

Eawag

News



Mix oder NoMix? Urinseparierung unter der Lupe

Eine gute Idee, aber das will doch keiner! Seite 8

Dünger aus der Bibliothek. Seite 17

Hilft NoMix bei Umweltproblemen durch Pharmaka? Seite 23



Willi Gujer, Mitglied der Eawag-Direktion, Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich

NoMix, eine Ernst zu nehmende Option

In einem kleinen, versteckten Hörsaal hielt ich meinen ersten Vortrag über die kuriose Idee, Urin getrennt vom übrigen Abwasser abzuleiten und zu behandeln. Das war 1996 an einer grossen Konferenz der International Association of Water Quality (IAWQ heute IWA). Nur wenige Kongressteilnehmer hatten den Weg in diesen Hörsaal gefunden und einige Kollegen sahen sich gar verpflichtet, meinen Vortrag anzuhören. Heute werden Vorträge zur NoMix-Technologie in den Hauptsessions der gleichen Konferenz vor vollen Rängen gehalten und die Anzahl der Veröffentlichungen nimmt exponentiell zu.

Auf der Suche nach wirtschaftlichen Lösungen für den Gewässerschutz und aufbauend auf den Gedanken zur Nachhaltigkeit galten unsere ersten Überlegungen der Wiederverwendung der Nährstoffe im Urin, insbesondere des Phosphors. In der Zwischenzeit sind weitere Aspekte hinzu gekommen; das Schicksal und die Bedeutung der im Urin enthaltenen Mikroverunreinigungen, das sind Hormone und Reststoffe aus Medikamenten, haben für die Medien mehr Appeal als Nährstoffe, für deren Elimination ja seit Jahren zuverlässige Technologien verfügbar sind.

Neben diesen technisch-naturwissenschaftlichen Fragen haben sich für mich als Ingenieur in den Projekten zur NoMix-Technologie ganz neue und spannende Aspekte ergeben: Der Einbezug der Haushalte und damit der direkte Kontakt zum Benutzer waren ungewohnt. Auch den Umgang mit der Sanitärindustrie mussten wir zuerst erlernen und sind dabei noch immer nur teilweise erfolgreich. Politische Entscheide spielten plötzlich eine ganz andere und wichtigere Rolle als beim Projektieren einer konventionellen Kläranlage. In all diesen neuen Aufgaben sind wir zunehmend auf die Zusammenarbeit mit Ökonomen und Sozialwissenschaftlern angewiesen, eine Entwicklung, die sich nicht nur in diesem Projekt abzeichnet.

Das Novaquatis-Projektteam hat Mut bewiesen. Es hat sich auf breiter Front auf ein Projekt eingelassen, das in seiner Konsequenz vorerst als zwar interessant beurteilt, aber insgesamt doch als eher exotisch belächelt wurde. Heute ist daraus ein international führendes Projekt geworden, das weltweit auf Interesse stösst und Antworten bereitstellt. Es ist eine Stärke der Eawag, solche umfassenden und langfristigen (Quer-)Projekte überhaupt möglich zu machen. Wäre die Eawag ein reines Hochschulinstitut, so müsste der kurzfristige Erfolg stärker gewichtet werden.

Zusammen mit allen, die in Novaquatis mitgearbeitet haben, freue ich mich über den erfolgreichen und aussagekräftigen Abschluss des Projekts. Ich wünsche mir, dass nun auch die Praxis den Mut hat, die von uns erarbeiteten Erkenntnisse umzusetzen. Wenn dabei nicht wie anfänglich beabsichtigt die Industrieländer, sondern vorerst vor allem die Schwellen- und Entwicklungsländer profitieren, so wird unsere ursprüngliche Hoffnung mehr als erfüllt.

Titelfoto: Rödiger NoMix-WC, das im Forum Chriesbach der Eawag und in der Kantonsbibliothek Baselland in Liestal eingesetzt wird. Der Urinablauf ist nur geöffnet, wenn man auf dem WC sitzt. Steht man zum Spülen auf, wird er geschlossen. So gelangt der Urin unverdünnt in den Urintank. © Ruedi Keller, Zürich

Leitartikel

4 **NoMix unter der Lupe**

Ruedi Keller, Zürich



Kann die Abwasserreinigung nachhaltiger gestaltet werden, indem der Urin an der Quelle aufgefangen und gezielt behandelt wird? Sechs Jahre lang beschäftigte sich das Querprojekt Novaquatis mit dieser Frage.

Forschungsberichte

8 **Eine gute Idee, aber das will doch keiner!**

Wie steht die Bevölkerung zum NoMix-WC und zum Urindünger?

11 **NoMix beginnt im Badezimmer**

Ruedi Keller, Zürich



Die Entwicklung von NoMix-Anlagen, die Urin hoch konzentriert sammeln und dennoch nicht verstopfen, ist eine Herausforderung für die Sanitärindustrie. Novaquatis liefert fundierte Grundlagen.

14 **Aufbereitung von Urin – Flexibilität pur**

Viele Verfahren eignen sich für die Behandlung von Urin. Sie können den ungewöhnlichen Rohstoff massgeschneidert verändern.

17 **Dünger aus der Bibliothek**

Eawag



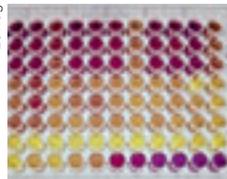
Aus Urin einen Dünger herzustellen, ist ein Novum. Erstmals wird dies in der Schweiz mit Urin aus der Kantonbibliothek Liestal gemacht. Sie ist komplett mit NoMix-WCs ausgestattet.

20 **Urinaufbereitung: Vom Labor zur Praxis**

Durch Elektrodialyse und Ozonierung werden Nährstoffe aus dem Urin zu einem risikofreien Dünger aufkonzentriert. Die Pilotanlage läuft seit über einem Jahr einwandfrei.

23 **Hilft NoMix bei Umweltproblemen durch Pharmaka?**

Eawag



Wird der Urin weiterverarbeitet, muss sicher sein, dass die darin enthaltenen Arzneimittelreste und Hormone nicht in die Umwelt gelangen. Novaquatis entwickelte dafür ein spezielles Testverfahren.

26 **Was man in China schon immer wusste**

Die mehrere Millionen Einwohner zählende Stadt Kunming will ihr Abwasserproblem in den Griff bekommen. Die NoMix-Technologie kann dabei einen wichtigen Beitrag leisten.

eawag
aquatic research

Herausgeberin, Vertrieb: Eawag, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz, Tel. +41 (0)44 823 55 11, Fax +41 (0)44 823 53 75, www.eawag.ch

Redaktion: Martina Bauchrowitz, Eawag

Copyright: Nachdruck möglich nach Absprache mit der Redaktion.

Erscheinungsweise: unregelmässig in Deutsch, Englisch und Französisch. Chinesische Ausgabe in Zusammenarbeit mit INFOTERRA China National Focal Point.

Abbildungen: Peter Nadler, Küsnacht

Konzept: TBS Identity, Zürich

Satz, Bild und Layout: Peter Nadler, Küsnacht

Gedruckt: auf Recyclingpapier

Abonnement und Adressänderung: NeuabonnentInnen willkommen.

eawag.news@eawag.ch

ISSN 1420-3979

Fazit

29 **Urinnutzung: erste Praxiserfahrungen NoMix kann Ozeane sanieren Gefordert ist nun die Praxis**

Verschiedenes

30 **Novaquatis-Publikationen**

33 **Publikationen**

35 **Brief der neuen Eawag-Direktorin**

36 **In Kürze**

NoMix unter der Lupe



Tove A. Larsen, Chemie-Ingenieurin, und Judit Lienert, Biologin, leiteten gemeinsam das Eawag Querprojekt Novaquatis

Novaquatis, das inter- und transdisziplinäre Projekt der Eawag, untersuchte die getrennte Ableitung und Behandlung von Urin als Alternative in der modernen Siedlungswasserwirtschaft. Die Ergebnisse zeigen, dass die so genannte NoMix-Technologie eine flexible Innovation ist, die in unterschiedlichen Szenarien Vorteile bietet. Vor allem könnte sie zur Lösung der globalen Nährstoffproblematik beitragen.

Ist es möglich, die Abwasserreinigung nachhaltiger zu gestalten, indem man den Urin an der Quelle auffängt und dann gezielt behandelt? Mit dieser Frage beschäftigt sich die Eawag bereits seit Mitte der 1990er Jahre [1]. Dahinter steht die Überlegung, dass Urin weniger als 1% des Abwassers ausmacht, aber den grössten Teil der Nährstoffe beisteuert. Würden wir den Urin abtrennen und separat behandeln, könnten die Nährstoffe besser eliminiert werden als heute in der Schweiz üblich. Dadurch könnten kleinere Kläranlagen gebaut werden, die auf den optimalen Abbau und Rückhalt der gelösten und partikulären organischen Stoffe im Abwasser spezialisiert sind. Zusätzlich könnten die Nährstoffe zurück in den landwirtschaftlichen Kreislauf gebracht werden. Dies ist vor allem für Phosphor von Bedeutung, da die gut verfügbaren und qualitativ hoch stehenden Reserven mittelfristig aufgebraucht sind. Um die Machbarkeit der NoMix-Technologie zu

prüfen, hat die Eawag das Querprojekt Novaquatis initiiert. Das inter- und transdisziplinäre Projekt lief von 2000 bis 2006.

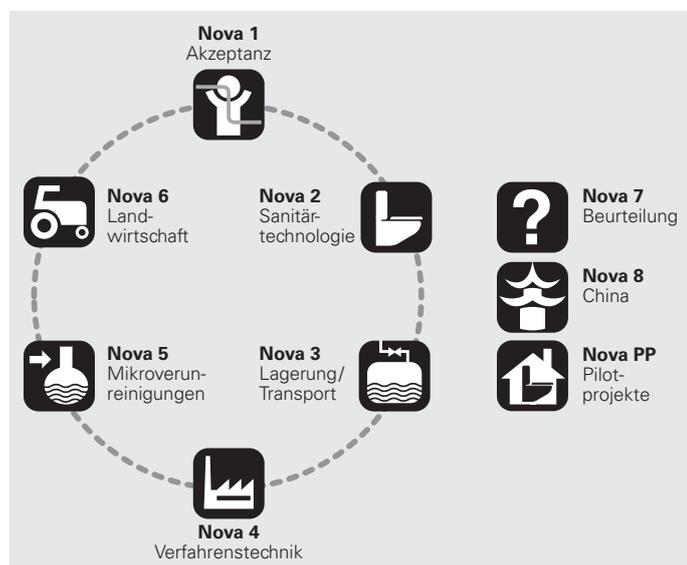
Die Arbeit im Projekt wurde in neun Arbeitspakete aufgeteilt (Abb. 1). Die meisten Resultate aus Novaquatis waren sehr positiv und haben den Entscheid mehr als gerechtfertigt, sich der NoMix-Thematik zu widmen. Wir besitzen nun ein differenzierteres Bild von den Vor- und Nachteilen der NoMix-Technologie.

Nova 1: Akzeptanz. Weil die NoMix-Technologie in die Privatsphäre der Haushalte eindringt, muss sie von der Bevölkerung akzeptiert und befürwortet werden. Im Arbeitspaket Nova 1 sind wir deshalb der Frage der Akzeptanz nachgegangen. Das Hauptresultat: Die meisten Befragten stehen der NoMix-Technologie grundsätzlich positiv gegenüber, wollen aber auf Dauer keine Kompromisse beim Komfort eingehen. Mehr dazu im Beitrag von Judit Lienert auf S. 8.

Nova 2: Sanitärtechnologie. NoMix-WCs herzustellen ist Aufgabe der Sanitärindustrie. Die heutigen – erst in kleiner Stückzahl produzierten – NoMix-WCs sind noch nicht voll ausgereift. Ein grosses Problem ist die Verstopfung der Urinableitungen durch mineralische Ausfällungen. Wir haben uns in Novaquatis deshalb intensiv mit der Sanitärindustrie ausgetauscht und unsere Ergebnisse zur Entstehung, zum Ausmass und zur Vermeidung der Ausfällungen eingebracht (siehe Beitrag von Kai Udert auf S. 11). Dabei wurde klar, dass sich die Sanitärindustrie erst dann voll auf die Verbesserung der NoMix-WCs einlässt, wenn eine Gesamtstrategie und klar sichtbare Märkte vorhanden sind. Derzeit gibt es in den Niederlanden erste Anzeichen für einen möglichen Einstiegsmarkt in Europa: ca. 20 Pilotprojekte sind dort in der Planung oder wurden bereits gestartet. Sie sind das unmittelbare Resultat der strengen holländischen Emissionsgrenzwerte für Nährstoffe [2].

Nova 3: Lagerung und Transport. Der Transport des Urins vom Haushalt zu einer zentralen Aufbereitung hat sich als Knackpunkt der NoMix-Technologie herausgestellt. Dies war keine Über-

Abb. 1: Die neun Arbeitspakete von Novaquatis.





Eawag

Im Forum Chriesbach wird sogar Frauen- und Männerurin getrennt gesammelt. Das neue Hauptgebäude der Eawag ist komplett mit NoMix-WCs ausgestattet.

raschung, aber die Wahrnehmung hat sich vor allem durch den Austausch mit den Sanitärfirmen in Nova 2 vertieft. Obwohl Novaquatis verschiedene Strategien für den Transport von Urin in der bestehenden Kanalisation entwickelt hat [1, 3], stellen sie für die Sanitärindustrie keine genügende Motivation dar, sich zu engagieren. Grund ist, dass diese Transportkonzepte nur in kleinen Einzugsgebieten und unter bestimmten Voraussetzungen einsetzbar sind.

Die Alternativen dazu, der Lastwagentransport oder die Verlegung separater Leitungen für den Urin, erscheinen uns vor allem wegen der zu erwartenden Kosten wenig attraktiv. Interessant dagegen ist die dezentrale Aufbereitung des Urins, z. B. direkt im Haus. Dass dieses Szenario Erfolg versprechend ist, zeigen die Ergebnisse aus Nova 4.

Nova 4: Verfahrenstechnik. Ob man die Nährstoffe eliminieren oder als Dünger wieder gewinnen möchte: Wir gehen davon aus, dass der Urin in einem urbanen Umfeld immer aufbereitet werden muss. Einerseits sind Transport und Lagerung sonst kaum zu bewerkstelligen, andererseits bestehen in vielen Ländern strenge Düngerkriterien. Die Forschung in Nova 4 hat gezeigt, dass viele Aufbereitungsverfahren möglich und die meisten dazu noch energieeffizient sind. Diese Vielfalt macht die Urinseparierung ausserordentlich flexibel: Je nach Szenario können die unterschiedlichsten Ziele erreicht werden. Max Maurer gibt in seinem Beitrag auf S. 14 einen Überblick über die möglichen Verfahren – viele davon wurden im Eawag-Labor entwickelt. Wouter Pronk beschreibt dagegen eine spezifische Verfahrenskombination zur Herstellung von Dünger aus Urin (siehe Beitrag auf S. 20). Sie wird zurzeit als Pilotprojekt auf einer Abwasserreinigungsanlage im Kanton Basel-Landschaft getestet.

Nova 5: Mikroverunreinigungen. Über die Niere scheiden wir nicht nur Nährstoffe, sondern auch gelöste organische Stoffe aus unserem Stoffwechsel aus. In Novaquatis haben wir uns intensiv mit zwei wichtigen Gruppen dieser Stoffe befasst, mit Hormonen und Arzneimitteln. Vermehrt werden diese Stoffe in

den Gewässern gefunden, und es gibt Hinweise, dass sie die im Wasser lebenden Organismen beeinträchtigen. Darum macht es Sinn, diese problematischen Mikroverunreinigungen direkt aus dem Urin zu entfernen, sei es, um die Gewässer vor weiteren Belastungen zu schützen oder um ihren Eintrag in die Landwirtschaft über einen Urindünger zu vermeiden.

Aus diesem Grund hat die Eawag verschiedene Verfahren wie die Nanofiltration und die Elektrodialyse zur Abtrennung der Mikroverunreinigungen getestet (siehe Artikel von Wouter Pronk auf S. 20). Darüber hinaus wurden in Nova 5 Testverfahren entwickelt, mit denen sowohl einzelne Stoffe chemisch nachgewiesen als auch Schadstoffmischungen auf ihre ökotoxikologische Wirkung hin untersucht werden können. Damit kann der Verbleib der Mikroverunreinigungen während der gesamten Urinaufbereitung überwacht werden. Dieser Aspekt wird im Artikel von Beate Escher und Judit Lienert auf S. 23 ausführlich beschrieben.

Nova 6: Landwirtschaft. Eine wichtige Rolle im Nährstoffkreislauf spielt die Landwirtschaft. Wir konnten zwar keine Finanzierung für dieses Arbeitspaket finden, aber durch Zusammenarbeit mit externen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern trotzdem wichtige Resultate erzielen. So hat ein erstes Stimmungsbild unter Schweizer Bauern gezeigt, dass die Bereitschaft vorhanden ist, ein aus Urin hergestelltes Düngerprodukt zu verwenden. Jedoch müssen Risiken in Bezug auf Hygiene oder Mikroverunreinigungen ausgeschlossen und der Dünger muss billig sein (siehe Beitrag von Judit Lienert auf S. 8). Zudem führten das Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) in Frick und die Universität Bonn Düngerversuche mit Urinprodukten aus Nova 4 durch. Es zeigte sich, dass die Urindünger ähnlich wirksam wie übliche Handelsdünger sind. Weitere Informationen dazu sowie zu den Anforderungen, die ein Produkt aus Urin in der Schweiz erfüllen muss, um als Dünger zugelassen zu werden, gibt der Artikel von Markus Boller auf S. 17.

Nova 7: Beurteilung. Eine endgültige Beurteilung der NoMix-Technologie ist auch nach Abschluss von Novaquatis nicht möglich. Es hat sich aber deutlich gezeigt, dass die Bedeutung der Nährstoffelimination aus globaler Sicht zunimmt, vor allem auf Grund des Bevölkerungswachstums und der Konzentration der Menschen in Städten [4]. Gleichzeitig sieht man, dass die End-of-Pipe-Massnahmen mit Abwasserkanälen und Kläranlagen in dicht besiedelten Gebieten an ihre Grenzen stossen (siehe dazu das Beispiel von Kunming im Beitrag von Tove Larsen und Koautoren auf S. 26). Die NoMix-Technologie könnte eine energieeffiziente Option sein, um die Nährstoffemissionen in Zukunft zu reduzieren [5]. Bei Bedarf können die Nährstoffe auch in die Landwirtschaft oder in die Industrie zurückgeführt werden; eine Tatsache, die vor allem beim Phosphor eine Rolle spielt. Angesichts des weltweiten Wassermangels kann die NoMix-Technologie darüber hinaus in solchen Gebieten von Vorteil sein, wo Abwasser nach der Reinigung direkt wieder verwendet werden soll: z. B. in Südafrika. Würde man den Urin dort vom Abwasser abtrennen, wäre die Abwasserreinigung wesentlich einfacher und das so aufbereitete Wasser von besserer Qualität.



NASA

In schnell wachsenden urbanen Gebieten kann die Abwasserentsorgung meist nicht mithalten. Besonders prekär ist die Situation oft in Städten an Seen oder in Küstennähe. Hier bringt die NoMix-Technologie entscheidende Vorteile. Dies zeigte Novaquatis in einem Pilotprojekt für die mehrere Millionen Einwohner zählende Stadt Kunming (links) am stark überdüngten Dianchi-See in China (siehe Artikel auf S. 26) [6].

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die Finanzen: Geht man davon aus, dass die Kosten der Abwasserreinigung bei Anwendung der NoMix-Strategie gleich hoch bleiben wie heute mit dem konventionellen System, dann wären Investitionen von ca. 1250–2100 CHF pro Haushalt in der Schweiz möglich (inklusive NoMix-WC, Transport und Aufbereitung des Urins; [7]). Zusätzlich bekäme man mit der NoMix-Technologie eine wesentlich bessere Leistung in Bezug auf die Nährstoffelimination als heute. Trotzdem ist bei Umsetzung der NoMix-Technologie zunächst mit Mehrinvestitionen zu rechnen. Einsparungen entstehen erst bei einem Neubau der Kläranlagen, die bei der NoMix-Strategie mit einem kleineren Ausbaustandard auskommen und damit langfristig kostengünstiger arbeiten. Deshalb spielt der geordnete Übergang vom heutigen System zur NoMix-Technologie eine grosse Rolle.

Nova 8: China. Früher war die Urinseparierung in den ländlichen Gegenden Chinas weit verbreitet. In Anbetracht der vielen Umweltprobleme in China war es nahe liegend, die Chancen der NoMix-Technologie auch in urbanen Gebieten auszuloten. Im Beitrag auf S. 26 berichten wir von unseren Erfahrungen aus Kunming, der Partnerstadt von Zürich. Der Dianchi-See unweit von Kunming kann auch mit den besten konventionellen Technologien

auf den Kläranlagen nicht vor einer Überdüngung mit Phosphor geschützt werden. Dagegen ist das Potenzial von Massnahmen an der Quelle wie die Urinseparierung riesig. Das NoMix-Konzept wird daher auch von vielen chinesischen Experten befürwortet. Es ist also durchaus möglich, dass die NoMix-Technologie durch die breite Einführung von Trenntoiletten in China entscheidend weiterentwickelt werden könnte.

Nova PP: Pilotprojekte. Unsere Untersuchungen wären nicht annähernd so erfolgreich gewesen ohne die Möglichkeit, die Urinseparierung unter Praxisbedingungen im Rahmen von Pilotprojekten zu studieren (siehe Artikel von Markus Boller auf S. 17). Besonders wichtig waren die umfangreichen Projekte im Kanton Basel-Landschaft. Vergleiche mit Pilotprojekten in anderen europäischen Ländern wie Schweden, Deutschland, Österreich oder Holland zeigen die schnelle Entwicklung in diesem Gebiet: Die NoMix-Technologie wird von der Praxis vermehrt als realistische Alternative zur herkömmlichen Nährstoffelimination angeschaut.

Die Vorteile von NoMix: Nährstoffemissionen verringern, Nährstoffe zurückgewinnen und Mikroverunreinigungen entfernen. Die Resultate aus Novaquatis zeichnen das klare Bild einer attraktiven Technologie, die jedoch noch viele Hürden über-

Exportartikel NoMix-Technologie?

Bereits 2004 warnte das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) davor, dass die küstennahen Fischbestände vielerorts durch den massiven Eintrag von Nährstoffen bedroht seien. Dies gelte insbesondere für Stickstoff [8].

Novaquatis setzte mit dem Fokus auf Urinseparierung gerade bei den Nährstoffen an: Bis zu 50% des Phosphors und sogar 80% des Stickstoffs im häuslichen Abwasser entstammen dem Urin. Global gesehen ist es unrealistisch, das Nährstoffproblem mit konventionellen Kläranlagen schnell und effizient in den Griff bekommen zu wollen – mit Urinseparierung dagegen wird dieses Ziel greifbar.

Auch in Europa steigen die Anforderungen an die Stickstoffelimination, und die Grenzwerte werden in Zukunft vermutlich verschärft werden. Derzeit prüfen die Gewässerschutz-Verantwortlichen in Holland, ob die Grenzwerte durch Urinseparierung günstiger eingehalten werden könnten als mit der herkömmlichen Kläranlagentechnologie [2].

Im Rahmen von Novaquatis haben wir vor allem die Situation in der Schweiz angeschaut, weil wir hier Erfahrung haben und die Urinseparierung für moderne Städte beurteilen wollten. Doch inzwischen ist klar, dass die Zeit auf internationaler Ebene drängt. Darum wollen wir in Novaquatis-Folgeprojekten diesen globalen Aspekt stärker hervorheben. Aufgrund unserer bisherigen Resultate ist es nahe liegend, zunächst dort anzusetzen, wo rasch mit einschneidenden Verbesserungen durch den Einsatz der NoMix-Technologie zu rechnen ist, z. B. in schnell wachsenden Küstenstädten.

winden muss, bis sie tatsächlich in die Praxis umgesetzt werden kann. Die positiven Auswirkungen auf der Umwelt liegen auf der Hand: Mit der NoMix-Technologie können hohe Standards für die Reduktion der Nährstoffemissionen verwirklicht werden, und es ist möglich, die Abwasserreinigung in Richtung Nährstoffrecycling und Eliminierung von Mikroverunreinigungen weiterzuentwickeln. In Europa kann man all diese Ziele zwar auch mit konventionellen Strategien erreichen, wenn man die nötigen Mittel einsetzt. Doch je strenger die Grenzwerte für Nährstoffe sind, desto teurer wird die konventionelle Abwasserreinigung, bis zu dem Punkt, an dem die Sanierung eines Gewässers aus Kostengründen aufgegeben wird. In der Schweiz ist der Greifensee ein solches Beispiel.

Die Herausforderung an die NoMix-Technologie liegt also darin, eine *kostengünstige* Variante zu finden, die die Rolle der traditionellen Nährstoffeliminierung auf der Kläranlage ersetzt oder ergänzt. Gleichzeitig sollte diese NoMix-Variante die zusätzlichen

Optionen der Urinseparierung, das Nährstoffrecycling und die effiziente Entfernung von Mikroverunreinigungen offen halten.

Die Zukunft für NoMix: Dezentrale Lösungen entwickeln.

Die Novaquatis-Resultate zeigen die nächste Aufgabe klar auf: Entweder muss eine geeignete Möglichkeit für den Transport des Urins gefunden werden oder aber der Urin muss nahe am Entstehungsort aufbereitet werden, am besten in einem Wohnblock oder sogar im Einzelhaus. Geeignete Transportoptionen zu finden, ist schwierig und gehört zudem nicht in den traditionellen Forschungsbereich der Eawag. Hingegen ist die Eawag prädestiniert, Lösungen für die dezentrale Aufbereitung zu entwickeln. Dabei geht es einerseits um technische Verfahren und Anlagen, die günstig produziert werden können und wartungsarm sind. Andererseits müssen Lösungen im organisatorischen Bereich gefunden werden: Wie wird sichergestellt, dass die Anlagen korrekt genutzt und gewartet und dass mögliche Fehlfunktionen rechtzeitig gemeldet und behoben werden?

Damit die NoMix-Technologie kostengünstig umgesetzt werden kann, braucht es zudem grosse Märkte, die eine Massenproduktion zulassen. Wir sind in Novaquatis zum Schluss gekommen, dass die NoMix-Technologie in vielen Gebieten sinnvoll wäre, insbesondere dort wo die Bevölkerung rasch wächst wie z. B. in Küstenregionen. Deswegen sind wir zuversichtlich, dass geeignete Einstiegsmärkte identifiziert werden können.

Die wissenschaftlichen Herausforderungen für die Erarbeitung dezentraler Lösungen sind enorm, sowohl aus technischer wie auch aus sozioökonomischer Sicht. Wir glauben aber, dass die interdisziplinäre Umgebung der Eawag solche Entwicklungen möglich macht und prüfen zurzeit intensiv, ob wir uns in den kommenden Jahren dieser Herausforderung stellen werden. ○ ○ ○

- [1] Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34 (3–4), 87–94.
- [2] www.stowa.nl
- [3] Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A. Gujer W. (2003): Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* 37, 681–689.
- [4] Larsen T.A., Maurer M., Udert K.M., Lienert J. (submitted): Nutrient cycles and resource management: Implications for choice of wastewater treatment technology. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at the IWA conference on Advanced Sanitation in Aachen, 12–13th March, 2007.
- [5] Wilsenach J.A., van Loosdrecht M.C.M. (2006): Integration of processes to treat wastewater and source-separated urine. *Journal of Environmental Engineering* 132, 331–341.
- [6] Image Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center, 26 Aug. 2005, <http://earth.jsc.nasa.gov/sseop/efs/>
- [7] Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A. (2005): Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: At what cost are they competitive? *Water Science and Technology, Water Supply* 5 (6), 145–154.
- [8] Pelley J. (2004): «Dead zones» on the rise. *Online Science News* May 5, *Environmental Science & Technology*.



Judit Lienert, Biologin und Projektleiterin von Novaquatis

Eine gute Idee, aber das will doch keiner!

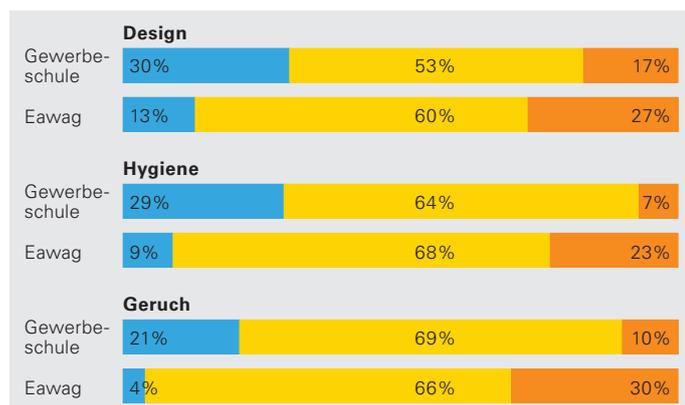
Wahr? Nein, falsch! Unsere Akzeptanzstudien in Pilotprojekten in öffentlichen Gebäuden, in Privathaushalten und bei Bauern zeigen, dass viele Menschen dem NoMix-WC und einem Urindünger positiv gegenüber stehen. Allerdings hat das NoMix-WC Schwachstellen, die die Sanitärindustrie verbessern müsste. Erst dann kann eine breite Vermarktung empfohlen werden.

Die Innovation «NoMix-Technologie» wird nicht fernab auf Kläranlagen, sondern im privaten Badezimmer getestet. So ist die erste Reaktion auf Urinseparierung oft: «Eine gute Idee, aber ein NoMix-WC will doch keiner haben!» Erzählt man weiter, dass aus dem Urin ein Dünger produziert wird, heisst es: «Vergesst es! Die Bauern sind dagegen und niemand wird das Gemüse kaufen.» Wir wollten deshalb genauer wissen, wie die Bevölkerung zum NoMix-WC und zum Urindünger steht.

Werden die NoMix-WCs in öffentlichen Gebäuden angenommen? In der Schweiz gibt es bereits einige öffentliche Gebäude, die mit NoMix-WCs ausgestattet sind. So befragten wir an einer Gewerbeschule und an der Eawag 1249 Benutzerinnen und Benutzer der dort installierten NoMix-WCs. In beiden Fällen war die Akzeptanz sehr hoch: 72% fanden Urinseparierung eine gute Idee und 86% würden in eine Wohnung mit NoMix-WC ziehen [1]. Design, Hygiene und Geruch des NoMix-WCs war für die meisten Befragten gleichwertig zum konventionellen WC (Abb. 1). Ein

Abb. 1: Beurteilung von Design, Hygiene und Geruch des NoMix-WCs durch 534 Benutzerinnen und Benutzer an einer Gewerbeschule und 715 Personen an der Eawag [1].

Blau: NoMix-WC besser als ein konventionelles WC, gelb: beide gleich, orange: NoMix-WC schlechter.

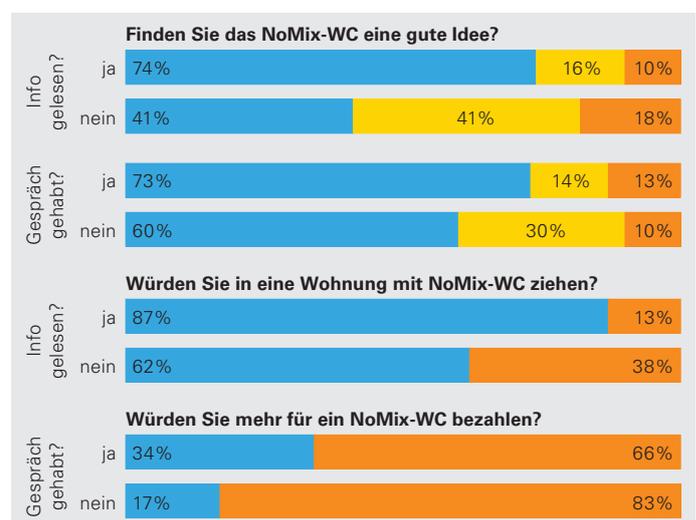


Grossteil der Personen passte sein Verhalten dem NoMix-WC an: 72% setzten sich für das kleine Geschäft und 58% entsorgten das WC-Papier im separaten Kübel, so dass 84 Liter Wasser pro 100 Benutzungen gespart werden konnten [Berechnung in 1].

Es gab aber auch starke Unterschiede zwischen Benutzergruppen. So empfanden 32% der Eawag-Angestellten die Hygiene und 50% den Geruch der NoMix-WCs schlechter als denjenigen konventioneller WCs, jedoch nur 17% der Eawag-Gäste. Wir vermuten, dass bei den Eawag-Mitarbeitenden unangenehme Erfahrungen nachwirkten: Sie erinnerten sich an Pannen, die mit dem Urintank und der Wartung der wasserlosen Urinale zusammenhingen, wodurch es beim WC schlecht roch.

Um Akzeptanz und angepasstes Verhalten zu erhöhen, sind saubere WCs eine Voraussetzung. Wir beobachteten aber auch,

Abb. 2: Zusammenhang zwischen Akzeptanz des NoMix-WCs und Information zur NoMix-Technologie [1]. Gefragt wurden 480 Benutzerinnen und Benutzer an einer Gewerbeschule und an der Eawag, ob sie unser Informationsmaterial gelesen bzw. schon mit anderen Personen über das NoMix-WC gesprochen hatten. Blau: ja, gelb: keine Meinung, orange: nein.





Ruedi Keller, Zürich

«Sind Sie mit dem NoMix-WC zufrieden?»
Umfrage bei den Eawag-Mitarbeitenden.

dass sich Akzeptanz, Verhalten und Wahrnehmung durch eine gute Informationspolitik und persönliche Gespräche beeinflussen lassen (Abb. 2).

Diese Ergebnisse werden bestätigt durch eine repräsentative Befragung von 501 Besucherinnen und Besuchern, die in unserem Auftrag an der Kantonsbibliothek Baselland in Liestal durchgeführt wurde (noch nicht veröffentlicht). Dieses Gebäude ist komplett mit NoMix-WCs ausgestattet.

Würden Schweizer NoMix-WCs im Privathaushalt nutzen?

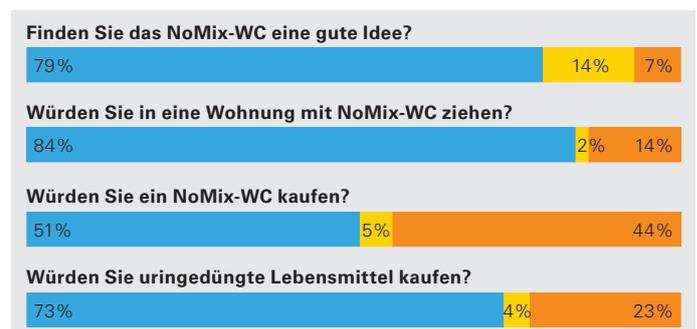
Erste Hinweise, dass NoMix-WCs unter gewissen Bedingungen auch in Privathaushalten akzeptiert würden, lieferte eine Fokusgruppenstudie mit 44 Freiwilligen aus der Bevölkerung (Abb. 3) [2]. Diese hatten sich vorgängig mit einem Computertool [3] über die Idee informiert sowie ein NoMix-WC der Eawag besucht. Ein wichtiger Diskussionspunkt war der erhöhte Wartungsaufwand, der entsteht, weil die im Urin enthaltenen Salze ausfallen und die Urinleitungen verstopfen (siehe Artikel von Kai Udert auf S.11) [4]. Dies schreckt die meisten ab.

Einen Schritt weiter ging der Einbau von NoMix-WCs in vier Privatwohnungen. Die Bewohnerinnen und Bewohner reagierten sehr unterschiedlich: manche waren skeptisch, andere beurteilten das NoMix-WC aus Umweltschutzgründen positiv und kamen gut damit zurecht. Mehrere stellten einen erhöhten Reinigungsaufwand fest. Ausserdem wurde bemängelt, dass einige Männer sich nicht setzten oder dass die Sitzposition unbequem war. Vor allem Kinder hatten Schwierigkeiten, das richtige Abteil zu treffen, was den Reinigungsaufwand erhöht (trifft auch für öffentliche Gebäude zu). Diese Erfahrungen müssten durch grössere Studien ergänzt werden, was in der Schweiz jedoch mangels Grossprojekten in Privathaushalten nicht möglich ist.

Wie sieht es in anderen Ländern aus? Europaweit dagegen gibt es einige, zum Teil auch grössere, NoMix-Pilotprojekte in Privathaushalten. In Schweden wurden seit 1990 über 135 000 Urin separierende WCs eingebaut – meist sehr einfache Systeme für abgelegene Ferienhäuser [5]. Auch in Ökosiedlungen und städtischen Pilotprojekten wurden tausende NoMix-WCs installiert. Zunehmend führen die Niederlande, Österreich und Deutschland Pilotprojekte durch. Für Schwellenländer wie z.B. China ist die Urinseparierung ebenfalls eine interessante Option (siehe Artikel von Tove Larsen auf S. 26).

Im österreichischen Linz sind 2003 88 Wohnungen und eine Schule mit NoMix-WCs ausgestattet worden [6]. Dort beurteilten etwa 50% der Bewohnerinnen und Bewohner den Benutzungs-komfort des NoMix-WCs schlechter als denjenigen konventioneller WCs. Trotzdem benutzten 69% der Männer dieses WC oft oder ausschliesslich im Sitzen. Etwa 65% gaben einen Mehr-

Abb. 3. Meinung von 44 Fokusgruppenteilnehmerinnen und -teilnehmern zur NoMix-Technologie [2]. Blau: ja, gelb: keine Meinung, orange: nein.



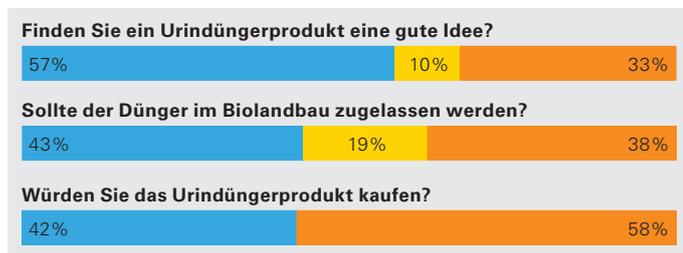


Abb. 4. Meinung deutschschweizer Bauern zum Urindünger [8]. Fragebögen wurden per Post an 467 Agrarbetriebe versandt, wovon 127 antworteten. Blau: ja, gelb: keine Meinung, orange: nein.

aufwand bei der Reinigung an, was auch unseren Erfahrungen entspricht. Insgesamt waren je ein Drittel der Befragten sehr, mittel, bzw. nicht zufrieden mit dem NoMix-WC. Wenn sie könnten, würde die Hälfte wieder zu konventionellen WCs wechseln.

Wie in der Schweiz beobachteten auch die Projektverantwortlichen in Österreich und Schweden [7] eine höhere Akzeptanz und Motivation, das NoMix-WC im Sitzen zu benutzen, wenn die Personen gut informiert und vom (ökologischen) Sinn des Gesamtkonzeptes überzeugt waren.

Würden Bauern und Bevölkerung einen Urindünger akzeptieren? Die Idee, aus dem gesammelten Urin einen Dünger herzustellen, wurde von Bauern erstaunlich gut akzeptiert (Abb. 4) [8]. Dies ermittelten wir mit Hilfe einer Briefumfrage. Grössten Wert legten die Bauern auf ein schadstofffreies Produkt: 30% der Befragten hatten Bedenken, dass der Dünger Medikamente und Hormone enthalten könnte.

Die Bevölkerung scheint noch positiver eingestellt zu sein, vorausgesetzt, es bestehen keine Gesundheitsrisiken. Eine Mehrheit der Befragten aus Fokusgruppen (Abb. 3) und der Kantonsbibliothek in Liestal konnte sich vorstellen, uringedüngte Lebensmittel zu kaufen. Ein Grossteil der 501 Befragten in der Kantonsbibliothek würde den Urindünger auch auf dem eigenen Balkon und im Garten benutzen. Dennoch war knapp ein Drittel dieser Gruppe gegen den Urindünger, hauptsächlich aus Ekel und weil er Medikamente oder Krankheitserreger enthalten könnte.

International gibt es wenige vergleichbare Studien. In Schweden war die Akzeptanz des Urindüngers gross. Der Urin wurde dort zur Hygienisierung gelagert, aber nicht aufbereitet. Dennoch fand sich meist ein Bauer, der den Urin ausbrachte, oder die Bewohner verwendeten ihn im eigenen Garten. Der Geruch beim Ausbringen wurde selten als störend empfunden, und es gab kaum Bedenken, mit Urin gedüngtes Gemüse zu konsumieren [7].

Wie weiter? Wir wissen nun, dass die Bevölkerung der NoMix-Technologie sehr positiv gegenübersteht. Allerdings haben NoMix-WCs Mängel, die im Alltag stören können. In Privathaushalten ist die Einführung von NoMix-WCs deswegen heikel und muss äusserst sorgfältig begleitet werden. Die Haushaltsmitglieder müssen von Anfang an mögliche Nachteile kennen und sollten sich vertraglich verpflichten, damit zu leben [4]. Ein direkter Kon-

takt mit den Bewohnerinnen und Bewohnern ist sehr wichtig, um unmittelbar auf Probleme reagieren zu können. Der Einbau von NoMix-WCs in öffentlichen Gebäuden ist unproblematischer – falls Reinigung und Wartung durch den Hausdienst sichergestellt sind.

Wir stehen heute vor dem Dilemma, dass es grosse Pilotprojekte braucht, um die NoMix-Technologie weiterzuentwickeln, dass aber die NoMix-WCs den konventionellen WCs noch nicht ebenbürtig sind. Eine unausgereifte Technologie grossflächig einzuführen, kann zu einer negativen Gegenreaktion und zum vollständigen Aus führen. Eigentlich müsste die Sanitärindustrie die NoMix-WCs verbessern, um die Technologie voranzutreiben. Doch die grossen Firmen zögern, viel Geld zu investieren, weil sie keinen Absatzmarkt sehen. Deshalb liegt es nun an den Abwasserfachleuten sowie an Behörden, Bauherren und Politik, der Sanitärindustrie zu zeigen, dass ein Interesse an der NoMix-Technologie besteht [9]. Die Bevölkerung ist durchaus gewillt, einen Beitrag zur Weiterentwicklung dieser Innovation zu leisten. Deshalb sind wir der Meinung, dass man auch mit den heutigen, noch unausgereiften NoMix-WCs in die praktische Umsetzung gehen kann – vorausgesetzt solche Pilotprojekte werden sorgfältig begleitet. ○ ○ ○

- [1] Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally-friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.
- [2] Pahl-Wostl C., Schönborn A., Willi N., Muncke J., Larsen T.A. (2003): Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48 (1), 57–65.
- [3] www.novaquatis.eawag.ch/deutsch/lernspiel_de.html
- [4] Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals.
- [5] Kvarnström E., Emilsson K., Richert Stintzing A., Johansson M., Jönsson H., af Petersens E., Schöning C., Christensen J., Hellström D., Qvarnström L., Ridderstolpe P., Drangert J.-O. (2006): Urine diversion: one step towards sustainable sanitation. *EcoSanRes Publications Series Report 2006-1*. www.ecosanres.org/news-publications.htm
- [6] Starkl M., Binner E., Fürhacker M., Holubar P., Koeck S., Lenz K., Mascher F., Ornetzeder M., Pollak M., Haberl R. (2005): Nachhaltige Strategien der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum – SUS-SAN. Endbericht Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien, www.wassernet.at/article/archive/5688/
- [7] Johansson M., Jönsson H., Höglund C., Richert Stintzing A., Rodhe L. (2001): Urine separation – closing the nutrient cycle. Final report on the R&D project: Source-separated human urine – a future source of fertilizer for agriculture in the Stockholm region? *VERNA Ecology & Stockholm Water Company, Stockholm*.
- [8] Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48 (1), 47–56.
- [9] Larsen T.A., Lienert J. (2003): Societal implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online March 2003*. www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm

NoMix beginnt im Badezimmer



Kai Udert, Umwelt-ingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Ingenieurwissenschaften

Die Grundidee des NoMix-WCs ist einfach: Urin läuft getrennt vom restlichen Abwasser in einen Sammeltank. Doch die Urinableitungen verstopfen leicht durch mineralische Ausfällungen und der Nährstoffgehalt im gesammelten Urin kann geringer sein als erwartet. Unsere Erkenntnisse aus Laborversuchen und Computersimulationen helfen, gemeinsam mit der Industrie verbesserte Sanitärsysteme zu entwickeln.

Frischer Urin ist eine instabile Lösung, der darin enthaltene Harnstoff wird bereits in den Siphons und Leitungen abgebaut. Die Folgen sind Ausfällungen aus Phosphat, Magnesium und Kalzium, die die Urinableitungen verstopfen. Toilettenspülung vermindert die Gefahr von Verstopfungen, aber der Urin wird verdünnt, was grosse Lagertanks notwendig macht und die Weiterbehandlung erschwert. Die Entwicklung von NoMix-Anlagen, die Urin hochkonzentriert sammeln und dennoch nicht verstopfen, ist eine Herausforderung für die Sanitärindustrie.

Als Basis für die Weiterentwicklung der Sanitärsysteme untersuchten wir die Prozesse in den NoMix-Anlagen genauer: Wir wollten einerseits wissen, wie sich die Ausfällungen bilden, woraus sie zusammengesetzt sind und wie sie verhindert werden können. Andererseits versuchten wir zu verstehen, warum sich die Zusammensetzung des gelagerten Urins im Sammeltank so stark von den Werten unterscheidet, die wir aufgrund von Literaturdaten zu frischem Urin eigentlich erwartet würden [1–3].

Die Urinableitungen der NoMix-Systeme können leicht verstopfen.



Kai Udert, Eawag

Entstehung und Zusammensetzung der Ausfällungen. Die Ergebnisse unserer Laborversuche ergaben, dass die Ausfällungen letztlich auf die Hydrolyse des im Urin enthaltenen Harnstoffs zurückzuführen sind. Mikroorganismen, die in den Toiletten und Urinableitungen vorkommen, wandeln den Harnstoff zu Ammoniak und Kohlensäure um, wodurch der pH des Urins bis auf Werte um 9 steigt (Abb. 1A). Dieser hohe pH wiederum führt zu einer Übersättigung mehrerer Mineralien, die schliesslich ausfallen: Struvit ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) und Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), sowie Kalzit (CaCO_3), wenn der Spülwasseranteil hoch ist (Abb. 1B) [2]. Mit Hilfe von Computersimulationen berechneten wir, dass nur 8% des Harnstoffs im unverdünnten Urin abgebaut werden müssen, um ausreichend hohe pH-Werte zu erreichen, bei denen 95% der möglichen Fällungsprodukte auskristallisieren. Diese Ausfällungen verstopfen Leitungen und Siphons, im Sammeltank sind sie hingegen unproblematisch, weil sie dort nicht austrocknen und sich deshalb nicht verfestigen können.

Je stärker der Urin verdünnt wird, desto geringer ist die Gefahr von Verstopfungen. Urin separierende Toiletten sollen den Urin auffangen, ohne ihn mit Spülwasser zu vermischen. Doch gerade dann, wenn der Urin wenig oder gar nicht verdünnt wird, verstopfen die NoMix-WCs (Abb. 2). Zu diesem Ergebnis kamen wir in Felduntersuchungen. Es widerspricht der landläufigen Meinung, dass Verstopfungen nur dann auftraten, wenn Urin mit Wasser vermischt würde, weil das Wasser die für die Ausfällungen notwendigen Kationen Kalzium und Magnesium liefert. Denn Urin enthält bereits mehr Kalzium und Magnesium als normales Trinkwasser. Wir haben berechnet, dass aus einem Liter unverdünntem Urin 1400 mg Salze auskristallisieren, während aus einem Liter 1:1 verdünntem Urin ca. 900 mg Salze ausfallen [2]. Die Menge der Fällungsprodukte pro Volumen ist einer der wichtigsten, aber nicht der einzige Faktor, der Verstopfungen begünstigt. Lange Aufenthaltszeiten des Urins in Leitungen und Siphons und enge Querschnitte sind ebenfalls kritisch. Daraus lassen sich verschiedene Massnahmen ableiten, mit denen Verstopfungen verhindert oder zumindest herausgezögert werden können [1].

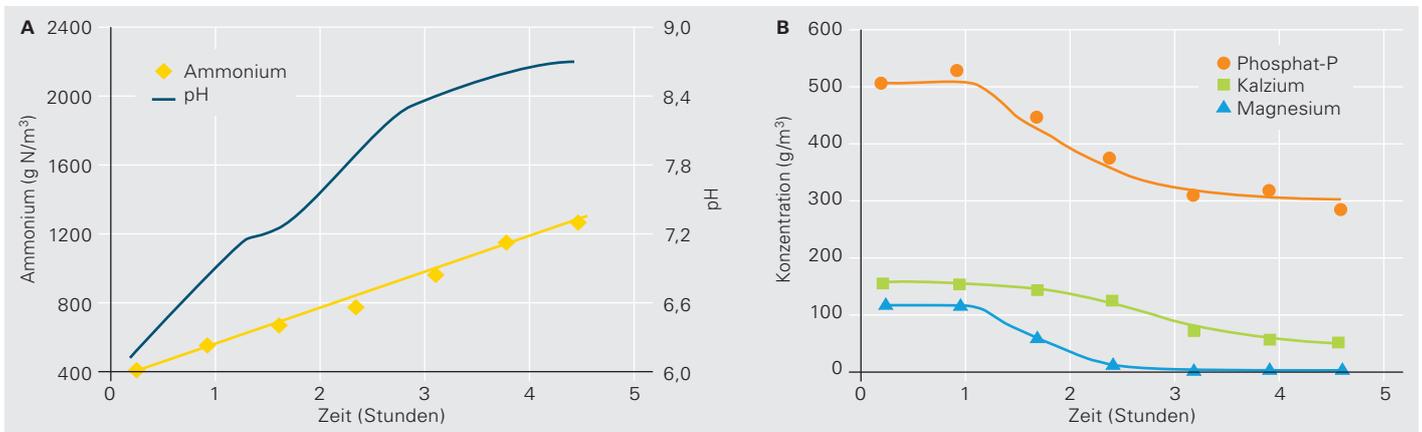


Abb. 1: Als Folge der Harnstoffhydrolyse im Urin steigen die Ammoniumkonzentration und der pH an (A), wogegen die Kalzium-, Magnesium- und Phosphatkonzentrationen im Urin abnehmen.

Beim gegenwärtigen Stand der Technik sind folgende Massnahmen zu empfehlen:

- ▶ Fällungsprodukte in regelmässigen zeitlichen Abständen mit Säuren auflösen und wegspülen (z. B. 10%ige Zitronensäure),
- ▶ gezieltes Ausfällen in grossen Siphons (z. B. bei wasserlosen Urinalen üblich),
- ▶ mit Regenwasser statt Leitungswasser spülen,
- ▶ den Querschnitt der Leitungen erweitern,
- ▶ Urin so rasch wie möglich aus engen Leitungsabschnitten abtransportieren, z. B. durch vertikal geführte Leitungen.

Weitere Massnahmen sind denkbar, müssen aber noch entwickelt und geprüft werden. Ein Beispiel sind Leitungsbeschichtungen, die Bakterien oder Feststoffe abtöten.

Konzentrationen im gesammelten Urin. Die technischen Eigenschaften der NoMix-Sanitäranlagen haben einen grossen Einfluss

auf die Zusammensetzung des gesammelten Urins. Möglichst hohe Konzentrationen sind wünschenswert, um die Weiterbehandlung zu vereinfachen. Das gilt insbesondere für die beiden Nährstoffe Phosphor und Stickstoff. Jedoch konnten bei keinem der bisher durchgeführten Pilotprojekte die Konzentrationen erreicht werden, die für unverdünnten Urin zu erwarten wären (siehe Artikel von Max Maurer auf S. 14). Die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen waren im gelagerten Urin um 1,5- bis 5- bzw. 2- bis 10-mal niedriger als die in der Literatur beschriebenen Werte für frischen Urin [3, 9, 10]. Dafür gibt es mehrere Ursachen: Die Verdünnung mit Spülwasser vermindert die Konzentrationen beider Nährstoffe gleichermassen. Durch die bei der Harnstoffhydrolyse entstehenden Ausfällungen wird ein grosser Teil des gelösten Phosphats aus dem Urin entfernt [2]. Falls die Tanks und Leitungen belüftet sind, geht ein Teil des Stickstoffs, ebenfalls infolge des Harnstoffabbaus, als Ammoniak aus. Bei öffentlichen

NoMix WCs und wasserlose Urinale sammeln Urin und sparen Wasser

In vielen Kulturen wurde die getrennte Sammlung von Urin und Fäkalien Jahrhunderte lang praktiziert und ist heute noch in manchen Entwicklungs- und Schwellenländern üblich. Die ersten Urin separierenden Toiletten mit Wasserspülung wurden allerdings erst in den 1990er Jahren in Schweden entwickelt. Mittlerweile bieten mehrere kleinere Unternehmen NoMix-WCs an. In den Novaquatis-Pilotprojekten haben wir Modelle von vier Anbietern eingesetzt: WostMan [4], Dubbletten [5], Gustavsberg [6] und Roediger [7]. Sie alle haben getrennte Abläufe für Urin und Restabwasser, unterscheiden sich aber in der Art und Weise der Wasserspülung. Bei den meisten Modellen wird das Spülwasser über die ganze Schüssel verteilt, so dass bei jeder Spülung Wasser in die Urinableitung gelangt. Anders beim Roediger-WC. Dort ist ein Ventil eingebaut, das sich nur öffnet, wenn eine Person auf der WC-Brille sitzt. Steht die Person auf und betätigt die Spülung, ist das Ventil geschlossen und der Urin wird praktisch unverdünnt aufgefangen. Auch die Firma

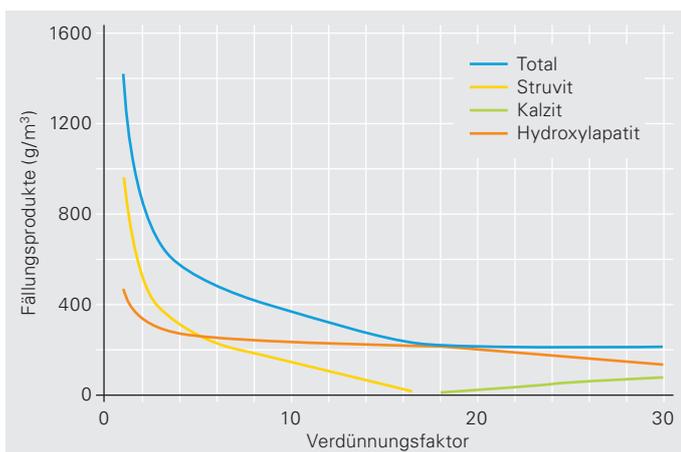
Dubbletten möchte die Urinverdünnung so gering wie möglich halten, wendet jedoch ein grundsätzlich anderes Prinzip an: Urin und Restabwasser werden in zwei getrennten Schüsseln aufgefangen und mit verschiedenen Vorrichtungen gespült. Die Spülwassermenge, die mit dem Urin in den Sammeltank abfließt, kann dadurch sehr gering gehalten werden. In den meisten Novaquatis-Pilotprojekten wurden zudem wasserlose Urinale eingesetzt. Anders als NoMix-Toiletten werden sie längst von vielen Anbietern vertrieben und in einer grossen Anzahl öffentlicher Gebäude vor allem zum Wassersparen eingesetzt. Auch mit den NoMix-Toiletten vom Typ Dubbletten kann Wasser gespart werden. Allerdings nur dann, wenn das beim kleinen Geschäft verwendete Toilettenpapier nicht einfach weggespült, sondern in einem Abfallbehälter getrennt entsorgt wird. Eine Umfrage an der Eawag zeigte, dass 58% der Nutzer und Nutzerinnen dieser an der Eawag installierten Dubbletten-WCs tatsächlich ihr Verhalten änderten [8].

Anlagen können geringere Konzentrationen auch durch das Fehlen des hochkonzentrierten Morgenurins erklärt werden.

NoMix-WCs müssen weiterentwickelt werden. Heute werden NoMix-Toiletten nur von wenigen Anbietern und in geringer Stückzahl produziert. Die Weiterentwicklung der NoMix-Toiletten ist deshalb sehr träge, was wiederum die Verbreitung der Technologie erschwert. Erste Erfahrungen aus den Novaquatis-Pilotprojekten konnten wir bereits in die Weiterentwicklung des Roediger NoMix-WCs einbringen. Sie gehen vor allem auf die Rückmeldungen der Benutzerinnen und Benutzer zurück (siehe Artikel von Judit Lienert auf S. 8). Bemängelt wurde der erhöhte Reinigungsaufwand, die Notwendigkeit, beim Gebrauch der Toilette zu sitzen und die Positionierung der beiden Abläufe. Auch wurden Geruchsprobleme gemeldet; es ist aber durchaus möglich, dass die Geruchsbelästigung gar nicht von den NoMix-Toiletten ausging, sondern durch ungenügende Reinigung der benachbarten wasserlosen Urinale verursacht wurde.

Um den Entwicklungsprozess weiter voranzutreiben, wurden darüber hinaus Vertreter der Sanitär- und Abwasserindustrie an einem runden Tisch versammelt. Unter Moderation von Novaquatis wurde diskutiert, was es braucht, um eine optimierte NoMix-Toilette auf den Markt zu bringen. Es stellte sich heraus, dass Sanitärfirmen gut charakterisierte und grosse Einstiegsmärkte wünschen, auf die sie die Entwicklung der NoMix-Toilette ausrichten können. Solche Märkte gibt es vor allem dort, wo die Siedlungsentwässerung und der Gewässerschutz vor Problemen stehen, also in den rasch wachsenden Städten der Schwellen- und Entwicklungsländer. Aber auch sehr wasserarme Gebiete, wie z. B. in Australien, können für die NoMix-Technologie einen Markt darstellen. Die von Novaquatis verfolgte Strategie, die NoMix-Technologie in Städten mit bestehender Kanalisation schrittweise einzuführen, ist allerdings für die Industrie eher uninteressant, da der Markt als zu gering eingeschätzt wird. Von ganz wesentlicher Bedeutung für die Sanitärindustrie ist zudem die Meinung der Abwasserfachleute. Erachteten sie die NoMix-Technologie als sinn-

Abb. 2: Die Ausfällung von Struvit, Hydroxylapatit und Kalzit ist abhängig von der Verdünnung des Urins.



Vertikal geführte Urinleitungen mit grossem Durchmesser verhindern Verstopfungen.

voll und unterstützten ihre Einführung, würde sich dies ebenfalls stimulierend auf die Sanitärindustrie auswirken.

Trotzdem ist die Sanitärindustrie grundsätzlich interessiert und überzeugt, die Probleme der heutigen NoMix-Sanitäranlagen lösen zu können. Dass eine solche Entwicklung auch seinen Preis hat, versteht sich von selbst. ○ ○ ○

- [1] Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply*. 3 (3), 71–78.
- [2] Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37, 2667–2677.
- [3] Udert K.M., Larsen T.A., Biebow M., Gujer W. (2003): Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research* 37, 2571–2582.
- [4] www.wost-man-ecology.se
- [5] www.dubbletten.nu
- [6] www.gustavsberg.com
- [7] www.roevac.com
- [8] Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally-friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.
- [9] Ciba-Geigy (1977): Wissenschaftliche Tabellen Geigy, Teilband Körperflüssigkeiten. 8. Ausgabe, Basel.
- [10] Rossi L., Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Real-life efficiency of urine source separation: experience from households and an institutional setting. *Water Research*.



Max Maurer, Chemieingenieur und Verfahrenstechniker in der Abteilung Ingenieurwissenschaften

Aufbereitung von Urin – Flexibilität pur

Urin gesammelt – was nun? Die speziellen Eigenschaften von Urin lassen eine grosse Palette an Verarbeitungsverfahren zu. Diese können den ungewöhnlichen Rohstoff massgeschneidert verändern, z. B. um gezielt Schadstoffe zu entfernen oder um einen Dünger herzustellen. Die Eawag hat einige Verfahren auf ihre Eignung geprüft.

Die NoMix-Technologie sieht die separate Behandlung des gesammelten Urins vor. Für die Aufarbeitung dieser speziellen Flüssigkeit (Tab. 1 und Kasten) muss jedoch eine eigene Verfahrenstechnik entwickelt werden. Unser Ziel war es deshalb, praxistaugliche Methoden zusammenstellen. Dazu haben wir einerseits in der Literatur nach Verfahren gesucht, die bereits für Urin angewendet worden waren. Andererseits wurden in den Labors der Eawag weitere Verfahren auf ihre Tauglichkeit in der Urinbehandlung geprüft. Das Ergebnis ist ein breites Spektrum von Methoden zur Hygienisierung und Stabilisierung, zur Abtrennung und Inaktivierung organischer Mikroverunreinigungen sowie zur Nährstoffrückgewinnung und Nährstoffeliminierung (Tab. 2, Details in [1]). Sie erlauben eine flexible Urinaufarbeitung, wobei – je nach Zielvorgaben, die mit der Urinseparierung erreicht werden sollen

– meist verschiedene Verfahren in einer Behandlungseinheit kombiniert werden (siehe auch Artikel von Wouter Pronk auf S. 20).

Urin durch Lagerung hygienisieren. Gesammelter Urin kann Krankheitskeime enthalten, entweder von kranken Personen oder durch die Kontaminierung mit Fäkalien. Die einfachste Möglichkeit, Urin zu hygienisieren, ist, ihn über mehrere Monate hinweg zu lagern. Dabei ist die Lagertemperatur entscheidend. Tests ergaben, dass 6 Monate bei 20°C ausreichend sind, um einen hygienisch einwandfreien Urin zu erhalten. Daneben existieren weitere Optionen, wie die Bestrahlung mit UV-Licht oder eine Hochdruckbehandlung, die aber noch nie im Zusammenhang mit Urin getestet wurden.

Säure oder eine biologische Behandlung stabilisieren den Urin. In einigen Fällen sollte der Urin vor einer weiteren Behandlung stabilisiert werden. Dadurch werden die labilen Stoffe im Urin konserviert oder eliminiert, so dass unangenehme Gerüche und die Belastung der Umwelt durch Ammoniakgas verhindert werden können.

Frischer Urin kann durch Zugabe einer starken Säure, z. B. 2,9 g/l konzentrierte Schwefelsäure, konserviert werden, denn Urin ist bei pH-Werten unter 4 stabil. Auch bei längeren Weltraummissionen wird Urin auf diese Weise für die Wasserrückgewinnung präpariert. Dagegen hat sich die Sterilfiltration, ein weiteres Verfahren, das wir in diesem Zusammenhang getestet haben, nicht als praxistauglich erwiesen. Da die für die Zersetzung verantwortlichen Enzyme gelöst im Urin vorhanden sind, konnten sie den Filter trotzdem passieren.

Alternativ kann bereits zersetzter Urin durch eine biologische Behandlung stabilisiert werden. Wir haben dazu Erfahrungen mit verschiedenen Bioreaktorkonfigurationen gemacht. Dabei werden einerseits die leicht abbaubaren organischen Substanzen durch Bakterien zersetzt und andererseits wird durch eine Nitrifikation (aerobe, bakterielle Umwandlung des Ammoniaks in Nitrit und Nitrat) der pH-Wert des Urins gesenkt und das flüchtige Ammoniak entfernt. Je nach Reaktorkonfiguration ist die Nitrifikation mehr oder weniger vollständig und man erhält eine geruchslose Ammoniumnitrat- oder Ammoniumnitritlösung.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung von gesammeltem, gelagertem Urin aus einem Haushalt mit gespülten Trenn-WCs [2] und dem Eawag-Bürogebäude mit wasserlosen Urinalen [3] im Vergleich zu frischem Urin [4]. CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf, ein Mass für die organischen Bestandteile.

	Gelagerter Urin		Frischer Urin unverdünnt Literaturdaten
	mit Spülwasser Haushalt	ohne Spülwasser, Bürogebäude	
Verdünnung $V_{\text{Urin}} / (V_{\text{Urin}} + V_{\text{Wasser}})$	0,33	1	1
pH	9,0	9,1	6,2
N_{Gesamt} (g/m ³)	1795	9200	8830
$\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ (g N/m ³)	1691	8100	463
$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (g N/m ³)	0,06	0	–
P_{Gesamt} (g/m ³)	210	540	800–2000
CSB (g O ₂ /m ³)	–	10 000	–
K (g/m ³)	875	2200	2737
Na (g/m ³)	982	2600	3450
Cl (g/m ³)	2500	3800	4970
Ca (g/m ³)	15,75	0	233
Mg (g/m ³)	1,63	0	119

Urin, die spezielle Flüssigkeit

Gesammelter und über einen längeren Zeitraum gelagerter Urin unterscheidet sich stark von der ursprünglichen Ausgangssubstanz (Tab. 1). Er erhält einen beissenden Geruch nach Salmiakgeist und der pH-Wert steigt von ursprünglich 6 auf über 9 an. Beides wird durch bakterielle Hydrolyse von Harnstoff hervorgerufen, bei der Ammoniak und Kohlendioxid entstehen. Zusätzlich beeinflusst die Menge Spülwasser im Sammelsystem die chemische Zusammensetzung.

Auffallend sind insbesondere die hohen Konzentrationen des unverdünnten Urins. Verglichen mit normalem Abwasser sind die Konzentrationen an Gesamtstickstoff und Gesamtphosphat rund 200- bzw. 100-mal höher und der chemische Sauerstoff-

bedarf ist etwa 30-mal grösser. Vergleicht man frischen mit gelagertem Urin, dann sind die Umwandlungen während der Lagerung deutlich zu erkennen: Einerseits steigen der Gehalt an anorganischem Stickstoff ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) und der pH-Wert durch die Harnstoffhydrolyse an. Andererseits reduzieren sich dadurch auch die Konzentrationen von Kalzium (Ca), Magnesium (Mg) und Phosphat, die sich als Feststoffe im Tank oder in den Leitungen ablagern (siehe Beitrag von Kai Udert auf S. 11).

Schwermetalle sind im menschlichen Urin kaum vorhanden. Hingegen werden viele Medikamente und Hormone über die Niere mit dem Urin ausgeschieden (siehe Beitrag von Beate Escher auf S. 23).

Die Nitratlösung könnte anschliessend als rasch wirkender Flüssigdünger und die Nitritlösung in einem Anammox-Reaktor weiterverarbeitet werden. Beim Anammox-Verfahren wird Ammoniak unter anaeroben Bedingungen mit Hilfe von Nitrit zu molekularem Stickstoff umgesetzt. Weiter ist denkbar, die beiden Lösungen zur Geruchs- und Korrosionsbekämpfung in der Kanalisation einzusetzen.

Mikroverunreinigungen werden durch Ozonierung zerstört oder inaktiviert. Als zuverlässigste Methode, um Mikroverunreinigungen zu eliminieren, hat sich die Ozonierung herausgestellt. Dabei werden die Schadstoffe zwar nicht unbedingt vollständig abgebaut, aber doch weitgehend deaktiviert. Um Mikroverunreinigungen aus einem spezifischen Produkt, z. B.

einem Dünger, abzutrennen, können auch die Nanofiltration oder die Elektrodialyse zum Einsatz kommen (Details dazu im Beitrag von Wouter Pronk auf S. 20). In Bioreaktoren scheinen nicht alle Mikroverunreinigungen abbaubar zu sein, so dass für eine weitgehende Elimination der Mikroverunreinigungen eine Kombination mit der Ozonierung in Erwägung gezogen werden muss. Schlecht abgebaut wurden in unseren Untersuchungen die Stoffe Propranolol (β -Blocker), Ibuprofen (Entzündungshemmer) und Ethinyl-östradiol (künstliches Hormon), wogegen die natürlichen Hormone Östradiol und Östron sehr gut eliminiert werden konnten.

Nährstoffrückgewinnung durch Eindampfen und Stripping. Aufgrund seiner Zusammensetzung ist Urin ein guter Multikomponentendünger. Das Verhältnis von Stickstoff, Phosphor und

Tab. 2: Mögliche Verfahren zur Urinbehandlung [1]. o = kein Effekt, + = positiver Effekt, ++ = starker positiver Effekt, ? = Effekte möglich, jedoch nicht untersucht.

	Hygienisierung	Volumenreduzierung	Stabilisierung	Nährstoffrückgewinnung	Abbau/Inaktivierung Mikroverunreinigungen	Separierung Nährstoffe – Mikroverunreinigungen	Nährstoffeliminierung
Hygienisierung							
Lagerung	+	o	o	o	o	o	o
Stabilisierung							
Ansäuern	+	o	++	o	?	o	o
Sterilfiltration	+	o	++	o	o	o	o
Nitrifikation	+	o	++	o	?	o	o
Nährstoffrückgewinnung							
Volumenreduzierung z. B. Eindampfen	+	++	+	++	o	o	o
Struvitfällung	o	++	+	++ (v.a. P)	o	++	o
Selektive Adsorption	o	+	o	++ (nur N)	o	+	o
Ammoniak-Stripping	o	+	o	++ (nur N)	o	++	o
Nährstoffeliminierung							
Anammox	+	o	++	o	?	+	++
Eliminierung der Mikroverunreinigungen							
Elektrodialyse	++	+	+	+	o	+	o
Nanofiltration	++	o	+	o	o	++	o
Ozonierung	+	o	+	o	++	o	o

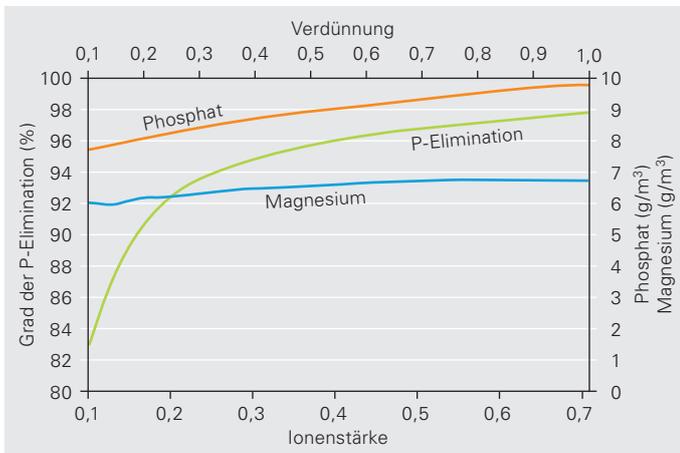


Abb. 1: Die gelösten Phosphat- und Magnesiumkonzentrationen nach der Struvit-Fällung sind abhängig von der Verdünnung des Urins mit Spülwasser (1 = unverdünnt, 0,1 = 10-fach verdünnt). Ausgangskonzentrationen der Nährstoffe im unverdünnten Urin: Phosphat = 440 g P/m³; Ammonium = 7850 g N/m³. Zugabe einer equimolaren Menge von Magnesiumchlorid (bezogen auf Phosphat).

Kalium (N:P:K) beträgt etwa 100:6:25 (Tab. 1) bzw. in der üblicherweise für Dünger verwendeten Nomenklatur N:P₂O₅:K₂O = 0,9:0,12:0,26 (Gewichtsprozente). Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Nährstoffe weiter aufzukonzentrieren oder einzelne Nährstoffe zu gewinnen:

► **Volumen verringern:** Dadurch werden die Lagerung, der Transport und die Dosierung vereinfacht. Technisch am weitesten gediehen ist die Methode des Eindampfens. Sie wird in kleinem Masstab auch in Weltraumstationen angewendet. In unseren Tests mit nicht-hydrolysiertem Urin (siehe Kasten) bei 200 mbar und 78 °C war es einfach möglich, das Volumen um den Faktor 10 zu reduzieren. Bei einem anderen Verfahren, der Teilgefrierung, wird der Urin so weit gefroren, dass ein Teil immer noch flüssig bleibt. In dieser flüssigen Phase befindet sich der grösste Teil der Nährstoffe, während das Eis vor allem Wasser enthält.

► **Stripping:** Ammoniak wird z.B. mit Luft aus dem Urin ausgetrieben und in eine Ammoniak- oder Ammoniumsulfatlösung überführt. Beide Produkte sind als chemische Rohstoffe oder als Dünger verwendbar.

Nährstoffrückgewinnung durch Struvitfällung und selektive Adsorption. Struvit (= Magnesium-Ammonium-Phosphat, MgNH₄PO₄, oder MAP) ist ein bewährter, langsam wirkender Mehrkomponentendünger. Unsere Laboruntersuchungen ergaben, dass diese Verbindung auch aus Urin hergestellt werden kann. Struvit bildet sich spontan, sobald man dem Urin Magnesium zufügt, z.B. in Form von Magnesiumoxid oder Magnesiumchlorid. Die Reaktion ist rasch und vollständig. Je stärker der Urin mit Spülwasser verdünnt ist, desto kleiner ist die Struvitausbeute (Abb. 1). Dies kann etwas kompensiert werden, indem die Magnesiumzugabe überproportional erhöht wird. Mit Hilfe der Struvitfällung können 96–98% des Phosphors aus dem Urin zurückgewonnen werden [5].

Zudem konnten wir nachweisen, dass die untersuchten Arzneimittel und Hormone vollständig in Lösung bleiben und nicht im Endprodukt nachweisbar sind. Allenfalls im Urin enthaltene Schwermetalle werden zu maximal 20–40% mit dem Struvit ausgefällt [6]. Damit ist die Struvitfällung eine einfache und wirkungsvolle Methode um die Nährstoffe ohne Schadstoffbelastung aus dem Abwasserstrom zu entfernen.

Nährstoffe können auch durch selektive Adsorption aus dem Urin gewonnen werden. Interessant ist dabei der Einsatz von Zeolith. Gibt man diesen Mineralstoff mit Urin zusammen, belädt er sich mit Stickstoff und kann anschliessend als stickstoffhaltiger Bodenverbesserer eingesetzt werden.

Nährstoffeliminierung. Ist das übergeordnete Ziel der Urinbehandlung, den Gewässerschutz zu verbessern, kann es sein, dass man die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor aus dem Urin entfernen möchte, ohne sie anschliessend wiederzuverwenden. Neben den üblicherweise für die Abwasserbehandlung eingesetzten Verfahren kann aufgrund der speziellen Eigenschaften von Urin auch das bereits oben beschriebene Anammox-Verfahren angewendet werden.

Eine flexible Verfahrenstechnik steht für die Aufbereitung von Urin bereit. Viele Verfahren eignen sich für die Behandlung von separat gesammeltem Urin. Somit wird die Verfahrenstechnik sicher kein limitierender Faktor bei der Umsetzung der Urinseparation in der Praxis sein. Allerdings stecken die meisten Verfahren erst in der Laborphase. Erfahrungen aus der Praxis sind rar und insbesondere bei der Entwicklung zuverlässiger Kleinapparate für den dezentralen Einsatz sind noch grosse Lücken zu füllen.

Die Vielfalt möglicher Urinaufbereitungsverfahren zeigt aber, dass Massnahmen an der Quelle, wie die Urinseparation, die Freiheitsgrade in der Abwasserentsorgung erhöhen. Die Grundlagen für die Weiterentwicklung sind gelegt. Jetzt muss der Schritt in die angewandte Praxis gemacht werden. ○ ○ ○

- [1] Maurer M., Pronk W., Larsen T.A. (2006): Treatment processes for source separated urine. *Water Research* 40, 3151–3166.
- [2] Kirchmann H., Pettersson S. (1995): Human urine – chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research* 40, 149–154.
- [3] Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2006): Fate of Major Compounds in Source-Separated Urine. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 413–420.
- [4] Ciba-Geigy (1977): *Wissenschaftliche Tabellen Geigy*, Teilband Körperflüssigkeiten 8. Ausgabe, Basel.
- [5] Ronteltap M., Maurer M., Gujer W. (2007) Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. *Water Research* 41 (5), 977–984.
- [6] Ronteltap M., Maurer M., Gujer W. (in press): The fate of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine. *Water Research*.

Dünger aus der Bibliothek

Aus Urin einen risikofreien Dünger herzustellen, ist ein Novum. Erste Erfahrungen werden in der komplett mit NoMix-WCs ausgestatteten Kantonsbibliothek Basel-Land in Liestal gemacht. Der dort gesammelte Urin wird zu einem Flüssigdünger aufbereitet. Doch bevor der Dünger eingesetzt werden darf, gilt es einige Hürden zu überwinden. Mit ähnlichen Herausforderungen sind auch Pilotprojekte in anderen Ländern konfrontiert.



Markus Boller, Ingenieur und Leiter der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft sowie Titularprofessor für Wasserversorgung und Wassertechnologie an der ETH Zürich

Ein Ziel der Urinseparierung ist die Rückführung der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium in die Landwirtschaft. Diese vom Menschen ausgeschiedenen Nährstoffe stammen aus den Nahrungsmitteln. Die zunehmende Nährstoffknappheit – insbesondere beim Phosphor, dessen natürliche Reserven bei den heute gängigen Extraktionsraten in 50–100 Jahren verbraucht sein werden – machen eine nachhaltige Bewirtschaftung der Düngestoffe unabdingbar. Anstelle der bisherigen Praxis, bei der die Nährstoffe über Kläranlagen in Gewässer, Luft und Schlamm verteilt und damit unwiederbringlich «entsorgt» werden, muss eine möglichst umfassende Wiederverwendung der wertvollen Düngestoffe angestrebt werden, wie sie mit tierischen Ausscheidungen seit jeher gepflegt wird. Doch stellen sich aus heutiger Perspektive mannigfaltige Hindernisse in den Weg, die es zu überwinden gilt. Die Idee muss auf den verschiedensten Ebenen – politisch, technisch, ökologisch und wirtschaftlich – überzeugen, wenn sie in die Praxis umgesetzt werden soll.

Das Urindüngerprodukt Urevit wird auf ein Versuchsfeld mit Silomais ausgebracht.



Fotos: Martin Koller, FIBL

Urindünger muss frei von Mikroverunreinigungen sein. Unsere Untersuchungen ergaben, dass die Gesellschaft der NoMix-Technologie grundsätzlich aufgeschlossen gegenübersteht. Ein Grossteil der Bevölkerung kann sich mit Trenntoiletten anfreunden [1] und Schweizer Landwirte können sich durchaus vorstellen, einen aus Urin hergestellten Dünger zu verwenden [2] (siehe Artikel von Judit Lienert auf S. 8). Allerdings müsste das Düngereprodukt von hoher Qualität, kostengünstig, hygienisch sicher und frei von Mikroverunreinigungen wie Arzneimittel und Hormone sein. Auch die Landwirtschaftsbehörden stellen grosse Anforderungen an den Urindünger. Neben einer guten Düngewirkung sehen sie ein Zulassungsverfahren vor, das einen experimentellen Nachweis über die Abwesenheit von Mikroverunreinigungen einschliesst. Die Erfahrungen aus den Debatten über die Qualität von Klärschlamm lehren uns, dass die Verwendung von unbehandeltem Urin in der Schweiz politisch nicht durchsetzbar wäre. Die Abtrennung bedenklicher Mikroverunreinigungen ist deshalb Voraussetzung, auch wenn die Urinaufbereitung dadurch technisch wesentlich aufwändiger wird.

Urinaufbereitung – verfahrenstechnisches Neuland. Um den Zulassungsprozess einzuleiten und um aufzuzeigen, dass es technisch möglich ist, aus Urin einen bedenkenlosen Dünger zu produzieren, lancierte die Eawag auf der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Birs I in Birsfelden im Kanton Basel-Landschaft ein Pilotprojekt zur Urinaufbereitung. Mit einer an der Eawag entwickelten Verfahrenstechnik wird dort unter realen Bedingungen ein Flüssigdünger aus Urin hergestellt. Der verwendete Urin stammt aus der neuen Kantonsbibliothek in Liestal, die dank der positiven Einstellung seitens der Basler Politiker und der zuständigen Behörden komplett mit NoMix-Toiletten und wasserlosen Urinalen ausgerüstet ist. Seit ihrer Fertigstellung im Juni 2005 steht der Urin von bis zu ca. 4000 Bibliotheksbesuchern pro Woche für die Düngerproduktion auf der ARA Birs I zur Verfügung.

Vier Ziele müssen bei der Aufbereitung von Urin zu Dünger gewährleistet sein:

- ▶ Die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium werden aufkonzentriert.
- ▶ Mikroverunreinigungen wie Hormone und Arzneimittel werden weitestgehend eliminiert.

Ort	Anzahl NoMix-Toiletten	Anzahl wasserlose Urinale	Anfallende Urinmenge (l/Woche)	Grösse Urintank (m ³)	Urinbehandlung	Anwendung, Verwertung
GTZ Eschborn D	56	25	8000	10	Struvitfällung, NH ₃ -Stripping	Wirkungsversuche, Versuchsfelder
Huber D	13	10	550	0,9	Struvitfällung, Ammoniumsulfatfällung	Nutzpflanzendüngung
Lambertsmühle D	4	2	60	4	keine	Landwirtschaft
Linz A Wohnungen Schule	88 18	12	ca. 2500 ca. 1500	16 6	keine	Kanalisation
Gebers S	25	0	ca. 700	3 x 3,5	6 Monate Lagerung	Landwirtschaft
Uderstenschöjden S	50	0	ca. 1000		6 Monate Lagerung	Landwirtschaft
Kantonsbibliothek Baselland CH	10	2	100	1,7	Elektrodialyse, Ozon	Wirkungsversuche
Eawag CH	39	7	250	je 1 (Männer + Frauen)	Biologische Verfahren	Forschung: Entwicklung weiterer Aufbereitungsverfahren

Tab. 1: Nationale und internationale Projekte zur Urinseparierung.

- Das Produkt muss hygienisch einwandfrei sein.
- Der Urin wird als Harnstoff- oder Ammoniumlösung in stabiler Form gelagert.

Aus der reichen Palette technisch meist anspruchsvoller Verfahren [3] (siehe auch Artikel von Max Maurer auf S. 14) wurde für die Urinaufbereitungsanlage in der ARA Birs I die Elektrodialyse in Kombination mit einer Ozonierung gewählt. Beide Verfahren sind in der kommunalen Abwasserbehandlung völlig neu, wurden in den Labors der Eawag entwickelt und zur Praxisreife gebracht und werden nun im Rahmen unseres Pilotprojektes erstmals in grösserem Massstab getestet. Details zur Funktion und zum Betrieb der Pilotanlage werden im Beitrag von Wouter Pronk auf S. 20 beschrieben [4]. In dieser Pilotstudie geht es vordringlich darum, mögliche technische Instrumente zur Schliessung der Nährstoffkreisläufe an einem Beispiel zu realisieren und im Sinne einer Bewährungsprobe und einer Demonstration den beteiligten Experten, den Behörden und der interessierten Bevölkerung das Potenzial der Nährstoffrückführung aus Urin aufzuzeigen. Die bisher erzielten Ergebnisse sind ermutigend und ebnen den Weg für alternative Verfahren in der Abwasserentsorgung.

Urinseparierung auch im Ausland. Die Bemühungen der Eawag, die Nährstoffkreisläufe in Siedlungen neu zu gestalten, stehen international betrachtet nicht allein. Namentlich in Schweden, Deutschland, Österreich und Holland sind seit einigen Jahren zahlreiche Aktivitäten im Gange (Tab. 1). Darunter sind einige in der Literatur eingehend beschriebene Projekte, bei denen die NoMix-Technologie grosstechnisch im Einsatz steht. Die häufig für ländliche Gebiete vorgesehenen Lösungen sahen anfänglich keine Bedenken bezüglich Urinqualität, was eine einfache und direkte Verwendung des Urins ermöglichte. Inzwischen sind die im Urin enthaltenen Mikroverunreinigungen zu einem viel diskutierten Thema geworden. So zeigen neuere Versuche mit unge-

reinigtem, aufkonzentriertem Urin, der hoch dosiert als Dünger eingesetzt wurde, dass die unerwünschten Stoffe im Boden und in den Pflanzen akkumulieren und das Wachstum der Pflanzen hemmen [5]. Das von den Mikroverunreinigungen ausgehende Risiko ist also nicht zu unterschätzen und prägt derzeit die Entwicklungsarbeiten zur Urinlagerung und -behandlung. Ebenso wird die Qualität der in unterschiedlichen Formen anfallenden Produkte in Bezug auf die Düngereigenschaften im Pflanzenbau vermehrt erforscht.

Verschiedene Projekte in Schweden weisen nach, dass die Weiterverwendung des gesammelten Urins entscheidend ist für die Motivation zur Installation und zum Gebrauch von Trenntoiletten. Beispielsweise wurden die bereits 1995 installierten Trenntoiletten in der Stadt Björnsbyn inzwischen durch konven-

Ist Urexit ein wirksamer Dünger? Die Farbe der Pflanzenblätter (hier Silomais) ist eins der Beurteilungskriterien.



tionelle Toiletten ersetzt. Technische Mängel und das Fehlen eines Konzeptes für die risikofreie Nährstoffrückführung in die Landwirtschaft waren die Gründe.

Vom Urin zum Dünger. Der in der Urinaufbereitungsanlage auf der ARA Birs I produzierte Dünger «Urevit» ist eine Nährstofflösung, die in ihren Eigenschaften wesentlich vom Ausgangsstoff Urin abweicht (Tab. 2). Eine vierfach höhere Aufkonzentrierung von N, P, K und andern Salzen, die Abwesenheit von Mikroverunreinigungen, Bakterien und Viren sowie ein leicht geringerer Anteil an organischen Inhaltsstoffen kennzeichnen den Flüssigdünger.

Wie in den meisten europäischen Staaten, ist auch hierzulande eine Düngerbewilligung erforderlich, wobei die Schweizer Düngerbuch-Verordnung von 2001 [6] verschiedene Klassen von Düngern unterscheidet: Als bedenkenlos gelten mineralische Nährstoff- und Harnstoffdünger. Sie können ohne Bewilligungsverfahren angewendet werden. Dagegen ist für organische Dünger und Hofdünger (z.B. Gülle und Silosäfte) eine Zulassung erforderlich und Dünger auf der Basis von Fleisch-, Knochen- und Blutmehl sind gänzlich verboten. Für alle anderen nicht explizit in der Liste genannten Dünger muss die Zulassung durch ein Bewilligungsverfahren beantragt werden. Das gilt auch für menschlichen Urin und daraus hergestellte Produkte. Dabei ist der Nachweis zu erbringen, dass sich bei der Anwendung keine Nachteile für Menschen, Tiere und Umwelt ergeben und keine negativen Auswirkungen auf die produzierten Nahrungsmittel vorhanden sind.

Inzwischen hat das Bundesamt für Landwirtschaft eine provisorische Bewilligung für Urevit erlassen. Parallel dazu laufen die Bemühungen für eine generelle Zulassungsbewilligung und eine grundsätzliche Regelung für weitere Düngerprodukte aus Urin. Die Bedingungen dazu sind:

- ▶ Vergleich der Düngerwirkung mit herkömmlichen Düngern in Feldversuchen (inkl. Bedingungen zum Einsatz im Biolandbau),
- ▶ Bezeichnung und chemische Zusammensetzung des Produkts,
- ▶ Gebrauchsanweisung zur Anwendung des Produkts,
- ▶ Nachweis der hygienischen Unbedenklichkeit,
- ▶ Nachweis der Abwesenheit von Mikroverunreinigungen (unterhalb Nachweisgrenze).

Das Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) in Frick untersuchte die Düngewirkung von Urevit, der mit Phosphor, Kalium und Magnesium aufgestockt wurde, auf Silomais. Die Untersuchungen ergaben, dass Urevit grundsätzlich als Dünger geeignet ist. Egal ob mit Ammoniumnitrat oder mit Urevit gedüngt wurde, der Pflanzenwuchs war in beiden Fällen maximal und signifikant höher als mit Rindergülle. Jedoch konnte mit Ammoniumnitrat ein 13% höherer Ernteertrag erzielt werden als mit Urevit. Wahrscheinlich geht bei der Applikation von Urevit Ammonium verloren. Dies könnte durch andere Ausbringmethoden verhindert werden, so dass dann mit gleichen Ernteerträgen wie bei Anwendung von Ammoniumnitrat zu rechnen ist.

Die Zeit nutzen. Die Pilotversuche zur Aufbereitung von Urin in Baselland sind vorläufig auf sechs Jahre terminiert. In dieser Zeitspanne will die Eawag weitere Verfahrenstechnologien zur Urinaufbereitung im Labormassstab entwickeln. Ein aussichts-

Parameter	Roh-Urin	Urevit
pH	8,7	9,1
Leitfähigkeit (µS)	–	150
Gelöster organischer Kohlenstoff DOC (g/l)	1,2	3,0–3,5
Chemischer Sauerstoffbedarf CSB (g O ₂ /l)	3,6	10
Gesamtstickstoff (g/l)	3,0	12
Ammonium (g/l)	2,9	11
Gesamtphosphor (g/l)	0,18	0,65
Kalium (g/l)	1,4	5,7
Magnesium (g/l)	–	0,008
Calcium (g/l)	–	0,020
Natrium (g/l)	1,6	6,5
Chlorid (g/l)	3,0	15
Sulfat (g/l)	0,7	2,5

Tab. 2: Zusammensetzung von Roh-Urin und «Urevit», dem in der Urinaufbereitungsanlage hergestellten Flüssigdünger (erste Ergebnisse).

reiches Verfahren ist die Wiedergewinnung von Phosphat durch biologische Verfahren oder mit Hilfe von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). Den Urin für diese Experimente sammelt die Eawag in ihrem neuen Hauptgebäude, dem Forum Chriesbach, das wie die Kantonsbibliothek Liestal konsequent mit NoMix-Toiletten ausgestattet wurde.

Auch international ist in den nächsten Jahren mit einer starken Intensivierung der Forschungsarbeiten zur alternativen Abwasserentsorgung und zu neuen Verfahren für die Aufbereitung von Urin zu rechnen. Ein ermutigender Trend, denn je reicher die Erfahrungen, desto grösser sind letztlich auch die Chancen für eine breite Umsetzung der neuen Konzepte und Technologien. ○ ○ ○

- [1] Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally-friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40, 4838–4844.
- [2] Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48 (1), 47–56.
- [3] Maurer M., Pronk W., Larsen T.A. (2006): Treatment processes for source separated urine. *Water Research*. 40, 3151–3166.
- [4] Pronk W., Zuleeg S., Lienert J., Boller M. (submitted): Pilot experiments with electrodialysis and ozonation for the production of a fertilizer from urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007.
- [5] Bonner Agrikulturchemische Reihe, Band 21, www.ipe.uni-bonn.de/BAR/BAR_21.pdf
- [6] Düngerbuch-Verordnung (28.02.2001). SR-Nummer 916.171.1. www.admin.ch/ch/d/sr/c916_171_1.html

Urinaufbereitung: Vom Labor zur Praxis



Wouter Pronk, Verfahrenstechniker Biotechnologie, Leiter der Gruppe Membrantechnologie in der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft

Die Kombination von Elektrodialyse und Ozonierung ist eine mögliche Verfahrenstechnik, um wertvolle Nährstoffe aus dem Urin aufzukonzentrieren. Gleichzeitig können damit Risikostoffe entfernt und einwandfreier Dünger produziert werden. Das an der Eawag entwickelte Verfahren wird derzeit im Kanton Basel-Landschaft getestet.

Aufgrund seines hohen Nährstoffgehalts ist es naheliegend, Urin zu Dünger aufzubereiten. Dabei muss jedoch gewährleistet sein, dass die ebenfalls über den Urin ausgeschiedenen Arzneimittelrückstände und Hormone vorher von den Nährstoffsalzen abgetrennt werden. Um darüber hinaus die Transport- und Lagerolumen von Urin und Urindünger zu reduzieren, ist eine starke Aufkonzentrierung der Salze erwünscht.

Ausgehend von diesen Zielen erforschte die Eawag im Labor eine Reihe von Verfahrensprozessen, u. a. Komplexierung, Fällung, Ozonierung und verschiedene Membranverfahren wie Nanofiltration und Elektrodialyse. Für das Pilotprojekt zur Düngerherstellung aus Urin wurde schliesslich ein 2-stufiges Verfahren, bestehend aus Ozonierung und Elektrodialyse, ausgewählt.

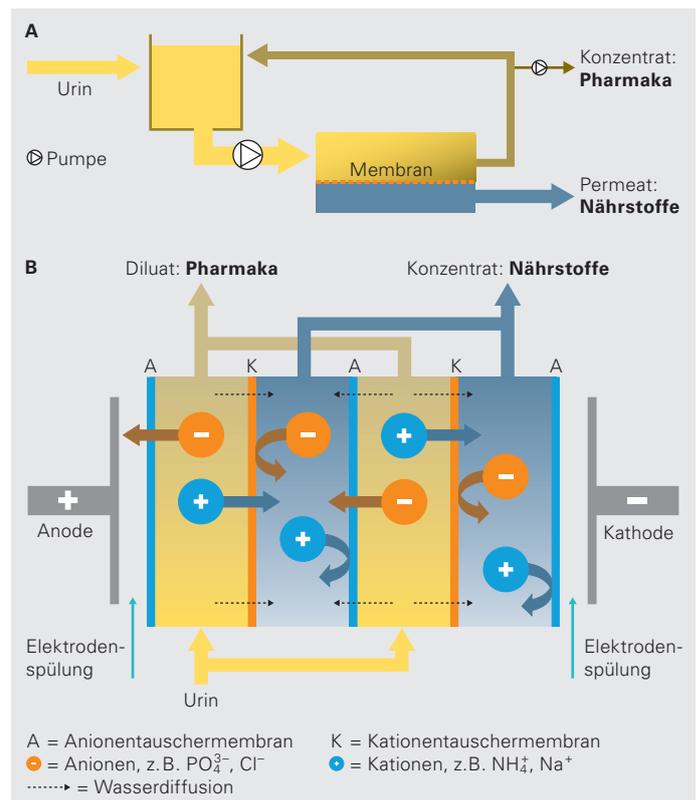
Die Nanofiltration trennt Stoffe in Molekülgrösse ab. Bei der Nanofiltration werden Flüssigkeiten unter hohem Druck von ca. 10–30 bar durch eine Membran mit sehr kleinen Poren in der Grösse von Nanometern gepresst (Abb. 1A). Im Prinzip werden die in der Flüssigkeit gelösten Stoffe dabei aufgrund ihrer Molekülgrösse getrennt, aber auch die Ladung der Stoffe spielt eine wichtige Rolle. Wir wollten wissen, ob sich die Nanofiltration ebenfalls auf Urin anwenden lässt und die darin enthaltenen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor von den unerwünschten Stoffen getrennt werden können.

In Laborversuchen testeten wir drei verschiedene Membranen, die Stoffe mit Molekulargewichten grösser als etwa 150–400 Dalton (Da) zurückhalten sollten [1]. Dem Urin wurde eine repräsentative Mischung von Arzneistoffen zudosiert: u. a. der Betablocker Propranolol, die entzündungshemmenden Stoffe Diclofenac und Ibuprofen sowie der Wirkstoff der Antibabypille Ethinylöstradiol. Die Molekulargewichte dieser Stoffe liegen zwischen 180 und 300 Da. Dagegen sind die Molekulargewichte der Nährstoffe viel kleiner: Stickstoff liegt in frischem Urin überwiegend als Harnstoff (60 Da) und nur ein geringer Anteil von ca. 6% in Form von Ammonium (NH_4^+ , 18 Da) vor; Phosphor ist ausschliesslich im Phosphat (PO_4^{3-} , 95 Da) gebunden. In gelagertem Urin liegt Stickstoff dagegen überwiegend in Form von Ammonium vor. Dies wird durch Bakterien verursacht, die den

Harnstoff zu Ammonium und CO_2 hydrolysieren. Dadurch steigt während der Lagerung auch der pH-Wert des Urins von 6 auf 9 an. Wir führten unsere Nanofiltrationsversuche mit frischem, nicht hydrolysiertem Urin durch.

Mit der Nanofiltration lässt sich nur der Harnstoff aus Urin zurückgewinnen. In einem Vergleich verschiedener Membran-

Abb. 1: Schematische Darstellung der Nanofiltration (A) und der Elektrodialyse mit zwei Membranpaaren (B). In der Praxis werden in der Elektrodialyse Membranstapel mit bis zu 100 Membranpaaren eingesetzt.





Wouter Pronk, Eawag

Pilotanlage, mit der Urin zu einem Flüssigdünger aufbereitet wird. Der verwendete Urin stammt aus der komplett mit NoMix-WCs ausgestatteten Kantonsbibliothek Liestal im Kanton Basel-Landschaft.

typen schnitt die Membran NF270 (Hersteller Dow Inc.) am besten ab. Doch auch damit konnten nicht alle Schadstoffe zurückgehalten werden (Abb. 2A). Zudem war die Membran für Phosphat quasi undurchdringlich und nur knapp die Hälfte des Ammoniums konnte passieren (Abb. 2B). Allein für Harnstoff konnte ein befriedigendes Ergebnis erzielt werden. Durch abstossende Kräfte zwischen Membran und gelösten Stoffen wird zum Beispiel das Phosphat zurückgehalten. Dagegen können die ungeladenen Harnstoffmoleküle die Membran passieren. Aufgrund dieser komplexen Situation ist die Nanofiltration für eine vollständige Nährstoffgewinnung nur bedingt geeignet.

Bei der Elektrodialyse bewegen sich die Stoffe in einem elektrischen Feld. Besser geeignet ist die Elektrodialyse (Abb. 1B). Zwischen einem Elektrodenpaar befinden sich abwechselnd positiv und negativ geladene Membranen, die prinzipiell von geladenen Molekülen mit einer Grösse von bis zu ca. 200 Da passiert

werden können. Positiv geladene Moleküle, die so genannten Anionen, bewegen sich in Richtung Anode und negativ geladene Stoffe, die Kationen, in Richtung Kathode. Allerdings können die Kationen nicht durch die positiv geladenen Membranen dringen, so dass sie sich im angrenzenden Kompartiment anreichern. Das gleiche gilt in der Gegenrichtung für die Anionen. Auf diese Weise werden die Stoffe in den Diluat-Kompartimenten entfernt und in den Konzentrat-Kompartimenten angereichert. Die Diluat-Kompartimente werden mit Urin gespeist. Wasser diffundiert aus dem Urin durch die Membranen in die Konzentrat-Kompartimente und bestimmt die Grösse des Konzentratstroms.

Die Elektrodialyse separiert Nähr- und Schadstoffe fast vollständig. Ziel der Elektrodialyse ist die Migration der niedermolekularen Nährstoffe ins Konzentrat, wogegen die höhermolekularen Arzneimittel und Hormone im Diluat bleiben sollen. Tatsächlich wird ein Teil der Schadstoffe, wie z. B. Ethinylöstradiol (Abb. 3A)

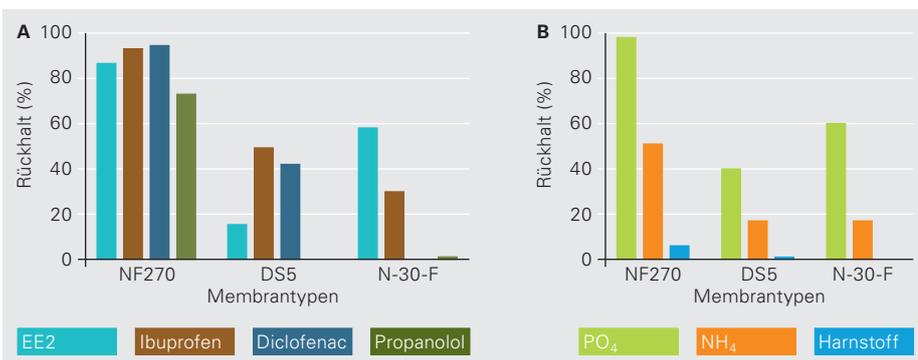


Abb. 2: Rückhalt von Pharmazeutika (A) und Nährstoffen (B) mittels Nanofiltration. Getestet wurden 3 verschiedene Membranen. (EE2 = Ethinylöstradiol).

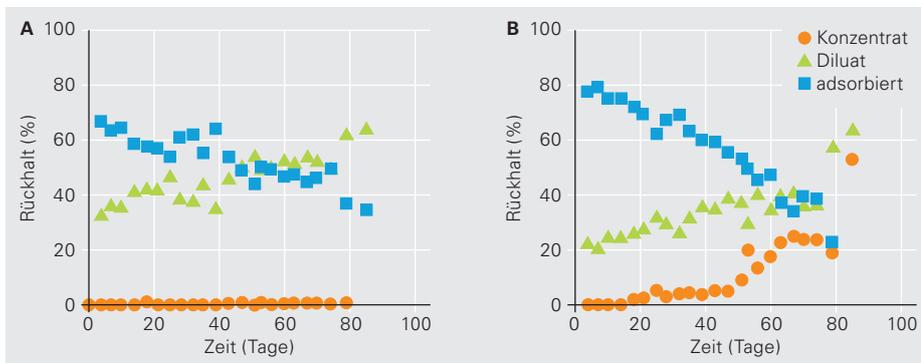


Abb. 3: Massenbilanzen von Ethinylöstradiol (A) und Propanolol (B) in der Elektrodialyse.

und Diclofenac, dauerhaft zurückgehalten. Für Propanolol dagegen ist die Membran nur zu Beginn der Elektrodialyse ein Hindernis, bei längerer Laufzeit diffundiert es dennoch hindurch (Abb. 3B). Von den Nährstoffen werden Ammonium und Phosphat, so wie wir es erwartet haben, komplett ins Konzentrat transportiert [2] und reichern sich dort um einen Faktor 3–4 an. Harnstoff kann mit dieser Methode nicht vollständig zurückgewonnen werden: denn dadurch, dass der Stoff nicht geladen ist, diffundiert nur ein relativ kleiner Teil ins Konzentrat. In der Regel wird aber ein über längere Zeit gelagerter Urin aufbereitet, der keinen Harnstoff mehr enthält.

Durch Ozonierung die restlichen Schadstoffe eliminieren. Da mit der Elektrodialyse nicht alle unerwünschten Stoffe vollständig von den Nährstoffen getrennt werden konnten, testeten wir eine zusätzliche Behandlungsstufe. Aus früheren Eawag-Versuchen mit gereinigtem Abwasser war bekannt, dass Arzneimittel durch Oxidation mit Ozon weitgehend zerstört werden. Unsere weiterführenden Labortests ergaben, dass dies auch für Urin bzw. die Produkte aus der Elektrodialyse möglich ist. Allerdings liegt die erforderliche Ozondosis mit 1–2 g Ozon pro Liter Urin höher als bei anderen Anwendungen [3].

Pilotversuche im Kanton Basel-Landschaft. In einem Projekt unter Federführung des Amtes für Industrielle Betriebe Baselland (AIB) wurden im Neubau der Kantonsbibliothek Baselland in Liestal Trenntoiletten und ein System zur Urinsammlung installiert. Gemeinsam mit dem AIB entschied die Eawag, den dort gesammelten Urin in einer Pilotanlage aufzubereiten, die die Elektrodialyse mit der Ozonierung kombiniert. Zu Beginn testeten wir zwei verschiedene Verfahrenskombinationen: die Ozonierung des Roh-Urins vor der Elektrodialyse sowie die Ozonierung des Konzentrats und des Diluats nach der Elektrodialyse. Dabei hat es sich gezeigt, dass die Nachbehandlung insgesamt mit einem geringeren Ozon- und Energiebedarf auskommt als die Vorbehandlung. Da während der Lagerung des Roh-Urins oberflächenaktive Substanzen freigesetzt werden, die zur Schaumbildung bei der Ozonierung führen können, muss der Roh-Urin zusätzlich über eine Mikrofiltrationsmembran vorfiltriert werden. Die Pilotanlage besteht nun also aus einer Mikrofiltration, einer Elektrodialyse und der anschliessenden

Ozonierung der beiden Produktströme. Diese Verfahrenskombination zur Urinaufbereitung hat sich bewährt, denn die Anlage wird bereits seit mehr als einem Jahr stabil betrieben.

Dem bei diesem Verfahren entstehenden Flüssigdünger haben wir den Namen «Urevit» gegeben. Einzelheiten über die Zusammensetzung von Urevit, seine Düngerwirkung sowie das Verfahren zur Düngerzulassung werden im Artikel von Markus Boller auf S. 17 beschrieben.

Ein Meilenstein für die NoMix-Technologie. Die Entwicklung eines praktikablen Verfahrens zur Düngerherstellung aus Urin ist ein Meilenstein in der Umsetzung des NoMix-Konzepts. Nachweislich steigt die Motivation zur Installation und zum Gebrauch von Trenntoiletten in der Bevölkerung, wenn realistische Möglichkeiten zur Wiederverwendung des Urins aufgezeigt werden können. Noch steht die endgültige behördliche Zulassung für den mit unserem Verfahren hergestellten Flüssigdünger aus, doch wir sind sehr zuversichtlich, dass sie erteilt wird. ○ ○ ○

Das Pilotprojekt in der Kantonsbibliothek Liestal inklusive der Urinaufbereitungsanlage wird durch das Nachhaltigkeitsprojekt Novatlantis des ETH-Bereichs unterstützt.

- [1] Pronk W., Palmquist H., Biebow M., Boller M. (2006): Nanofiltration for the separation of pharmaceuticals from nutrients in source-separated urine. *Water Research* 40, 1405–1412.
- [2] Pronk W., Biebow M., Boller M. (2006): Electrodialysis for recovering salts from a urine solution containing micropollutants. *Environmental Science & Technology*, 40, 2414–2420.
- [3] Pronk W., Dodd M.C., Zuleeg S., Escher B.I., von Gunten U. (in preparation): Ozonation of micropollutants in source-separated urine: Feasibility and process modeling.

Hilft NoMix bei Umweltproblemen durch Pharmaka?



Beate Escher, Chemikerin und Leiterin der Gruppe Wirkmechanismus-orientierte Chemikalienbewertung
Koautorin: J. Lienert

Die NoMix-Technologie sieht unter anderem vor, aus dem separat gesammelten Urin einen Dünger herzustellen. Doch im Urin sind auch Arzneimittel und Hormone enthalten. Sie müssen während der Aufbereitung vollständig entfernt werden. Um dies zu überprüfen, entwickelten wir ein Testverfahren, das chemische und ökotoxikologische Analysen kombiniert.

Viele Arzneimittel, die wir einnehmen, scheiden wir mit dem Urin wieder aus. Das betrifft auch Hormonpräparate wie die Antibabypille und selbst Hormone, die natürlicherweise von unserem Körper produziert werden. Mit dem Abwasserstrom gelangen diese Stoffe zunächst in die Kläranlagen, wo viele von ihnen jedoch nicht vollständig entfernt werden. Deshalb sind sie anschliessend in den Gewässern nachweisbar, wenn auch meist in sehr niedrigen Konzentrationen – im Bereich von Nanogramm bis Mikrogramm pro Liter. Gemeinsam mit anderen organischen Um-

weltchemikalien werden die Arzneimittelrückstände als Mikroverunreinigungen bezeichnet. Einzelnen stellen diese Stoffe selten eine Gefährdung für die aquatische Umwelt dar. Doch als Mischungen können sie sehr wohl negative Auswirkungen haben. Eine grosse Chance ist es daher, den Urin an der Quelle, d. h. im WC aufzufangen und getrennt vom Abwasser zu behandeln. Doch auch dabei muss sichergestellt werden, dass die Mikroverunreinigungen nicht in die Umwelt gelangen. Das gilt insbesondere, wenn aus dem Urin ein Dünger hergestellt werden soll. Aus diesem Grund haben wir im Rahmen des Projekts Novaquatis ein Testverfahren entwickelt, mit dem sowohl einzelne Stoffe chemisch nachgewiesen als auch Schadstoffmischungen auf ihre ökotoxikologische Wirkung hin untersucht werden können. Damit kann der Verbleib der Mikroverunreinigungen während der gesamten Urinaufbereitung überwacht werden.

Wie toxisch sind die Arzneistoffe? Der Algentest gibt Antwort.



Yvonne Lehnhard, Eawag

Ökotoxikologische Analysen: Hefe- und Algentest als Indikatoren für Hormonaktivität und Zelltoxizität. Ökotoxikologische Untersuchungen von Urin sind schwierig, weil es sich dabei um ein komplexes Stoffgemisch handelt. Um sicherzugehen, dass die beobachteten Effekte nicht durch den pH, Salze oder andere natürliche Urinkomponenten verursacht werden, wollten wir die Mikroverunreinigungen zunächst aus dem Urin isolieren. Dafür haben wir eine bereits bestehende Methode der Festphasenextraktion erfolgreich weiterentwickelt [1]. Die damit gewonnenen Urinextrakte wurden im Anschluss einer Reihe von ökotoxikologischen Tests unterzogen, die *in vitro*, d. h. im Reagenzglas, verschiedene Wirkmechanismen detektieren. So kann man beispielsweise herausfinden, ob eine Urinprobe die Membranen von Zellen schädigt, die Proteinsynthese stört oder Schäden an der Erbsubstanz hervorruft. Die Tests waren ursprünglich entwickelt worden, um das Gefährdungspotenzial von Arzneimitteln gegenüber aquatischen Organismen abzuschätzen [2].

Da wir im Projekt Novaquatis kostengünstig viele Urinproben in kurzer Zeit analysieren wollten, konzentrierten wir uns auf zwei

Biotests, die besonders relevant sind [1, 3]: Der Hefetest zeigt an, ob sich Mikroverunreinigungen mit hormonartiger Wirkung, wie beispielsweise die Geschlechtshormone Östradiol und Ethinyl-östradiol (Wirkstoff der Antibabypille), im Urin befinden [4]. Beim Algentest werden Stoffe detektiert, die eine allgemeine toxische Wirkung auf die Zellen haben. Dabei wird bestimmt, wie stark die Photosynthese der Algen gehemmt wird.

In beiden Tests werden nicht einzelne Substanzen nachgewiesen, sondern der Effekt, der vom Stoffgemisch im Urin ausgeht. Die Stärke beider Parameter wurde zunächst im unbehandelten Urin analysiert und gleich 100% gesetzt. Dies erlaubt, die Abnahme der Hormonaktivität und der Zelltoxizität im Verlauf der Urinaufbereitung zu verfolgen.

Durch Struvitfällung werden mehr Schadstoffe eliminiert als durch Nanofiltration und Ozonierung. In Rahmen von Novaquatis wurden verschiedene Methoden entwickelt, mit denen der Urin aufbereitet werden kann (siehe Artikel von Max Maurer auf S. 14). Hier fokussieren wir allerdings nur auf drei Verfahren: die Nanofiltration und die Struvitfällung zur Düngerherstellung sowie die Ozonierung zum gezielten Abbau der Mikroverunreinigungen [Ergebnisse der gesamten Studie in 3].

Bei der Düngerherstellung durch Nanofiltration (siehe Artikel von Wouter Pronk auf S. 20) finden sich die Nährstoffe in der Flüssigkeit, die durch den Filter hindurch geht, im so genannten Permeat. Zurück bleibt eine Lösung, die entsorgt wird. Darin wird der grösste Anteil der Arzneimittel und Hormone angereichert, denn 54% der Hormonaktivität und 87% der Zelltoxizität sind im Permeat verschwunden (Abb. 1). Noch effizienter ist die Struvitfällung. Damit werden 98% der hormonaktiven und zelltoxischen Mikroverunreinigungen entfernt, so dass ein sehr sauberer Dünger entsteht (Abb. 1).

Bei der Ozonierung werden sehr hohe Ozondosen zur Eliminierung der Mikroverunreinigungen gebraucht. Das liegt daran, dass Urin, abgesehen von Arzneimitteln und Hormonen, natürlicherweise grosse Mengen organischer Substanzen enthält. Bei der von uns angewendeten Ozondosis von 1,1 g pro Liter Urin werden die organischen Stoffe so stark oxidiert, dass die Hormonaktivität

vollständig verloren geht. Diese Dosis reicht jedoch nicht aus, um auch die zelltoxischen Stoffe komplett zu zerstören. Die Zelltoxizität wurde in unseren Tests nur um etwas mehr als 50% reduziert (Abb. 1). Folglich müssen noch relativ grosse Molekülfragmente im Urin vorhanden sein.

Chemische Analysen: Gezieltes Messen einzelner Stoffe. Mittels chemischer Analyse überprüften wir zudem, ob bestimmte, häufig gebrauchte und zum Teil über den Urin ausgeschiedene, pharmazeutische Wirkstoffe wie Propranolol, Ibuprofen, Diclofenac, Carbamazepin und Ethinylöstradiol nach der Aufbereitung des Urins immer noch nachweisbar sind. Für einen leichteren Nachweis gaben wir dem Urin in unseren Tests jeweils eine bekannte Menge dieser Stoffe vor der Aufbereitung hinzu. Im Grossen und Ganzen konnten wir die Ergebnisse der ökotoxikologischen Tests mit der chemischen Analyse bestätigen [3].

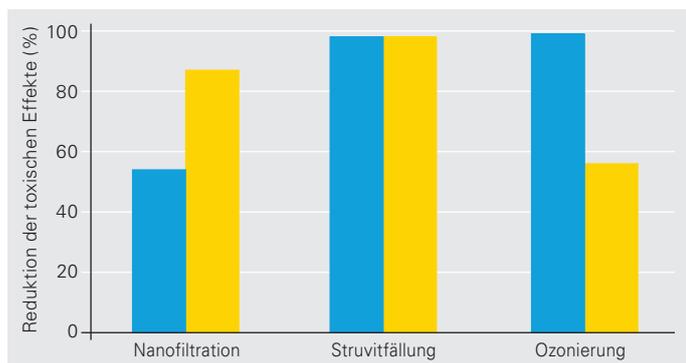
Chemische und ökotoxikologische Tests ergänzen sich. Je nach Fragestellung kann entweder die chemische oder die ökotoxikologische Analytik oder eine Kombination daraus angewendet werden. Soll beispielsweise das Verhalten einzelner Stoffe charakterisiert werden, ist die chemische Analyse angezeigt. Die ökotoxikologischen Tests sind dagegen besser geeignet, wenn abgeschätzt werden soll, wie gut eine unbekannte Mischung von Mikroverunreinigungen mit einem bestimmten Aufbereitungsverfahren eliminiert wird. Da bei diesen Tests die Summe der Effekte aller in der Mischung enthaltenen Substanzen gemessen wird, werden auch unbekannte Stoffe und Metaboliten (Umwandlungsprodukte des Körpers) sowie Pharmazeutika einbezogen, die in äusserst geringen Mengen im Urin vorliegen. Gleichwohl tragen auch gewisse natürliche Inhaltsstoffe des Urins zur Gesamtoxizität bei.

Durch Urinseparierung weniger Schadstoffe in den Gewässern? Unsere Ergebnisse zeigen, dass es durch geschickte Aufbereitung des Urins möglich ist, ein schadstofffreies Düngerprodukt herzustellen. Unsere Fragen gehen aber noch einen Schritt weiter. Könnte durch konsequentes Urinseparieren die Menge der Mikroverunreinigungen im Abwasserstrom wesentlich reduziert werden? Und ist es dadurch möglich, die Kläranlagen zu entlasten und Umweltprobleme zu vermeiden?

Um das zu beurteilen, muss man wissen, wie sich die Arzneimittel und Hormone im Körper verhalten. In der Regel wird ein gewisser Anteil eines Wirkstoffs vom Körper resorbiert, umgewandelt (metabolisiert) und – aufgrund der höheren Wasserlöslichkeit des Umwandlungsprodukts – mit dem Urin ausgeschieden. Der Rest, der nicht resorbiert oder weniger stark metabolisiert wird, verlässt den Körper mit den Fäkalien. Wir haben deshalb für 212 pharmazeutische Wirkstoffe abgeschätzt, welcher Anteil via Urin bzw. Fäkalien ausgeschieden wird [5]. Obwohl die Variationen zwischen den verschiedenen Arzneistoffen äusserst gross sind, werden im Mittel doch 64% (Standardabweichung $\pm 27\%$) einer eingenommenen Substanz mit dem Urin abgegeben.

Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, wie toxisch die einzelnen Metaboliten für aquatische Organismen sind. Dazu ha-

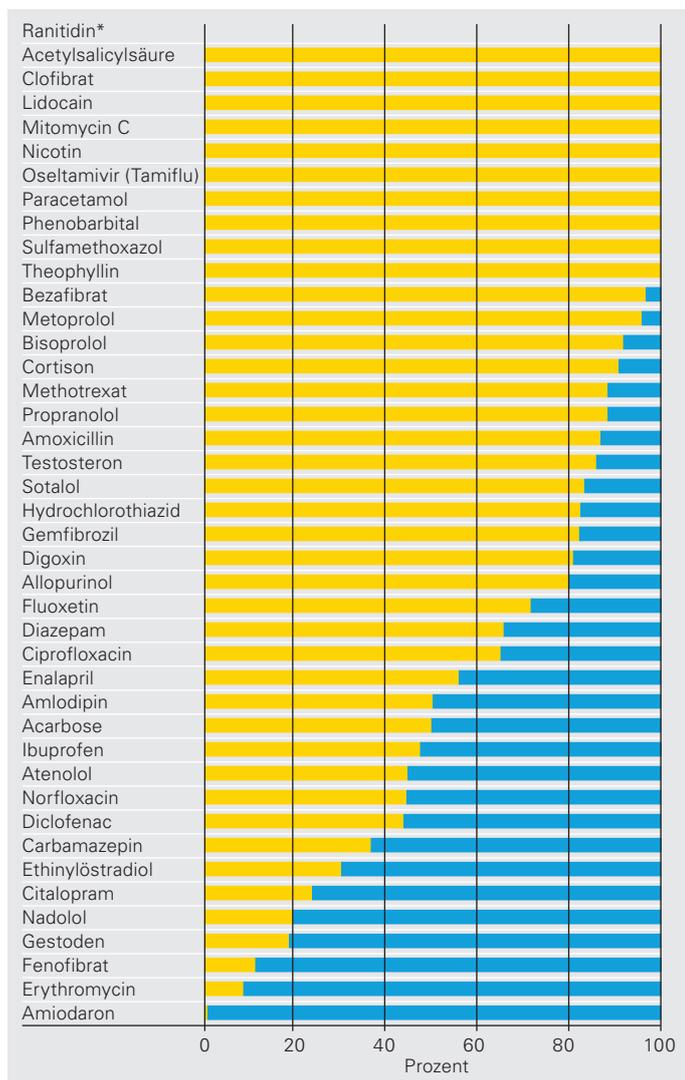
Abb. 1: Abnahme von Hormonaktivität (blau) und Zelltoxizität (gelb) durch drei verschiedene Methoden der Urinaufbereitung. Die Reduktion in % bezieht sich auf den Urin vor der Behandlung.



ben wir die Toxizität der Urin- und Fäkalienfraktionen für 42 in der Schweiz gebräuchliche Arzneimittelwirkstoffe mit Modellen abgeschätzt [6, 7]. Das Modell basiert auf der Annahme, dass die biologische Aktivität eines Stoffs von seiner chemischen Struktur abhängt. Allgemein gilt: Eine Substanz wirkt umso toxischer auf aquatische Organismen, je hydrophober oder schlechter wasserlöslich sie ist. Das würde bedeuten, dass die Toxizität der Fäkalien-

Abb. 2: Mittlere relative Toxizitäten der in Urin (gelb) und Fäkalien (blau) enthaltenen Fraktionen von 42 pharmazeutischen Wirkstoffen nach der Metabolisierung im menschlichen Körper [7]. Die Werte wurden auf 100% skaliert. Absolute Vergleiche zwischen den verschiedenen Wirkstoffen sind nicht möglich. Zum Beispiel liegt die gesamte Toxizität von Acetylsalicylsäure im Urin, bei Diclofenac dagegen werden nur 44% der Toxizität mit dem Urin ausgeschieden. Trotzdem ist es möglich, dass die mit dem Urin ausgeschiedenen Reste von Diclofenac ein grösseres Risiko für aquatische Organismen darstellen als diejenigen von Acetylsalicylsäure. Um das abzuklären, sind weitergehende Modellierungen nötig [7].

* Keine geeigneten Literaturdaten über Ranitidin für diese spezifische Modellierung vorhanden.



fraktion in der Regel höher ist als die der Urinfraktion. Doch so einfach ist es nicht, denn neben den chemischen Eigenschaften der Metaboliten muss auch die Menge berücksichtigt werden, und meist wird der grössere Anteil eines Wirkstoffs mit dem Urin ausgeschieden. Unsere Analyse ergab tatsächlich grosse Variationen (Abb. 2). Trotzdem wird die gesamte Toxizität bei 24% der untersuchten Wirkstoffe ausschliesslich über den Urin abgegeben und bei 67% der Substanzen verlässt mindestens 50% der Toxizität den Körper mit dem Urin [7]. Durch Urinseparierung ist es also möglich, einen grossen Anteil von Arzneimitteln und Hormonen aus dem Abwasser heraus zu halten. Dies würde nicht nur die Kläranlagen entlasten, sondern auch die Gewässerbelastung verringern. ○ ○ ○

- [1] Escher B.I., Bramaz N., Maurer M., Richter M., Sutter D., von Känel C., Zschokke M. (2005): Screening test battery for pharmaceuticals in urine and wastewater. *Environmental Toxicology & Chemistry* 24, 750–758.
- [2] Escher B.I., Bramaz N., Eggen R.I.L., Richter M. (2005): *In-vitro* assessment of modes of toxic action of pharmaceuticals in aquatic life. *Environmental Science & Technology* 39, 3090–3100.
- [3] Escher B.I., Pronk W., Suter M.J.F., Maurer M. (2006): Monitoring the removal efficiency of pharmaceuticals and hormones in different treatment processes of source-separated urine with bioassays. *Environmental Science & Technology* 40, 5095–5101.
- [4] Rutishauser B.V., Pesonen M., Escher B.I., Ackermann G.E., Aerni H.-R., Suter M.J.F., Eggen R.I.L. (2004): Comparative analysis of estrogenic activity in sewage treatment plant effluents involving three *in vitro* assays and chemical analysis of steroids. *Environmental Toxicology & Chemistry* 23, 857–864.
- [5] Lienert J., Bürki T., Escher B.I. (submitted): Reducing micro-pollutants with source control: Substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in feces and urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007.
- [6] Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Lienert J. (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action based test battery and a QSAR approach. *Environmental Science & Technology* 40, 7402–7408.
- [7] Lienert J., Güdel K., Escher B.I. (submitted): Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. *Environmental Science & Technology*.



Tove A. Larsen, Chemie-Ingenieurin und Projektleiterin von Novaquatis
Koautoren: H.-P. Bader, H.-J. Mosler, W. Gujer, E. Medilanski, R. Scheidegger, D.-B. Huang, R. Schertenleib

Was man in China schon immer wusste

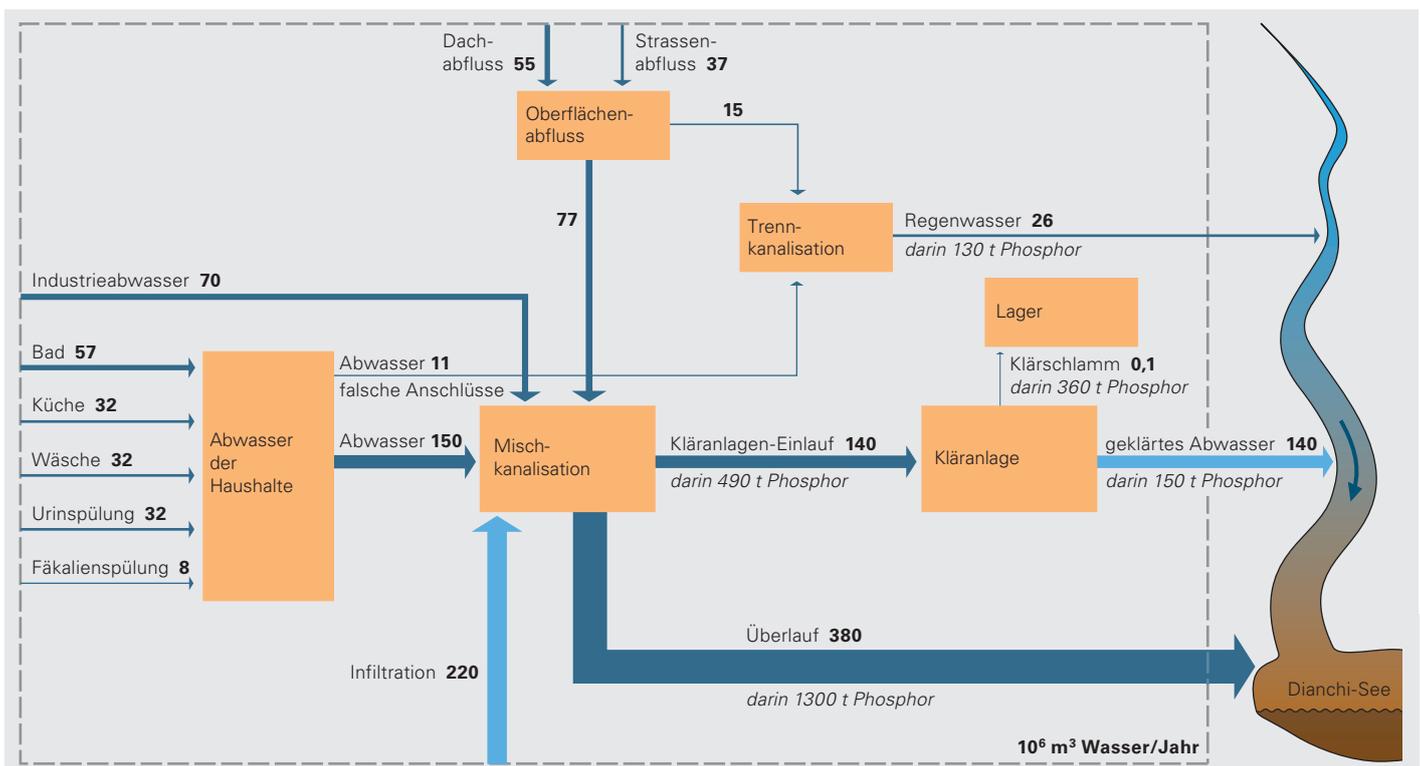
Kunming, Zürichs chinesische Partnerstadt, will ihr Abwasserproblem in den Griff bekommen. Basierend auf dem Prinzip des Nährstoffrecyclings, das in China eine lange Tradition hat, hilft die Eawag vor Ort, geeignete Massnahmen im technischen sowie im sozialen Bereich zu finden.

Die mehrere Millionen Einwohner zählende Stadt Kunming erhält ihr Trinkwasser grösstenteils aus dem Dianchi-See. Doch dieser flache See ist stark mit Phosphor überdüngt. Grund sind die Abwässer aus der Stadt und der regionalen Landwirtschaft, die in den See geleitet werden. Bereits seit einiger Zeit drosselt die Stadt die Trinkwasserentnahme aus dem See kontinuierlich und wird sie wohl in naher Zukunft ganz stoppen. Diese prekäre Situation veranlasste die Behörden, die Wiederherstellung der Wasserqualität von 1960 zu fordern. Die Frage ist jedoch, wie das Ziel erreicht werden kann, denn das System ist komplex und mögliche Massnahmen müssen auf technischer und gesellschaftlicher Ebene greifen.

Problemlösung durch Massnahmen an der Quelle? Massnahmen an der Quelle sind wichtige Alternativen zu den konventionellen Reinigungstechnologien. In China hat das Nährstoffrecycling eine lange Tradition und in ländlichen Gegenden wird Urin seit langem als Dünger verwendet. Wäre die Urinseparierung also eine mögliche Massnahme, die Wasserqualität im Dianchi-See zu verbessern? Dies untersuchte die Eawag vor Ort in einem dreiteiligen Projekt, das vom Schweizer Programm «NCCR Nord-Süd» [1] finanziert wurde. Es ging darum,

- ▶ die Abwasserflüsse in Kunming zu analysieren und den Erfolg möglicher Massnahmen zu simulieren,

Abb. 1: Abwasserflüsse in Kunming im Jahr 2000. Angaben in 10^6 m^3 pro Jahr. Die wenigen lokalen Daten wurden durch Literaturdaten und Referenzdaten aus der Stadt Zürich ergänzt.



- ▶ die relevanten Stakeholder zur Akzeptanz von Massnahmen an der Quelle, zur Einführung der Urinseparierung sowie zu möglichen Entscheidungswegen zu befragen,
- ▶ ein Pilotprojekt mit Urin separierenden Trockentoiletten im ländlichen Gebiet zu lancieren.

Der Abwasserhaushalt von Kunming. Mit einem einfachen Stoffhaushaltsmodell, das wir für das Abwassersystem in Kunming entwickelten, wollten wir herausfinden, woher wie viele Nährstoffe kommen [2]. Es bildet die Wasser-, Stickstoff- und Phosphorflüsse sowie die wichtigsten Abwasserquellen ab:

- ▶ Haushalte (aufgeschlüsselt nach Herkunft: Bad, Küche, Waschen, Urin- und Fäkalien-spülung),
- ▶ Industrie,
- ▶ Abflüsse von Strassen und Dächern,
- ▶ Fremdwasser, vor allem Infiltration von Grund- und Flusswasser.

Abbildung 1 stellt die Wasserflüsse und Phosphorfrachten dar. Es zeigte sich, dass die Kapazitäten von Kanalisation und Kläranlagen sowie der technische Stand der Kläranlagen nicht ausreichen. Nur ca. 25% des in der Kanalisation gesammelten Abwassers werden in einer der sechs Kläranlagen gereinigt, der überwiegende Rest gelangt über Überläufe ungereinigt in den See. Verstärkt wird dieses Problem durch unerwünschtes Fremdwasser, das das Abwasser mindestens 1:1 verdünnt. Aus diesen Gründen fließen jährlich etwa 1600 von insgesamt 1960 t Phosphor aus der Stadt in den Dianchi-See. Laut einer Schätzung [3] dürften aber nicht mehr als 60 t Phosphor jährlich in den See eingetragen werden, will man die Wasserqualität von 1960 wieder herstellen. Ausgehend vom heutigen Verhältnis der Belastungen durch Stadt und Landwirtschaft von ca. 1:1 [4], wäre das angestrebte Ziel weniger als 30 t Phosphor pro Jahr aus der Stadt. Auch bei Berücksichtigung der grossen Datenunsicherheit ändert sich grundsätzlich nichts an diesen Aussagen.

Konkrete Massnahmen zur Verbesserung. Um geeignete Verbesserungs-massnahmen vorschlagen zu können, simulierten wir mit dem Stoffflussmodell verschiedene Alternativen [2]. Die beiden wichtigsten sind:

- ▶ BAT («best available technology»), d.h. Ausbau des Abwassersystems in Kunming auf den heutigen Stand der Technik, wie er z. B. in Zürich eingehalten wird: Verringerung der Infiltration, Beseitigung falscher Anschlüsse, Kapazitätserhöhung des Kanalsystems sowie beste Reinigungstechnik in den Kläranlagen. Durch die Anpassungen der Kanalisation ist diese Variante äusserst kostspielig und ausserordentlich schwierig zu erreichen.
- ▶ BAT plus Urinseparierung, wobei zwei Drittel der Haushalte mit Urin separierenden Toiletten ausgerüstet wären.

Bei beiden Varianten geht die Phosphorfracht stark zurück. Trotzdem würden bei Variante BAT noch 56 t Phosphor jährlich aus der Stadt in den Dianchi-See fließen. Durch diese End-of-pipe-Technik alleine kann also die angestrebte Wasserqualität nicht erreicht werden. Unterstützend wäre, einen Teil des geklärten Abwassers anders abzuleiten und nicht mehr in den Dianchi-See zu führen. Allerdings bekäme der See dann nicht mehr genügend



Abb. 2: Zwei Urin separierende Sanitärsysteme: Trockentoilette (links) und NoMix-Toilette mit Wasserspülung (rechts).

Wasser, was wiederum negative ökologische Auswirkungen hätte. Es gibt also keine einfache Lösung, vielmehr braucht es kombinierte Massnahmen. Die Simulation zeigt, dass mit BAT und Urinseparierung nur noch 39 t Phosphor jährlich in den See gelangen würden. Da wir aber die BAT-Variante als eher unrealistisch einstufen, braucht es noch weitere Massnahmen an der Quelle, die Urinseparierung allein genügt nicht. Wichtig für ein erfolgreiches Umsetzen jeder Variante ist es, ihre Realisierbarkeit unter Einbezug aller Beteiligten sorgfältig abzuklären.

Was sagen die Stakeholder zur Urinseparierung? Vor der grossflächigen Einführung neuer Technologien müssen die relevanten Akteure mit ihren Interessen und Handlungsbereitschaften sowie die relevanten Entscheidungsabläufe bekannt sein. Deswegen führten wir eine vertiefte Stakeholderanalyse durch [5, 6]. 35 verschiedene Stakeholder aus Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft wurden identifiziert und auf ihr Interesse für Urin separierende Toiletten und ihren Einfluss bei der Einführung dieses WC-Systems charakterisiert. Schlüssel-Stakeholder haben den grössten Einfluss auf den Prozess. In diesem Fall sind das: der Kongress, die Regierung, die Kommunistische Partei, das Amt für den Schutz des Dianchi-Sees und die Umweltschutzämter auf Stadt- und Landesebene, aber auch Immobilienfirmen und das Stadtplanungsamt.

Der überwiegende Teil der Stakeholder hält Massnahmen an der Quelle vor allem bei Industrie- und Toilettenabwasser für notwendig und in den nächsten 20 Jahren auch für durchführbar. Insgesamt schätzten sie die technische Machbarkeit und die Auswirkungen der Urinseparierung auf die Umwelt sowie die soziale Akzeptanz und die institutionelle Flexibilität bei der Einführung als positiv ein. Auf die Frage, welche von zwei Urin separierenden Toiletensystemen (Abb. 2) die Stakeholder bevorzugen würden, favorisierten sie das NoMix-System mit Wasserspülung vor der kostengünstigeren Trockentoilette (Abb. 3). Allerdings wurde angemerkt, dass NoMix-WCs in China sicherlich preiswerter produziert werden könnten als in westlichen Ländern.

Wichtig: ein reibungsloser Entscheidungsprozess. Zur Stakeholderanalyse gehört auch, die Entscheidungsabläufe bei der Einführung der Urinseparierung genau zu kennen. Wie würden sie konkret aussehen, wollte man Urin separierende Toiletten in

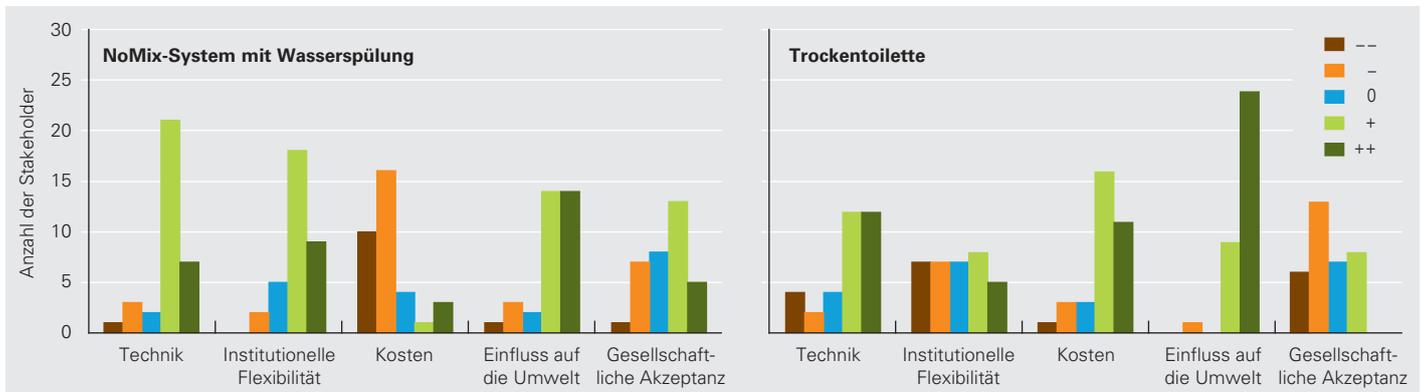


Abb. 3: Meinung der Stakeholder zu zwei verschiedenen Urin trennenden Toilettensystemen. Einstufung von sehr negativ (--) bis sehr positiv (++)

weiten Teilen der Stadt Kunming einführen? Dazu müsste das Landesumweltschutzamt in Zusammenarbeit mit dem Amt für den Schutz des Dianchi-Sees eine Eingabe bei der Landesregierung und dem Kongress machen. Wird die Eingabe prinzipiell gutgeheissen, bekäme das Institut für Umweltwissenschaften von Kunming zunächst den Auftrag, ein Pilotprojekt durchzuführen, das die Machbarkeit in kleinerem Rahmen studiert. Erst nach erfolgreichem Abschluss des Pilotprojekts könnte das Amt für den Schutz des Dianchi-Sees die Urinseparierung im grossen Stil einführen.

Auffallend ist die bestehende institutionelle Flexibilität: Obwohl das Gesetz eigentlich die zentrale Abwasserreinigung vorschreibt, ist es aufgrund des bestehenden Fünfjahresplans durchaus möglich, auch in der Stadt innovative Pilotprojekte durchzuführen.

Pilotprojekt: Urin separierende Toiletten im ländlichen Gebiet.

Das Institut für Umweltwissenschaften von Kunming lancierte gemeinsam mit der Eawag ein Pilotprojekt mit über 100 Urin separierende Trockentoiletten in einem ländlichen Gebiet an der Peripherie von Kunming [7]. Die Erfahrungen waren durchaus positiv, zeigen aber auch, welche Widerstände und Probleme bei einer breiten Einführung zu erwarten sind. Eine quantitative Untersuchung zur Zufriedenheit mit der Technologie [8] belegt, dass erst rund 40% der Bewohner und Bewohnerinnen die Trockentoiletten benutzen; diese waren aber überwiegend zufrieden damit. Als Hauptproblem wird die Platzfrage angegeben, wobei man die Toiletten am liebsten draussen, möglichst sogar ausserhalb des eigenen Grundstücks platzieren möchte. Hier spielt sicher auch die Angst vor Geruchsproblemen eine Rolle.

Durch Hartnäckigkeit und Mut zur nachhaltigen Lösung.

Insgesamt zeigt sich, dass die Urinseparierung in Kunming einen wichtigen Beitrag zur Lösung des Abwasserproblems leisten kann, wobei für ländliche und urbane Gebiete vermutlich unterschiedliche Lösungen benötigt werden. Es ist aber auch klar, dass die Stadt Kunming die Sanierung des Sees aufgrund des grossen Bevölkerungsdrucks vorantreibt. Für diese äusserst anspruchsvolle Aufgabe gibt es keine Standardlösung; weder der Ausbau

des Abwassersystems in Kunming auf den heutigen Stand der Technik kombiniert mit einer Umleitung des gereinigten Abwassers noch die Urinseparierung allein löst das Problem des Dianchi-Sees. Eine Kombination von Massnahmen wird nötig sein und es braucht einen langen Atem und sehr viel Mut zum Experiment, um die richtigen Lösungen zu entwickeln und zu erproben, bevor sie grossflächig umgesetzt werden können. ○ ○ ○

- [1] www.nccr-north-south.unibe.ch. Die «Swiss National Centres of Competence in Research» (NCCR) sind Forschungsinstrumente des Schweizer Nationalfonds. Der NCCR-Nord-Süd wird von der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) mitfinanziert.
- [2] Huang D.-B., Bader H.-P., Scheidegger R., Schertenleib R., Gujer W. (in press): Confronting Limitations: new solutions required for urban water management in Kunming City. *Journal of Environmental Management*.
- [3] Grey A.V., Li W. (1999): Case study on water quality modelling of Dianchi Lake, Yunnan Province, South West China. *Water Science and Technology* 40 (2), 35–43.
- [4] Liu, Y. (2005): Phosphorus flows in China: physical profiles and environmental regulation. Dissertation Wageningen University, Netherlands, 177 p.
- [5] Medilanski E., Chuan L., Mosler H., Schertenleib R., Larsen T.A. (2006): Wastewater management in Kunming, China: feasibility and perspectives of measures at the source from a stakeholder point of view. *Environment and Urbanization* 18, 353–368.
- [6] Medilanski E., Chuan L., Mosler H., Schertenleib R., Larsen T.A. (in press): Identifying the institutional decision process to introduce decentralized sanitation in the city of Kunming (China). *Environmental Management*.
- [7] Kunming Institute of Environmental Science (2005): Implementation, monitoring and promotion of urine-separating dry toilets in Zhonghe Village, Kunming, China. Final Report. Erhältlich per Internet, siehe [1].
- [8] Chuan L., Ronghuai L., Jinming F., Morel A., Medilanski E. (2005): Social acceptance of urine-diverting dry toilets in Zhonghe Village, Kunming, China. Result of the survey. Erhältlich per Internet, siehe [1].

Urinnutzung: erste Praxiserfahrungen

Die Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft startete 2002 einen Pilotversuch zur Separation und Verwertung von Urin. Die Hauptziele waren: die Praxistauglichkeit alternativer Entwässerungssysteme zu prüfen, Nährstoffkreisläufe zu schliessen und den Wasserkreislauf von Problemstoffen zu entlasten.

Seit Juni 2005 werden mit Urin aus der Kantonsbibliothek Liestal wöchentlich 20–30 Liter schadstofffreier Flüssigdünger «Urevit» produziert. Vom Bundesamt für Landwirtschaft liegt eine provisorische Düngerbewilligung vor.

Unser Erkenntnisgewinn:

► **Sammlung:** Die NoMix-WCs weisen bezüglich Hygiene, Benutzung und Unterhalt Defizite auf. Hier gibt es Entwicklungsbedarf. Die wasserlosen Urinale sind etabliert. Aufgrund von Geruchsemissionen muss der Standort des Urinspeichers sorgfältig geplant werden.

► **Aufbereitung:** Zum Schutz der Membranen in der Elektrodialyse ist eine Ultrafiltration vorgeschaltet. Die Nährstoffe werden um den Faktor 4 aufkonzentriert. Es sind keine Spurenstoffe mehr nachweisbar.

► **Verwertung:** Urevit ist ein hochwertiger Dünger für die Landwirtschaft. Die Ausgasung von Ammoniak erfordert gegenüber Kunstdünger einen höheren Aufwand bei der Ausbringung. Im Zierpflanzenbau müssen Ausgasung und hoher Salzgehalt beachtet werden.

Durch Urinseparation können die gesetzten Ziele erreicht werden. Allerdings ist die Anlage erst in der Entwicklung und darum sind die Produktionskosten für Urevit zurzeit noch höher als für Kunstdünger. Wir verfolgen die Technologie trotzdem weiter, werden uns aber auf Gebäude mit speziellem Abwasser (Spitäler) oder mit grossen Urinmengen (Stadien) konzentrieren. ○ ○ ○



Toni von Arx, Leiter des Amts für Industrielle Betriebe AIB, Kanton Basel-Landschaft

NoMix kann Ozeane sanieren

UNEP, die Umweltbehörde der Vereinten Nationen warnt: Seit 2004 hat die Zahl der toten Zonen in den Weltmeeren von 150 auf über 200 zugenommen. Alle 10 Jahre verdoppeln sie sich und gefährden schon heute die Entwicklung der Fischpopulationen im gleichen Masse wie die Überfischung. Tote, sauerstoffarme Zonen entstehen als Folge der Eutrophierung der Meere mit Stickstoff und Phosphor.

Um die Schwemmkanalisation aufzubauen, haben wir in den Industrieländern ca. 100 Jahre gebraucht und damit viele Gewässerschutzprobleme erst geschaffen. Über 50 Jahre hat der Aufbau wirksamer Kläranlagen gedauert; eine Arbeit, die bei weitem nicht abgeschlossen ist, denn immer noch fließen zu viele Nährstoffe in die Meere.

Übertragen auf die rasant zunehmende urbane Weltbevölkerung würde unser Sanitärsystem die Eutrophierung der Meere ins Unermessliche steigern. Jede spätere Sanierung wäre teuer und langwierig und käme voraussichtlich zu spät. Novaquatis stellt eine mögliche Alternative zur Verfügung. Sie erlaubt nicht nur, Nährstoffe zurückzuhalten und erneut zu nutzen, sondern hilft gleichzeitig, kostbares Wasser zu sparen und weitere Vorteile zu realisieren.

Nur wenn wir in den Industrieländern demonstrieren, dass Massnahmen an der Quelle höchsten hygienischen und ästhetischen Ansprüchen genügen, können wir entsprechende Technologien exportieren. Damit werden die Meere und unsere eigenen Gewässer spürbar entlastet, und zudem können wir gemeinsam mit der Schweizer Industrie ein attraktives Exportprodukt entwickeln. Es liegt also vorerst an uns, neue Systeme zu konzipieren und sie konsequent zu nutzen. Nur so kommen auch in Zukunft in allen Ländern noch genügend Fische auf den Tisch. ○ ○ ○



Willi Gujer, Mitglied der Eawag-Direktion, Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich

Gefordert ist nun die Praxis

Novaquatis zeigt es eindrücklich: die Abwasserentsorgung könnte ganz anders aussehen, als wir es gewohnt sind. Das Projekt stellt Herkömmliches in Frage und regt zum Nachdenken darüber an, wie die Welt der Abwasserentsorgung auch aussehen könnte. Schon dies allein macht das Projekt zu einem grossen Gewinn.

Eine der grossen Herausforderungen bei der Urinseparation ist die Frage, wie und wo die mit dem Urin anfallenden Nährstoffe in Düngestoffe umgewandelt werden. Neue Transportleitungen für den Urin oder der Abtransport mit Tankfahrzeugen scheinen zunächst nicht sehr attraktiv. Doch sähe die Sache bereits anders aus, wenn der Abtransport mit der Kehrrichtentsorgung kombiniert würde. Ebenso reizvoll ist der Gedanke, dass die Umwandlung dezentral erfolgen könnte.

Es ist wichtig, dass die viel versprechenden Lösungen, die durch Novaquatis erarbeitet wurden, Einzug finden in die Praxis. Die Behörden müssen sich einlassen auf Bauvorhaben mit diesen neuen Technologien, auch wenn sie naturgemäss in der heutigen Gesetzgebung (noch) nicht vorgesehen sind. Und die Industrie muss vermehrt mitwirken bei der Entwicklung und Produktion der neuen Technologien.

Abwasserentsorgung ist zum Glück kein theoretisches Gebilde, mit dem sich nur Wissenschaft und Forschung beschäftigen. Im Gegenteil: Das Thema geht uns alle an. Dass die Neuerungen ankommen, davon konnte ich mich beim Besuchstag des abwasserlosen Hauses in Zuchwil überzeugen, wo sich lange Warteschlangen bildeten. Die Voraussetzungen sind also gut, dass sich in der Abwasserentsorgung etwas bewegt. Grundlagen und erste Erfahrungen liegen vor. Loten wir aus, wo die Chancen und Grenzen der Urinseparation liegen. ○ ○ ○



Martin Würsten, Leiter Abteilung Wasser, Amt für Umwelt Solothurn, Präsident des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA

Novaquatis-Publikationen

Unvollständige Literaturliste; siehe auch www.novaquatis.eawag.ch. Weitere Publikationen werden 2007 erscheinen. Viele Publikationen sowie der Novaquatis-Schlussbericht (in Deutsch und Englisch) können unter novaquatis@eawag.ch bestellt werden.

Publikationen in internationalen Fachzeitschriften

Borsuk M.E., Lienert J., Maurer M., Larsen T.A. (in preparation): Using decision analysis to chart a path for innovative toilet technology. *Decision Analysis*.

Escher B.I., Eggen R.I.L., Schreiber U., Schreiber Z., Vye E., Wisner B., Schwarzenbach R.P. (2002): Baseline toxicity (narcosis) of organic chemicals determined by *in vitro* membrane potential measurements in energy-transducing membranes. *Environmental Science & Technology* **36**, 1971–1979.

Escher B.I., Bramaz N., Eggen R.I.L., Richter M. (2005): *In vitro* assessment of modes of toxic action of pharmaceuticals in aquatic life. *Environmental Science & Technology* **39**, 3090–3100.

Escher B.I., Bramaz N., Maurer M., Richter M., Sutter D., von Känel C., Zschokke M. (2005): Screening test battery for pharmaceuticals in urine and wastewater. *Environmental Toxicology and Chemistry* **24**, 750–758.

Escher B.I., Pronk W., Suter M. J.-F., Maurer M. (2006): Monitoring the removal efficiency of pharmaceuticals and hormones in different treatment processes of source-separated urine with bioassays. *Environmental Science & Technology* **40**, 5095–5101.

Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Lienert J. (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action-based test battery and a QSAR approach. *Environmental Science & Technology* **40**, 7402–7408.

Huang D.-B., Bader H.-P., Scheidegger R., Schertenleib R., Gujer W. (in press): Confronting limitations: new solutions required in urban water management in Kunming City. *Journal of Environmental Management*.

Huisman J.L., Burckhardt S., Larsen T.A., Krebs P., Gujer W. (2000): Propagation of waves and dissolved compounds in sewer. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* **126**, 12–20.

Krebs P., Larsen T.A. (1997): Guiding the development of urban drainage systems by sustainability criteria. *Water Science and Technology* **35** (9), 88–98.

Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* **34** (3–4), 87–94.

Larsen T.A., Gujer W. (1997): The concept of sustainable urban water management. *Water Science and Technology* **35** (9), 3–10.

Larsen T.A., Gujer W. (2001): Waste design and source control lead to flexibility in wastewater management. *Water Science and Technology* **43** (5), 309–318.

Larsen T.A., Peters I., Alder A., Eggen R., Maurer M., Muncke J. (2001): Re-engineering the toilet for sustainable waste-water management. *Environmental Science & Technology* **35**, 192A–197A.

Larsen T.A., Lienert J., Joss A., Siegrist H. (2004): How to avoid pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Biotechnology* **113**, 295–304.

Larsen T.A., Maurer M., Udert K.M., Lienert J. (submitted): Nutrient cycles and resource management: Implications for the choice of wastewater treatment technology. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, March 2007.

Lienert J., Larsen T.A. (2006): Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* **40**, 4838–4844.

Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* **48** (1), 47–56.

Lienert J., Thiemann K., Kaufmann-Hayoz R., Larsen T.A. (2006): Young users accept NoMix toilets – a questionnaire survey on urine source separating toilets in a college in Switzerland. *Water Science and Technology* **54** (11–12), 403–412.

Lienert J., Bürki T., Escher B.I. (submitted): Reducing micropollutants with source control: Substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in feces and urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, March 2007.

Lienert J., Güdel K., Escher B.I. (submitted): Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. *Environmental Science & Technology*.

Maurer M., Schwegler P., Larsen T.A. (2003): Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery. *Water Science and Technology* **48** (1), 37–46.

Maurer M., Rothenberger D., Larsen T.A. (2005): Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: at what cost are they

competitive? *Water Science and Technology: Water Supply* **5** (6), 145–154.

Maurer M., Pronk W., Larsen T.A. (2006): Treatment processes for source separated urine. *Water Research* **40**, 3151–3166.

Medilanski E., Chuan L., Mosler H.-J., Schertenleib R., Larsen T.A. (2006): Wastewater management in Kunming, China: a stakeholder perspective on measures at the source. *Environment and Urbanization* **18**, 353–368.

Medilanski E., Chuan L., Mosler H.-J., Schertenleib R., Larsen T.A. (in press): Identifying the institutional decision process to introduce decentralized sanitation in the city of Kunming (China). *Environmental Management*.

Pahl-Wostl C., Schönborn A., Willi N., Muncke J., Larsen T.A. (2003): Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* **48** (1), 57–65.

Pronk W., Biebow M., Boller M. (2006): Electrodialysis for recovering salts from a urine solution containing micropollutants. *Environmental Science & Technology* **40**, 2414–2420.

Pronk W., Biebow M., Boller M. (2006): Treatment of source-separated urine by a combination of bipolar electrodialysis and a gas transfer membrane. *Water Science and Technology* **53** (3), 139–146.

Pronk W., Palmquist H., Biebow M., Boller M. (2006): Nanofiltration for the separation of pharmaceuticals from nutrients in source-separated urine. *Water Research* **40**, 1405–1412.

Pronk W., Zuleeg S., Lienert J., Escher B., Koller M., Berner A., Koch K., Boller M. (submitted): Pilot experiments with electrodialysis and ozonation for the production of a fertilizer from urine. *Water Science and Technology*. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, March 2007.

Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* **37**, 681–689.

Ronteltap M., Maurer M., Gujer W. (2007): Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. *Water Research* **41**, 977–984.

Rossi L., Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Real-life efficiency of urine source separation: experience from households and an institutional setting. *Water Research*.

Spörri C., Peters I., Larsen T.A., Reichert P. (in preparation): A microsimulation model for optimizing urine tank management strategies of NoMix toilets. *Water Research*.

Udert K.M., Fux C., Münster M., Larsen T.A., Siegrist H., Gujer W. (2003): Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine. *Water Science and Technology* 48 (1), 119–130.

Udert K.M., Larsen T.A., Biebow M., Gujer W. (2003): Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research* 37, 2571–2582.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply* 3 (3), 71–78.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37, 2667–2677.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2005): Chemical nitrite oxidation in acid solutions as a consequence of microbial ammonium oxidation. *Environmental Science & Technology* 39, 4066–4075.

Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W. (2006): Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 413–420.

Wilsenach J.A., Maurer M., Larsen T.A., van Loosdrecht M.C.M. (2003): From waste treatment to integrated resource management. *Water Science and Technology* 48 (1), 1–9.

Andere Publikationen

Abegglen C., Maurer M. (2003): Nitrifikationskapazität der ARA Arosa. *Eawag Jahresbericht* 2002, 22–23.

Gilg R., Lienert J. (2003): News from Swiss Novaquatis Project. *EcoEng Newsletter* No. 7: www.iees.ch/EcoEng031/EcoEng031_Novaquatis.html.

Huang D.B., Schertenleib R., Siegrist H., Larsen T.A., Gujer W. (2004): Assessment method for evaluating existing and alternative measures of urban water management. In: «ecosan – closing the loop» Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation in Lübeck 2003. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 749–756.

Kaufmann-Hayoz R. (2002): Mülltrennung und Recycling auch beim Abwasser? *Universität Bern – Porträt einer schweizerischen Hochschule* 4, 33.

Koch G. (2001): Separate Urinentsorgung – die Revolution am «stillen Örtchen». *Bau- und Umweltzeitung* (Informationen aus der Bau- und Umweltschutzdirektion).

Koch G. (2002): BL Revolution auf dem WC. *Umwelt BUWAL*

Koch G. (2002): Urinabtrennung in der neuen Kantonsbibliothek. *Bau- und Umwelt Zeitung* (Informationen aus der Bau- und Umweltschutzdirektion).

Kühni M., Koch G., Ott E. (2002): Zukunftsweisende Sanitär- und Abwassertechnik – erstes Pilotprojekt der Schweiz für Urinseparierung, -speicherung und -steuerung im technischen Massstab. *Gas Wasser Abwasser* 11, 827–835.

Larsen T.A., Udert K.M. (1999): Urinseparierung – ein Konzept zur Schliessung der Nährstoffkreisläufe. *Wasser & Boden* 51, 6–9.

Larsen T.A., Gujer W. (1999): Tackling problems at the source – even in the household. *Eawag news* 48, 6–7.

Larsen T.A. (1999): Nährstoffkreisläufe in der Siedlungswasserwirtschaft – Technische Möglichkeiten von Eliminations- und Recyclingverfahren. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 19, 8–10.

Larsen T.A. (2000): Revolution im Badezimmer – Das WC der etwas anderen Art. *Frauenzeitung (FRAZ)* 3/4/5, 31.

Larsen T.A. (2000): Revolution im Badezimmer – Das WC der etwas anderen Art. *Forum Hauswirtschaft* 10, 23–24.

Larsen T.A., Boller M. (2001): Perspectives of nutrient recovery in DESAR concepts. In: Lens P., G. Zeeman, G. Lettinga (Eds), *Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation*. Integrated Environmental Technology Series. IWA Publishing, p. 387–410.

Larsen T.A., Rauch W., Gujer W. (2001): Waste design paves the way for sustainable urban wastewater management. Proceedings of the International UNESCO Symposium «Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope?» UNESCO, Paris, p. 219–229.

Larsen T.A., Gujer W. (2001): Elimination von Mikroverunreinigungen – Mit Massnahmen an der Quelle zu mehr Flexibilität in der Abwasserreinigung. *Gas Wasser Abwasser* 3, 159–166.

Larsen T.A., Alder A., Eggen R.I., Maurer M., Muncke J., Peters I. (2001): Trenn-WC auf dem Prüfstand – das Projekt Novaquatis. *Eawag-Jahresbericht* 2000, 7–11.

Larsen T.A., Alder A., Eggen R.I., Maurer M., Muncke J., Peters I. (2001): Testlauf im Kraftwerk1. *Magazin Uni Zürich und Bulletin der ETH Zürich* 281, 47–49.

Larsen T.A., Gujer W. (2002): Waste design, source control und on-site-Technologien: Der Weg zu einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft. *KA – Wasserwirtschaft Abwasser Abfall* 49, 1372–1379.

Larsen T.A., Lienert J. (2003): Societal implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online* : www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm

Larsen T.A., Lienert J. (2004): Coping with micro-pollutants in urine-based fertilizer. Proceedings of the DeSa/R Symposium, Berching/Opf., Germany, «DeSa/R – Means to achieve the millenium goal for sanitation», p. 155–169.

Larsen T.A., Lienert J., Maurer M., Gujer W. (2005): Ökologische Infrastrukturinnovationen in der Siedlungswasserwirtschaft: Ansätze und Perspektiven. In: Loske R., R. Schaeffer (Hrsg.) *Die Zukunft der Infrastrukturen – Intelligente Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung*. Metropolis-Verlag, Marburg, S. 347–367.

Lienert J., Larsen T.A. (2002): Urinseparierung – eine Alternative für die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft? *Gas Wasser Abwasser* 11, 819–826.

Lienert J., Larsen T.A. (2003): NoMix-Technologie: Wie gut ist die Akzeptanz? *EAWAG news* 57, 14–17.

Lienert J. (2003): Novaquatis – Ein Forschungsprojekt der Eawag. Schriftliches Interview mit Judit Lienert. *Novatlantis (Nachhaltigkeit im ETH Bereich)*. *Novatlantis News*.

Lienert J., Larsen T.A. (2004): Introducing urine separation in Switzerland: NOVAQUATIS, an interdisciplinary research project. In: «ecosan – closing the loop» Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation in Lübeck 2003. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 891–899.

Lienert J., Larsen T.A. (2005): Making the first step towards a more sustainable urban water management system – with the NoMix toilet. *European Water Day, 84th ASTEE congress, Paris, France*.

Lienert J., Larsen T.A. (2006): Novaquatis – a building block for innovative sanitation technology. In: Lanz K., L. Müller, C. Rentsch, R. Schwarzenbach (Eds.) *Who owns the water?* Lars Müller Publishers, Baden, Switzerland, p. 380–381.

Lienert J., Larsen T.A. (2006): Novaquatis, a cross-cutting research project from Switzerland. Why we consider urine source separation. Abschlussseminar des EU-Demonstrationsvorhabens SCST (Sanitation Concepts for Separate Treatment); Kompetenz-Zentrum Wasser Berlin.

Lienert J., Larsen T.A. (submitted): Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals.

Maurer M., Muncke J., Larsen T.A. (2002): Technologies for nitrogen recovery and reuse. In: Lens P., L. Hulshoff Pol, P. Wilderer, T. Asano (Eds.), *Water Recycling and Resource Recovery*

in Industry: Analysis, Technologies and Implementation. IWA Publishing, p. 491–510.

Maurer M., Schwegler P. (2003): Stickstoff rezyklieren oder eliminieren – Ökobilanzvergleich von Urinseparation und Denitrifikation. Eawag-Jahresbericht 2002, 71–72.

Maurer M. (2003): Nährstoffrecycling in der Siedlungsentwässerung. PUSCH Praktischer Umweltschutz Schweiz, Zürich, Thema Umwelt 2, 6–7.

Muncke J., Maurer M. (2001): Paradigmawechsel in der Toilette – Probleme beim Gewässerschutz führen zu einem Überdenken der heutigen Abwasserentsorgung. Gebäudetechnik 6, 60–61.

Muncke J., Maurer M. (2001): Urin separat sammeln; NoMix – die Toilette der Zukunft? Umwelt Focus 5, 13–17.

Muncke J., Maurer M. (2001): Abwasserentsorgung: Heutige Probleme und Wege in die Zukunft. die stadt – les villes (Zeitschrift des schweizerischen Städteverbands, SSV, Bern) 6, 21–21.

Muncke J., Maurer M. (2002): Vor einem Paradigmawechsel bei der Toilette. Haus Tech S. 38–39.

Muncke J., Maurer M. (2002): Changement de paradigme dans les toilettes. Batitech.

Peters I., Brassel K.-H., Spörri C. (2002): A micro-simulation model for assessing urine flows in urban wastewater management. In: Rizzoli, A.E., A.J. Jakemann (Eds), Integrated Assessment and Decision Support. Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, p. 508–513.

Peters I., Brassel K.-H., Spörri C. (2002): Modelling the diffusion of urine source separation technology. Presented at the Annual Meeting of the Regional Science Association International, British and Irish section, Brighton, UK.

Pronk W. (2005): Urinbehandlung mit Ozonung und Elektrodialyse, Novatlantis News Update.

Pronk W., Lienert J., Boller M. (2006): Siedlungswasserwirtschaft: Ein Pilotprojekt geht neue Wege. Novatlantis News Update Nr. 6.

Pronk W., Biebow M., Boller M. (2004): Assessment of processing alternatives for source-separated urine. Proceedings of the 4th IWA World Water Congress and Exhibition, Marrakech, Morocco.

Ronteltap M., Biebow M., Maurer M., Gujer W. (2004): Thermodynamics of struvite precipitation in source separated urine. In: «ecosan – closing the loop» Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation in Lübeck 2003. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 463–470.

Rossi L., Lienert J., Rauch W. (2004): At-source control of urine to prevent acute wet-weather impacts of ammonia. Presented at 5th International

Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (NOVATECH). Proceedings, Vol 2, Lyon, France, p. 919–926.

Simons J., Lienert J., Clemens J. (2006): Phosphorous-Availability from substrates of conventional and non-conventional waste water treatment systems. Proceedings of the IWA (International Water Association) World Water Congress, Beijing, China.

Udert K.M., Högger R., Larsen T.A., Gujer W. (2004): Urinausfällungen in Urinalen und NoMix-Toiletten. Vereinigung Schweizerischer Sanitär- und Heizungsfachleute; Installateur 11, 46–48.

Udert K.M., Högger R., Larsen T.A., Gujer W. (2004): Fällungsprodukte in Urinalen und NoMix-Toiletten. Gas Wasser Abwasser 12, 913–920.

Udert K.M., Lienert J., Larsen T.A. (2006): Novaquatis – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Gewässerschutz – Wasser – Abwasser 204. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 19/1–19/4.

Dissertationen, Diplom- und Semesterarbeiten

Abegglen C., Haag S. (2002): Nitrifikationskapazität der ARA Arosa. Diplomarbeit am Institut für Hydrodynamik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Biebow M. (2002): Optimierung der Phosphat-ausfällung in urinhaltigen Lösungen. Diplomarbeit am Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der Technischen Universität Dresden/Eawag.

Bill C., Wüthrich R. (2003): Abbau von Östrogen in Urin, Diplomarbeit am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Bumann A. (2006): Modeling the distribution of different pharmaceuticals in a river. Semester thesis in the Safety and Environmental Technology Group of ETH Zürich/Eawag.

Brockmann D. (2001): Entwicklung eines stochastischen Modells zur Simulation der NoMix Technologie. Diplomarbeit Eawag/Universität Kaiserslautern Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft.

Elmer P. (2000): Waste design durch Urinseparation. Diplomarbeit am Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Haller, M. (2000): Düngeverhalten von Bio- und IP-Landwirten. Umfrage zur Akzeptanz des Projektes Novaquatis. Semesterarbeit am Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Hausherr R. (2004): Dünger aus Urin? Einfluss von pH und Temperatur auf die Partikelgrößenverteilung von Struvit. Diplomarbeit am Institut

für Hydrodynamik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich/Eawag.

Mayer, M. (2001): Verfahrenstechnische Auslegung einer Urin-Eindampfanlage. Diplomarbeit an der Fachhochschule beider Basel, Muttenz/Eawag.

Richter M. (2003): Ökotoxikologische Risikobewertung von Pharmaka in Urin nach Behandlung im Bioreaktor und durch Membranfiltration, Diplomarbeit an der Hochschule Anhalt (FH), Hochschule für angewandte Wissenschaften Bernburg-Dessau-Köthen, Eawag und Hochschule Wädenswil.

Ronteltap M. (planned for 2007): Precipitation of phosphate compounds during the processing of source separated urine. Dissertation ETH Zürich/Eawag.

Schmidtke J. (2004): Marktpotential der Trenntechnologie in den neuen Bundesländern. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden/Eawag.

Schwegler P. (2002): Vergleich der konventionellen Abwasserreinigung und der Urinseparation zur Stickstoffelimination mittels Ökobilanzen. Diplomarbeit an der Fachhochschule beider Basel, Muttenz/Eawag.

Sutter D., Zschokke M. (2003): Abbau von Östrogenen und Pharmaka in Urinbioreaktoren, Diplomarbeit am Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Thiemann K. (2006): Neue Dinge für eine nachhaltige Entwicklung. Ansätze zu einer Kulturpsychologie nachhaltigen Produktdesigns. Doktorarbeit an der Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern, Schweiz.

Tobler N., Niederer C. (2001): Ökotoxikologische Bewertung von Pharmazeutika. Semesterarbeit am Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Udert K.M. (2003): The fate of nitrogen and phosphorus in source-separated urine. Dissertation at the Institute for Hydrodynamics and Water Management, ETH Zürich/Eawag.

von Känel C. (2002): Extraktion von Pharmazeutika aus Urin und deren Toxizitätsmessung mit Hilfe von zwei biologischen Testsystemen, Diplomarbeit am Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich/Eawag.

Zuleeg S. (2005): Entfernung von Mikroverunreinigungen aus Urin mittels Ozonung. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden/Eawag.

Publikationen

Die hier aufgelisteten und alle älteren Eawag-Publikationen können als PDF-Dateien heruntergeladen werden: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>
Suche nach Autor, Titel oder Stichwort möglich. Bei Problemen: bibliothek@eawag.ch

- [04666] **Escher B.I., Quayle P., Muller R., Schreiber U., Mueller J.F.** (2006): Passive sampling of herbicides combined with effect analysis in algae using a novel high-throughput phytotoxicity assay (Maxi-Imaging-PAM). *Journal of Environmental Monitoring* 8, 456–464.
- [04667] **Rothenberger S., Zurbrugg C.** (2006): Decentralised composting for cities of low- and middle-income countries. In: Anonymous Waste Concern, Dhaka, Bangladesh and Eawag, Dübendorf, Switzerland, 108 pp.
- [04668] **Schwarzenbach R.P., Escher B.I., Fenner K., Hofstetter T.B., Johnson C.A., von Gunten U., Wehrli B.** (2006): The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science* 313, 1072–1077.
- [04669] **Köhler A., Hellweg S., Escher B.I., Hungerbühler K.** (2006): Organic pollutant removal versus toxicity reduction in industrial wastewater treatment: The example of wastewater from fluorescent whitening agent production. *Environmental Science & Technology* 40, 3395–3401.
- [04670] **Gianella S., Maurer M.** (2006): Infrastrukturmanagement. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 9, 733–742.
- [04671] **Gianella S., Gujer W.** (2006): Nachführungsstrategie für Infrastrukturdaten. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 11, 887–894.
- [04672] **Wanner O., Eberl H.J., Morgenroth E., Noguera D.R., Picioreanu C., Rittmann B.E., van Loosdrecht M.** (2006): Mathematical modeling of biofilms. In: Anonymous IWA Publishing, London, UK, 208 pp.
- [04673] **Yang H., Wang L., Abbaspour K.C., Zehnder A.J.B.** (2006): Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrology and Earth System Sciences* 10, 443–454.
- [04674] **Hostmann M.** (2006): Einbezug der Akteure bei Wasserbauprojekten: Schwierigkeiten und Chancen. *Ingenieurbiologie* 3, 11–15.
- [04675] **Markard J., Stadelmann M., Truffer B.** (2006): Analysis of innovation processes and development options: the case of biogas technology in Switzerland. *SPRU Conference on the Future of Science, Technology and Innovation Policy*, Brighton, UK, 11–13 September 2006, 16 pp.
- [04676] **Kourtidis K., Kioutsioukis I., McGinnis D.F., Rapsomanikis S.** (2006): Effects of methane outgassing on the Black Sea atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 5173–5182.
- [04677] **Brandl R.C., Bucheli T.D., Kupper T., Stadelmann F.X., Tarradellas J.** (2006): Optimised accelerated solvent extraction of PCBs and PAHs from compost. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 86, 505–525.
- [04678] **Blotvogel J., Reineke A.K., Hollender J., Held T.** (2006): Überwachung von NSO-Heterocyclen an Teeröl-kontaminierten Standorten. *Grundwasser* 4, 295–297.
- [04679] **Wilhelm S., Hintze T., Livingstone D.M., Adrian R.** (2006): Long-term response of daily epilimnetic temperature extrema to climate forcing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 2467–2477.
- [04680] **Jankowski T., Weyhenmeyer G.A.** (2006): The role of spatial scale and area in determining richness-altitude gradients in Swedish lake phytoplankton communities. *Oikos* 115, 433–442.
- [04681] **Fenner K., Canonica S., Escher B.I., Gasser L., Spycher S., Tülp H.C.** (2006): Developing methods to predict chemical fate and effect endpoints for use within REACH. *Chimia* 60, 683–690.
- [04682] **Jia S.F., Yang H., Zhang S.F., Wang L., Xia J.** (2006): Industrial water use Kuznets curve: Evidence from industrialized countries and implications for developing countries. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce* 132, 183–191.
- [04683] **Zurbrugg C., Diener S.** (2006): Larven fressen Müll – eine Alternative zur Kompostierung? *ISWA-CH Info* 4 S.
- [04684] **Fenner K., Escher B.I.** (2006): Umweltchemie und Ökotoxikologie im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis. *GAIA* 2, 121–126.
- [04685] **Klasmeier J., Matthies M., Macleod M., Fenner K., Scheringer M., Stroebe M., Le Gall A.C., McKone T., van de Meent D., Wania F.** (2006): Application of multimedia models for screening assessment of long-range transport potential and overall persistence. *Environmental Science & Technology* 40, 53–60.
- [04686] **Manser R., Gujer W., Siegrist H.** (2006): Decay processes of nitrifying bacteria in biological wastewater treatment systems. *Water Research* 40, 2416–2426.
- [04687] **Rieger L., Alex J., Gujer W., Siegrist H.** (2006): Modelling of aeration systems at wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 53 (4–5), 439–447.
- [04688] **Siegrist H., Joss A.** (2006): Leistung der heutigen Abwasserreinigung und innovative Ansätze für das zukünftige Design. *DWA Tagung «Elimination organischer Spurenstoffe und Mikroorganismen»*, Koblenz, Deutschland, 9 S.
- [04689] **Siegrist H., Joss A.** (2006): Leading-edge processes on urban wastewater treatment – Presentation of the European Project NEPTUNE. *ECOMONDO*, Rimini, Italy, 6 pp.
- [04690] **Siegrist H., Bassanello C.** (2006): Mess- und Regeltechnik auf der ARA. *VSA Fortbildungskurs 2006, Automatisierungstechnik der Abwasserentsorgung*, 61 S.
- [04691] **Dominguez D., Truffer B., Gujer W.** (2006): Driving forces in the long range development of wastewater treatment plants. *iEMS Third Biennial Meeting, «Summit on Environmental Modelling and Software»*. International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, 6 pp.
- [04692] **Burkhardt M.** (2006): Untersuchung zum Auswaschverhalten. *Schweizer Baujournal SBJ* 6, S. 44.
- [04693] **Koottatep T., Panuvatvanich A., Morel A.** (2006): Wastewater effluent polishing systems of anaerobic baffled reactor treating black-water from households. *7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems*, Mexico City, 8 pp.
- [04694] **Berg M., Pham T. K. T., Stengel C., Pham H.V., Tong N.T., Nguyen V.D., Giger W., Stüben D.** (2006): Hydrological and sedimentary controls leading to groundwater arsenic contamination in Southern Hanoi under a regime of high water abstraction. *National workshop on groundwater arsenic contamination in the Red River Plain, Hanoi, Vietnam*, 10 pp.
- [04695] **Dokulil M.T., Jagsch A., George G.D., Anneville O., Jankowski T., Wahl B., Lenhart B., Blenkner T., Teubner K.** (2006): Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 51, 2787–2793.
- [04696] **Diener S.** (2006): Eine Fliege als ökologischer Ingenieur. *Kompostforum Schweiz* 3 S.
- [04697] **Simons J., Lienert J., Clemens J.** (2006): Phosphorous-availability from substrates of conventional and non-conventional waste water treatment systems. *IWA (International Water Association) World Water Congress*, Beijing, China, 2 pp.
- [04698] **Barbante C. et al.** (2006): One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* 444, 195–198.
- [04699] **Canonica S., Hellrung B., Müller P., Witz J.** (2006): Aqueous oxidation of phenylurea herbicides by triplet aromatic ketones. *Environmental Science & Technology* 40, 6636–6641.

- [04700] **Gujer W.** (2006): Activated sludge modeling: past, present and future. *Water Science and Technology* 53 (3), 111–119.
- [04701] **Hug T., Gujer W., Siegrist H.** (2006): Modelling seasonal dynamics of «*Microthrix parvifera*». *Water Science and Technology* 54 (1), 189–198.
- [04702] **Reinhardt M., Müller B., Gächter R.** (2006): Retentionsweiher. Ein Beitrag zur Sanierung der Mittellandseen. *gwa* 86, 647–654.
- [04703] **Gianella S., Gujer W.** (2006): Improving the information governance of public utilities through an organizational knowledge base. The first world congress on engineering asset management (WCEAM), Gold Coast, Queensland, Australia, 12 pp.
- [04704] **Udert K.M., Lienert J., Larsen T.A.** (2006): Novaquatis – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. *Gewässerschutz – Wasser – Abwasser* 204, 19/1–19/14.
- [04705] **Udert K.M., Larsen T.A., Gujer W.** (2006): Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology* 54 (11–12), 413–420.
- [04706] **Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Lienert J.** (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action-based test battery and a QSAR approach. *Environmental Science & Technology* 40, 7402–7408.
- [04707] **Sharma P., Raina V., Kumari R., Malhotra S., Dogra C., Kumari H., Kohler H.P.E., Buser H.R., Holliger C., Lal R.** (2006): Haloalkane dehalogenase LinB is responsible for beta- and delta-hexachlorocyclohexane transformation in *Sphingobium indicum* B90A. *Applied and Environmental Microbiology* 72, 5720–5727.
- [04708] **Geueke B., Heck T., Limbach M., V.N., Seebach D., Kohler H.P.E.** (2006): Bacterial beta-peptidyl aminopeptidases with unique substrate specificities for beta-oligopeptides and mixed beta, alpha-oligopeptides. *Febs Journal* 273, 5261–5272.
- [04709] **Giger W., Schaffner C., Kohler H.P.E.** (2006): Benzotriazole and tolyltriazole as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes. *Environmental Science & Technology* 40, 7186–7192.
- [04710] **Yildirim S., Ruinatscha R., Gross R., Wohlgenuth R., Kohler H.P.E., Witholt B., Schmid A.** (2006): Selective hydrolysis of the nitrile group of cis-dihydrodiols from aromatic nitriles. *Journal of Molecular Catalysis B-Enzymatic* 38, 76–83.
- [04711] **Lienert J., Larsen T.A.** (2006): Novaquatis: Baustein für eine Sanitärtechnologie der Zukunft. In: Lanz K., L. Müller, C. Rentsch, R. Schwarzenbach (Hrsg.), *Wem gehört das Wasser?* Lars Müller Publishers, Baden, Schweiz, 380–381.
- [04712] **Hug S.J., Bahnemann D.** (2006): Infrared spectra of oxalate, malonate and succinate adsorbed on the aqueous surface of rutile, anatase and lepidocrocite measured with in situ ATR-FTIR. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 150, 208–219.
- [04713] **Ahmed M.F., Ahuja S., Alauddin M., Hug S.J., Lloyd J.R., Pfaff A., Pichler T., Saltikov C., Stute M., van Geen A.** (2006): Ensuring safe drinking water in Bangladesh. *Science* 314, 1687–1688.
- [04714] **Gianella S., Gujer W.** (2006): Modeling critical knowledge for information governance in public wastewater utilities. 7th International Conference on Hydroformatics, Nice, France, 8 pp.
- [04715] **Tockner K., Paetzold A., Karas U., Claret C., Zettl J.** (2006): Ecology of braided rivers. In: Sambrook Smith G.H., J.L. Best, C. Britton, G.E. Pett (Eds.), *Braided Rivers*, Blackwell Science, Oxford, UK, 339–359.
- [04716] **Trottmann N., Langhans S.D., Tockner K.** (2006): Schwemmgut als Ausbreitungsmedium. Das Innenleben eines unterschätzten Naturstoffs. *Wasser Energie Luft* 98, 153–159.
- [04734] **Rosenfeldt E.J., Linden K.G., Canonica S., von Gunten U.** (2006): Comparison of the efficiency of center dot OH radical formation during ozonation and the advanced oxidation processes O_3/H_2O_2 and UV/H_2O_2 . *Water Research* 40, 3695–3704.
- [04735] **Teodoru C., Dimopoulos A., Wehrli B.** (2006): Biogenic silica accumulation in the sediments of Iron Gate I Reservoir on the Danube River. *Aquatic Sciences* 68, 469–481.
- [04738] **Hartenbach A., Hofstetter T.B., Berg M., Bolotin J., Schwarzenbach R.P.** (2006): Using nitrogen isotope fractionation to assess abiotic reduction of nitroaromatic compounds. *Environmental Science & Technology* 40, 7710–7716.
- [04740] **Edmunds W.M., Ma J., Aeschbach-Hertig W., Kipfer R., Darbyshire D.P.F.** (2006): Groundwater recharge history and hydrogeochemical evolution in the Minqin Basin, North West China. *Applied Geochemistry* 21, 2148–2170.
- [04741] **Werth C.J., Cirpka O.A., Grathwohl P.** (2006): Enhanced mixing and reaction through flow focusing in heterogeneous porous media. *Water Resources Research* 42, W12414.
- [04742] **Lienert J., Thiemann K., Kaufmann-Hayoz R., Larsen T.A.** (2006): Young users accept NoMix toilets – a questionnaire survey on urine source separating toilets in a college in Switzerland. *Water Science and Technology* 54 (11), 403–412.
- [04744] **Jenny A., Fuentes F.H., Mosler H.J.** (2006): Psychological factors determining individual compliance with rules for common pool resource management: the case of a Cuban community sharing a solar energy system. *Human Ecology*, 12 pp.
- [04745] **Altherr A.M., Mosler H.J., Tobias R., Butera F.** (2006): Attitudinal and relational factors predicting the use of solar water disinfection: a field study in Nicaragua. *Health Education & Behavior* XX, 1–14.
- [04746] **Mosler H.J., Brucks W.M.** (2006): Kooperation und Wettbewerb in sozialen Dilemmas. In: Bierhoff H.W., D. Frey (Hrsg.), *Handbuch der Sozialpsychologie und Kommunikationspsychologie* (Handbuch der Psychologie, Band 3), Hogrefe, Göttingen, Deutschland, 677–683.
- [04747] **Jenny A., Díaz López J.R., Mosler H.J.** (2006): Household energy use patterns and social organisation for optimal energy management in a multi-user solar energy system. *Progress in Photovoltaics* 14, 353–362.
- [04748] **Mosler H.J.** (2006): Better be convincing or better be stylish? A theory based multi-agent simulation to explain minority influence in groups via arguments or via peripheral cues. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 9, 18 pp.
- [04750] **Leuz A.K., Mönch H., Johnson C.A.** (2006): Sorption of Sb(III) and Sb(V) to goethite: Influence on Sb(III) oxidation and mobilization. *Environmental Science & Technology* 40, 7277–7282.
- [04751] **Hormes A., Beer J., Schlüchter C.** (2006): A geochronological approach to understanding the role of solar activity on Holocene glacier length variability in the Swiss Alps. *Geografiska Annaler Series A-Physical Geography* 88A, 281–294.
- [04754] **Reinartz R., Bloesch J.** (2006): History and perspectives of «living fossils» (sturgeons) in the Danube River. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 29, 1703–1708.
- [04755] **Coops, H., Tockner, K., Amoros, C., Hein, T., Quinn, G.** (2006): Restoring lateral connections between rivers and floodplains: Lesson from rehabilitation projects. In: Anonymous *Ecological Studies*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 15–32.
- [04756] **Kallistova A.Y., Kevbrina M.V., Pimenov N.V., Rusanov I.I., Rogozin D.Y., Wehrli B., Nozhevnikova A.N.** (2006): Sulfate reduction and methanogenesis in the Shira and Shunet meromictic lakes (Khakasia, Russia). *Microbiology* 75, 720–726.

Brief der neuen Eawag-Direktorin



Dr. Janet G. Hering,
Eawag-Direktorin,
Professorin für Umwelt-
Biogeochemie an der ETHZ

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,
liebe Freunde der Eawag

Ich freue mich sehr über die Gelegenheit, mich bereits zu Beginn meiner Amtszeit als Direktorin der Eawag an Sie wenden zu können. Ich fühle mich sehr geehrt, für diese Stelle ausgewählt worden zu sein. Sie stellt für mich eine grosse berufliche Herausforderung dar, beinhaltet aber auch eine beträchtliche Verantwortung. Gleichwohl bin ich zuversichtlich, diese Aufgabe mit Hilfe der äusserst engagierten Eawag-Mitarbeitenden meistern zu können.

Vor nun fast zwanzig Jahre, hatte ich das Glück, erstmals an die Eawag kommen zu dürfen, um mit dem damaligen Direktor, Professor Werner Stumm, zu arbeiten. Unter seiner Führung etablierte die Eawag ihre weltweite Reputation als eines der führenden Forschungsinstitute im Bereich Umweltwissenschaften und -technologie. Die besondere Gewichtung der Grundlagenforschung wurde zum Markenzeichen der Eawag. Auch unter der Leitung des nächsten Direktors, Professor Alexander Zehnder, wurde weiterhin auf höchstem Niveau geforscht. Dabei wurde das Profil in den aquatischen Natur- und Ingenieurwissenschaften geschärft und

auf den Bereich der Sozialwissenschaften ausgeweitet. Gleichzeitig verstärkte die Eawag ihr internationales Engagement, insbesondere in den Entwicklungsländern. In jüngerer Vergangenheit profitierte die Eawag von Ueli Bundis Führung. Er trug dazu bei, die Forschungsaktivitäten der Eawag weiter zu fokussieren, in dem er die Handlungsfelder einführte, die nach innen und aussen klar sichtbar sind. Ein weiterer Erfolg seiner Amtszeit ist sicher auch der Bau und die Eröffnung des Forums Chriesbach, eines hervorragenden Beispiels grüner Architektur.

Nun bin ich an der Reihe, die Nachfolge dieser illustren Direktoren und deren Vorgänger an der Spitze der Eawag anzutreten. Ich freue mich darauf, die Eawag gemeinsam mit ihren Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen als eines der weltweit führenden Institute für aquatische Natur- und Ingenieurwissenschaften im 21. Jahrhundert zu positionieren. Das rasante Bevölkerungswachstum und der Klimawandel werden den Druck auf die Wasserversorgung und die Gewässerökosysteme immer weiter erhöhen. Es ist eine wichtige Aufgabe der Eawag, nach technischen Lösungen für diese Probleme zu suchen und die wissenschaftliche Basis dafür zu erarbeiten. Innerhalb der Schweiz, werden die Gemeinden vermehrt mit der Überalterung ihrer Wasserversorgungs- und -entsorgungssysteme konfrontiert, die es in naher Zukunft zu erneuern gilt. Dies bietet die einmalige Gelegenheit, neue Technologien und Paradigmen umzusetzen. Daneben haben andere Themen keineswegs an Aktualität verloren: die Erhaltung der Fischbestände, Gewässerrevitalisierungen, der Hochwasserschutz und die Grundwasserqualität. In all diesen Bereichen gilt es zudem, die Auswirkungen des Klimawandels abzuschätzen.

Die Eawag ist diesen Aufgaben ausgezeichnet gewachsen, denn sie hat vier grosse Stärken, die es in dieser Kombination sonst nirgendwo gibt. Erstens ist ihre Forschung ausschliesslich auf aquatische Natur- und Ingenieurwissenschaften ausgelegt. Zweitens ist sie im personellen

Bereich stark besetzt: herausragende Forscher und Ingenieurinnen, hochqualifizierte Techniker und Technikerinnen sowie engagierte Mitarbeitende in der Administration. Drittens verfügt die Eawag über eine ausgezeichnete Forschungsinfrastruktur und ist mit modernsten Messgeräten ausgestattet. Und viertens erfährt sie eine enorme Unterstützung durch die Bundesregierung und die schweizerische Bevölkerung. Nur dadurch ist es der Eawag möglich, neue Wege zu erkunden, eine innovative Grundlagenforschung zu betreiben und sich der Einführung neuer (wenn auch radikaler) Konzepte in der angewandten Forschung zu widmen. Auf diese Weise kann die Eawag ihrer besonderen Rolle als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis gerecht werden, nicht zuletzt wenn es im Dialog mit den Stakeholdern um die Konzeption und Implementierung angewandter Projekte geht.

In den kommenden Monaten werde ich die Eawag-Forscherinnen und -Ingenieure einbinden in eine umfassende Diskussion über zukünftige, wichtige Herausforderungen unserer Gesellschaften im Bereich der aquatischen Umwelt und über die potenzielle Rolle der Eawag bei der Lösung anstehender Probleme. Meine Vision für die Eawag ist eine konsequente Fokussierung auf die Spitzenforschung: damit meine ich eine Grundlagenforschung, die die allgemeinen Theorien wesentlich voranbringt sowie eine angewandte Forschung, die sich einerseits mit radikalen Innovationen auseinandersetzt und sich andererseits an den akuten Bedürfnissen der Gesellschaft orientiert (siehe Abbildung). Es freut mich deshalb besonders, dass dieser Brief in einer Ausgabe der Eawag News erscheint, die über ein wichtiges Beispiel angewandter Eawag-Forschung berichtet, die NoMix-Technologie.

Mit den besten Wünschen für eine erfolgreiche Zukunft der Eawag

Forschungsprinzipien für die Eawag.



In Kürze

Konsequente Energieziele

Die Eawag verstärkt ihr Engagement für umweltgerechtes Verhalten im eigenen Haus weiter: Der gesamte Strom- und

Wärmebedarf wird sukzessive mit erneuerbaren Energien und umweltfreundlich gedeckt. Neben dem weiteren Ausbau der Stromproduktion mit Photovoltaikanlagen stellt die Eawag ihren Stromeinkauf bis 2010 auf zertifizierten Ökostrom der Marke «naturemade star» um. Dieses Label wurde im Eawag-Querprojekt Ökostrom mitentwickelt. Darüber hinaus realisiert die Eawag ihren Mobilitätsbedarf ab sofort CO₂-neutral, z.B. indem Kompensationsabgabe entrichtet werden. ○ ○ ○

Manu Heim, Solaragentur Schweiz



Preisgekröntes Forum Chriesbach

Neben dem Solarpreis und dem Swisspor Innovationspreis, erhielt das neue Hauptgebäude der Eawag zwei weitere Auszeichnungen. Der Architekt Bob Gysin und Ueli Bundi als Vertreter der Eawag nahmen am 8. Januar den «Watt d'or Preis 2007» entgegen. Das Bundesamt für Energie zeichnet damit hervorragende Leistungen und zukunftsweisende Innovationen im Energiebereich aus.

Ende Januar empfing das Büro Bob Gysin + Partner den mit 100000 CHF do-

tierten «Velux Tageslicht-Award 2007». Der Preis der gemeinnützigen Velux-Stiftung prämiiert Bauten, die durch einen innovativen und ökologisch nachhaltigen Einsatz von Tageslicht überzeugen. Beim Forum Chriesbach wurde insbesondere die Koppelung des Tageslichteinsatzes mit der Energieversorgung des Gebäudes gewürdigt. Dreiviertel der Preissumme muss für die weitere Förderung zur Nutzung des Tageslichts eingesetzt werden.

www.forumchriesbach.eawag.ch ○ ○ ○

IWMF: neuer Eawag-Workshop

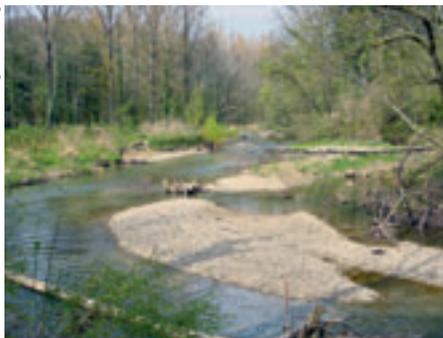
Das Internationale Wassermanagement Forum IWMF ist ein neues Veranstaltungsformat der Eawag für Entscheidungsträger und -trägerinnen aus allen Bereichen der Wasserwirtschaft. Neben der Vernetzung der Teilnehmer und dem Wissenstransfer steht die Entwicklung einer Basis für strategische Planung und Risikomanagement im Zentrum. Es werden die Einflüsse

und Entscheidungspunkte identifiziert und Handlungsoptionen bewertet. Im Jahr 2006 wurde das IWMF erstmals als Pilotveranstaltung durchgeführt. Das IWMF 2007 findet vom 4. bis 6. September statt und befasst sich mit den Entscheidungsprozessen und der Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen.

www.iwmf.eawag.ch ○ ○ ○

Fließgewässer bewerten

Eva Schager, Eawag



160 Gewässerfachleute orientierten sich am 25. Januar in Bern über den aktuellen Stand des Modul-Stufen-Konzepts zur Fließgewässerbewertung. Die Tagung wurde gemeinsam vom Bundesamt für Umwelt BAFU, der Eawag sowie der Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzamtsstellen KVV organisiert. Im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts werden standardisierte Methoden aus den Bereichen Hydromorphologie, Biologie, Chemie und

Agenda

Peak-Kurse

12./13. März

Eawag Dübendorf

Das Integrative Flussrevitalisierungsmodell IFRM – ein neues Werkzeug für die Praxis der Fließgewässer-Revitalisierung

14.–16. März

Eawag Dübendorf

Ökotoxikologiekurs Hauptmodul R: Risiko-Abschätzung

28.–30. März

Fische in Schweizer Gewässern

25.–27. April

Cemagref Lyon

Cours d'écotoxicologie Module E: Evaluation des polluants

18.–21. September

Household centred concepts and technologies for water and environmental sanitation in developing countries

23./24. Oktober

Eawag Dübendorf

Der Einfluss des Materials und der Konstruktion von Dächern und Fassaden auf die Wasserqualität

Tagung

16. März

Eawag Dübendorf

Development of a European research area: promoting collaboration with the European Commission's Joint Research Centre and Switzerland

Vorträge

23. März bis 29. Juni, jeweils freitags 11 Uhr

Eawag Dübendorf

Linking science and water management

Info unter: www.eawag.ch/veranstaltungen

Ökotoxikologie entwickelt, die eine integrale Beurteilung des Gewässerzustandes ermöglichen. Das Meeting diente auch dem Erfahrungsaustausch. Ende 2008 wird das Projekt abgeschlossen. Bis dahin geht es neben der weiteren der Methodenentwicklung vermehrt darum, die Anwendung der Methoden zu vereinheitlichen und den Umgang mit den erhobenen Daten auf nationaler Ebene zu koordinieren.

www.modul-stufen-konzept.ch ○ ○ ○