssicherheit sowie Komfort bereitstellen zu können.

Was macht die herkömmliche Abwassertechnik so teuer, und was kann man tun, um die Kosten zu senken, ohne damit an Effizienz einzubüßen? Zu dem Bemühen, solche Fragen zu beantworten, gehört das kritische Hinterfragen der Technik, wie wir sie heute betreiben, und der Konzep-

te dazu. Wie steht es beispielsweise mit der Schwemmkanalisation. Der Bau von Kanalisationssystemen verschlingt bis zu 80% der Investitionskosten für Abwasserbehandlungssysteme. Große Mengen an Trinkwasser müssen, wie oben erklärt, eingesetzt werden, um die Schwemmkanalisation betreiben zu können. Gerade das fehlt in vielen Großstädten dieser Erde. Wenn es also gelänge, die Schwemmkanalisation durch eine andere Technik zu ersetzen, wäre man den Millenniumszielen der UN ein gutes Stück näher gekommen.

Wie eingangs geschildert, werden auf dem Weg zur Kläranlage vielerlei Abwasserteilströme miteinander vermischt. Angesichts der so entstehenden Stoffvielfalt und angesichts der gleichzeitig eintretenden Verdünnung kann eine Abwasserreinigung nur erfolgreich sein, wenn man in der Kläranlage degradierende Methoden einsetzt, den biologischen Abbau zum Beispiel. Würde man dagegen die Teilströme separat erfassen, die Stoffe aufbereiten und sie in den Stoffkreislauf zurückführen, wie man das bei der Behandlung fester Abfallstoffe mit Erfolg tut, würde sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis völlig verändern. Urin, beispielsweise, enthält wertvolle Düngestoffe in hoher Konzentration [5]. Ihn nutzbar zu machen, statt ihn in Kläranlagen durch teure Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse in atmosphärischen Stickstoff zu überführen, ist ein Gedanke, der in der Wirtschaft zunehmend auf Interesse stößt.

Herausforderungen an die Wissenschaft und Technik

Viel konsequenter, als dies heute noch der Fall ist, müssen die Abwasserreinigungsanlage als Element eines urbanen Systems verstanden werden, das auf eine nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser ausgerichtet ist. Kreislaufführung und Mehrfachnutzung nicht nur von Wasser, sondern auch von Abwasserinhaltsstoffen wird in zunehmendem Maße zum Standard werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist jedoch noch ein

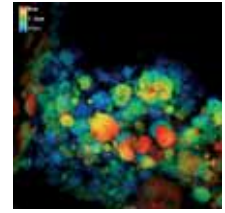


Abb. 4 Tiefenprojektion eines Biofilms, der durch Mikrokolonien verschiedener Bakterienarten aufgebaut ist (mikroskopische Aufnahme mit dem confocalen Laser Scanning Mikroskop nach Behandlung des Biofilms mit Gensonden); Bild: Regina Nogueira

Abb. 5 Luftaufnahme der Kläranlage München II, Gut Marienhof (Foto: Photogrammertrie GmbH, München; zur Verfügung gestellt von SEW München)



erhebliches Maß an Forschung notwendig sowie die Bereitschaft der Wirtschaft, wissenschaftliche Erkenntnisse in neue Vorrichtungen und Verfahren umzusetzen.



Abb. 6
Beispiel für Faulbehälter zur anaeroben Behandlung von Klärschlamm (Kläranlage Singapore)

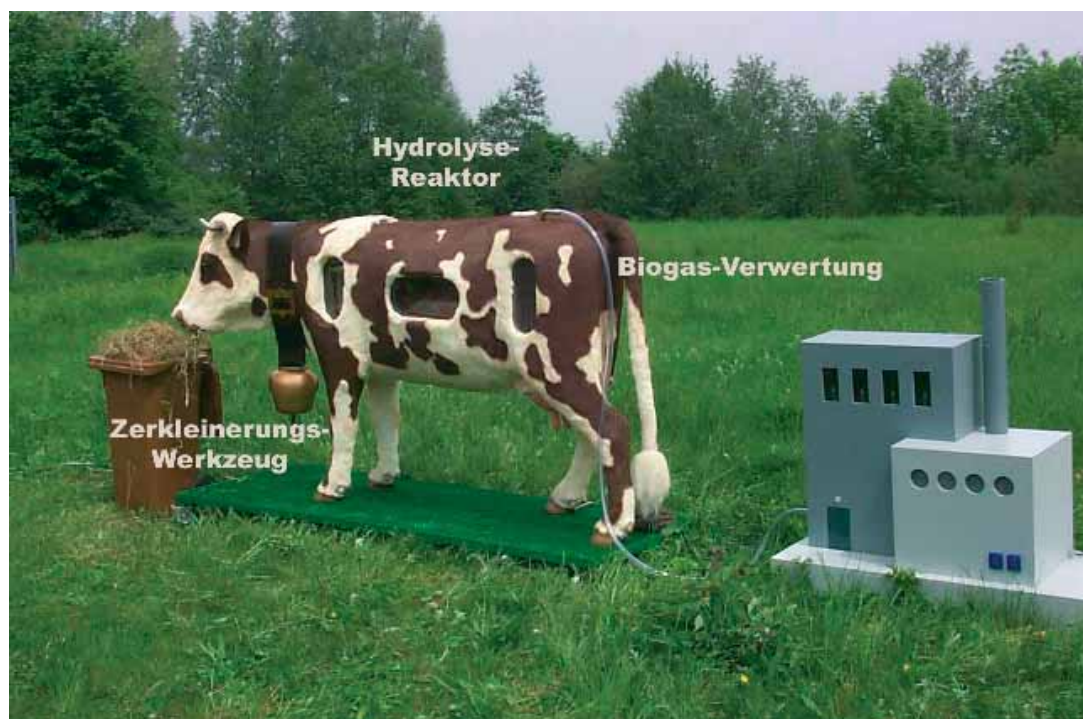
Aus der großen Palette der Forschungs- und Entwicklungsaufgaben, die derzeit weltweit behandelt werden, seien zwei kurz umrissen: die Weiterentwicklung der Anaerobtechnik zur Gewinnung von Wertstoffen aus Abwasser und aus anderen Abfallstoffen privater Haushalte, Industrie, Landwirtschaft, und die Erforschung der Wirkung von organischen Spurenstoffen, die über die Verwendung von Arzneimitteln und Haushaltschemikalien in das Abwasser gelangen sowie die Entwicklung von Methoden zur Entfernung derartiger Stoffe aus dem Wasser. Bei der Anaerobbehandlung geht es darum, Materialien

organischer Natur mit heterogen zusammengesetzten mikrobiellen Lebensgemeinschaften unter Luftabschluß so aufzubereiten, daß die in den Materialien enthaltenen Wertstoffe gewonnen und genutzt werden können.

Bisher waren Anaerobverfahren in der Abwassertechnik ausschließlich auf die Gewinnung von Methangas (Biogas) ausgerichtet. Die Stoffumwandlungsprozesse erweisen sich teilweise als sehr langsam, insbesondere wenn die Molekülstruktur der zu metabolisierenden Ausgangssubstrate sehr komplex ist. Entsprechend groß und teuer sind die Reaktoren (Abb. 6), die zur Biogaserzeugung eingesetzt werden.

Anaerobe Stoffumwandlungsprozesse sind in der Natur weit verbreitet. Der Mensch, das Schwein oder die Kuh würden nicht existieren können, wenn nicht im Magen/Darmtrakt anaerobe Prozesse ablaufen würden. Wie in den technischen Anaerobreaktoren wird auch hier das Ausgangssubstrat, die aufgenommene Nahrung, zuerst depolymerisiert und versäuert, bevor das Lebewesen Nutzen aus der Nahrung ziehen kann. Dieser Nutzen besteht interessanterweise aber nicht darin, daß Methangas erzeugt wird. Vielmehr werden die gewonnenen Monomere und organischen Säuren über die Darmwand in den Blutkreislauf überführt und zum Aufbau körpereigenen Materials sowie zur Energiegewinnung verwendet. Die Darmwand fungiert dabei als Trenn- und Transportmembran. Bei genauerem Hinsehen fällt auf, daß die anaeroben Prozesse im Magen-/Darmtrakt recht schnell ablaufen. Das gilt auch für Strukturmaterialien wie Gras, die von Kühen, Schafen oder Ziegen innerhalb weniger Stunden umgesetzt werden, während technisch dafür eini-

Abb. 7
RESI (Rumen Enhanced Solid Incubator) als Anschauungsmodell für einen Anaerobreaktor, der nach dem Vorbild der Natur konzipiert ist; links: eine künstliche Kuh mit Gucklöchern; rechts: das Modell eines Kraftwerks als Symbol für „Energieerzeugung aus Biogas“



ge Wochen benötigt werden. Durch Anwendung molekularbiologischer Methoden konnten die Mechanismen, die im Pansen einer Kuh ablaufen, weitgehend aufgeklärt werden. Abb. 7 zeigt das Anschauungsmodell, mit dem die Vorgänge verdeutlicht werden sollen. Mit einem dem Kuhmagen nachgebildeten technischen Verfahren, das als „Rumen Enhanced Solid Incubator“ (RE-SI) bezeichnet wird, können in der Tat ähnliche Abbaugeschwindigkeit erreicht werden, wie in der lebenden Kuh. Die Membrantechnik scheint in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle zu spielen. Durch Entwicklung selektiv wirksamer Membranen könnte es gelingen, Produkte des anaeroben Stoffwechsels auszuschleusen und nutzbar zu machen, beispielsweise in der technischen Chemie.

Über die genaue Wirkung organischer Spurenstoffe, die durch die Verwendung von Chemikalien im Haushalt direkt oder indirekt in das Abwasser und möglicherweise in die Nahrungskette gelangen, weiß man derzeit erst sehr wenig. Wegen der sehr geringen Konzentration der Wirkstoffe sind Untersuchungen sehr aufwendig und langwierig. Noch viel komplizierter ist es, solche Stoffe gezielt abzutrennen und zu vernichten. Nur wenn dieses gelingt, kann aufbereitetes Wasser auf lange Sicht gefahrlos wiederverwendet werden. Auch hier bietet die Membrantrenntechnik eine gute Chance, einen wichtigen Schritt vorwärts zu kommen.

Ausblick

Die Abwassertechnik steht heute an einer Schwelle, die gelegentlich auch als Paradigmenwechsel bezeichnet wird. Durch Nutzung neuer technischer Möglichkeiten, beispielsweise der Membrantechnik oder auch der molekularbiologischen Analytik, gelingt es, neue Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Wasser und von Abwasserinhaltsstoffen zu schaffen. Das NE-Water-Projekt der Stadt Singapore (Abb. 8) mag in diesem Zusammenhang als das am weitesten fortgeschrittene gelten. Umkehrosmembranen,



Abb. 8
Anlage zur Gewinnung von hochreinem Trinkwasser aus dem kommunalen Abwasser der Stadt Singapore: Schulklassen werden durch die Anlage geführt, um das Vertrauen der Bevölkerung in die neue Technik zu fördern

wie sie zur Meerwasserentsalzung dienen, werden dort erfolgreich eingesetzt, um aus Abwasser Trinkwasser herzustellen. Bereits heute wird ein großer Teil des kommunalen Abwassers, in Zukunft das gesamte Abwasser zu hochreinem Wasser aufbereitet, industriell beispielsweise für die Waver-Produktion verwendet und im übrigen zusammen mit aufbereitetem Regenwasser in das Wasserversorgungsnetz der Stadt eingeleitet. Bevor solche Recycling-Prozesse allerdings kostengünstig und auf breiter Front eingesetzt werden können, bedarf es noch erheblicher Anstrengungen in Forschung und Entwicklung.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Peter A. Wilderer
Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Technische Universität München
Am Coulombwall
85748 Garching

Literatur

- ^[1] Raabe, W. Pfisters Mühle – Ein Sommerferienheft. http://guttenberg.spiegel.de/raabe/pfister/Druckversion_pfister.htm, 1884
- ^[2] Frankland, E. 1st Report of the River Pollution Commission, 1870
- ^[3] Imhoff, K., Fair, G.M. Sewage treatment. John Wiley & Sons, New York, 1949
- ^[4] Wilderer, P.A., Bungartz, H.-J., Lemmer, H., Wagner, M., Keller J., Wuertz, S. Water Research 36, 2002
- ^[5] Lange, J., Otterpohl, R. Mallbeton Verlag Donaueschingen-Pförrchen, 1997

GREENPEACE

040/3 06 18-0

Jetzt anrufen,
informieren, handeln.

Gesponsort von INPRO GmbH • Hallerstraße 1 • 10587 Berlin • www.inpro.de