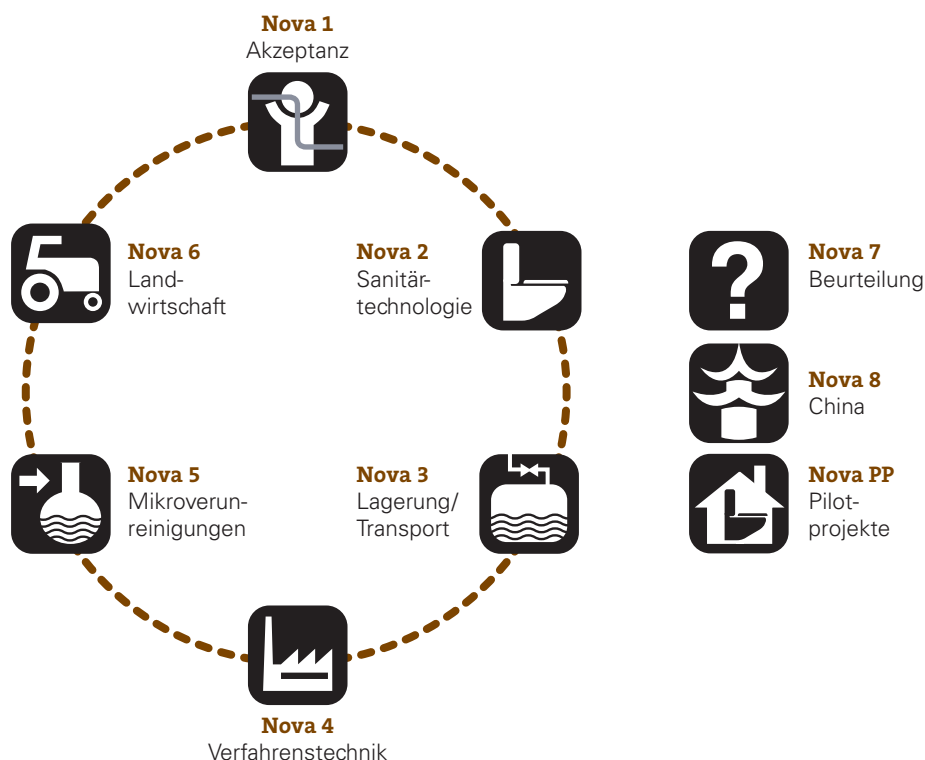


NoMix

Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft



Inhalt



Einführung. Die NoMix-Technologie fördert den Gewässerschutz und schont Ressourcen. Die Bevölkerung steht der Neuerung positiv gegenüber. Es wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um Urin aufzubereiten und Mikroverunreinigungen zu entfernen. Knackpunkt ist der Transport des Urins. Die Resultate aus Novaquatis deuten darauf hin, dass es sich lohnt, Lösungen für das Problem zu finden – oder es durch eine Urinaufbereitung direkt im Haus zu umgehen. Denn die NoMix-Technologie kann wesentlich dazu beitragen, die weltweit zunehmenden Gewässerschutzprobleme zu lösen.

4

Nova 1: Wird das NoMix-WC akzeptiert? Eine Innovation fürs private Badezimmer kann sich nur durchsetzen, wenn die Bevölkerung sie akzeptiert. Novaquatis hat deswegen alle NoMix-Pilotprojekte der Schweiz sozialwissenschaftlich begleitet. 1750 Personen wurden befragt – und diese stehen der Urinseparierung sehr positiv gegenüber. Das NoMix-WC wird trotz einiger Mängel gut akzeptiert, insbesondere in öffentlichen Gebäuden. Jetzt ist die Sanitärindustrie für die Weiterentwicklung gefordert. Aber auch die heute erhältlichen Modelle lassen sich bei sorgfältiger Begleitung einsetzen, um zu weiteren Verbesserungen der Urinseparierung beizutragen.

6

Nova 2: Funktioniert die Sanitärtechnologie? Das NoMix-Prinzip ist einfach: Urin wird vom übrigen Abwasser getrennt gesammelt. Was aber so simpel klingt, hat in der Praxis noch einige Tücken – insbesondere bei der Sanitärtechnologie. So verstopft etwa Urinstein die Leitungen, und ein modernes NoMix-Design zu entwerfen und damit in Produktion zu gehen, ist teuer. Novaquatis stellte sich diesen Problemen auf verschiedene Arten: mit Forschung zu Ausfällungen, mit Rückmeldungen aus Pilotprojekten und mit einem runden Tisch, um die Interessen der beteiligten Akteure zu klären.

8

Nova 3: Lagerung und Transport. Der Transport des Urins von der Toilette bis zu einer zentralen Aufbereitungsanlage ist *der* Knackpunkt der NoMix-Technologie. Nova 3 schlägt Übergangslösungen vor, um die NoMix-Technologie schon heute ins bestehende Abwassersystem zu integrieren und weiterzuentwickeln: Nach einer Zwischenspeicherung wird der Urin in der Kanalisation transportiert. Ein neu entwickeltes Computermodell unterstützt die Einführung der NoMix-Technologie in die Praxis. Eine wichtige Erkenntnis: Die heutigen NoMix-WCs fangen erst 60–75 % des Urins auf.

10



Nova 4: Urin aufbereiten und Dünger herstellen. Urin enthält viele Nährstoffe – und diese sollten nicht in Gewässer gelangen. Deshalb könnte es interessant sein, aus ihnen einen Dünger für die Landwirtschaft zu gewinnen. Novaquatis untersuchte ein breites Spektrum von Verfahren, sowohl für die Düngerproduktion als auch für die Entfernung von Nährstoffen – biologische, chemische und physikalische. Das Ergebnis: Die einzelnen Verfahren erfüllen unterschiedliche Ziele, und die meisten benötigen wenig Energie. Dies erlaubt es, die Aufbereitung auf spezifische Anforderungen abzustimmen.

12



Nova 5: Sind Mikroverunreinigungen im Urin problematisch? Im Durchschnitt werden 60–70 % aller eingenommenen Medikamente und Hormone im Urin ausgeschieden – mit grossen Unterschieden zwischen Einzelstoffen. Solche Mikroverunreinigungen sind jedoch unerwünscht in einem Dünger, der aus Urin hergestellt wird. Es gibt Aufbereitungsverfahren, mit denen sie sich entfernen lassen, wie Nachweise mit chemischer und ökotoxikologischer Analytik zeigten. Den Urin separat aufzubereiten, wäre vorteilhaft für den Gewässerschutz, liesse sich doch das ökotoxikologische Risikopotenzial von Pharmazeutika im Abwasser schätzungsweise halbieren.

14



Nova 6: Dünger aus Urin? Ein Grossteil des schweizerischen Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbedarfs wird heute durch Kunstdünger gedeckt. Urindünger könnten 15–37 % davon ersetzen. Landwirte und Bevölkerung erachten in Umfragen die Idee eines Urindüngers als positiv – vorausgesetzt, Gesundheitsrisiken sind ausgeschlossen. Versuche aus Nova 4 wiesen nach, dass Urinprodukte ähnlich gut wirken wie Kunstdünger. Bevor sie sich aber grossflächig einführen lassen, müssen Kosten und Nutzen sorgfältig abgewogen und aufwändige Bewilligungsverfahren durchlaufen werden.

16



Nova 7: Beurteilung. Nova 7 beurteilt, wie sich die NoMix-Technologie auf die Siedlungswasserwirtschaft auswirkt. Im Vordergrund stehen die Aspekte Gewässerschutz und Nährstoffrecycling. Grundsätzlich wird das neue Konzept positiv eingeschätzt – sowohl in globaler als auch europäischer Hinsicht. Die NoMix-Technologie erhöht die Energieeffizienz des Gesamtsystems gegenüber dem herkömmlichen Verfahren. Zudem hat sie das Potenzial, dereinst wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein.

18



Nova 8: NoMix-Technologie für Schwellenländer? WCs mit Wasserspülung in Schwellenländern einzuführen, ist für die Umwelt oft verheerend, weil ausreichende Massnahmen zur Abwasserreinigung fehlen. Die chinesische Millionenstadt Kunming liegt im Einzugsgebiet des stark verschmutzten Dianchi-Sees. Die Abwasserreinigung durch Kläranlagen stösst an ihre Grenzen. Um die Wasserqualität zu verbessern, sind Massnahmen an der Quelle wie Urinseparierung nötig. Die Beteiligten stehen der NoMix-Technologie sehr positiv gegenüber – eine gute Voraussetzung, sie grossflächig einzuführen.

20



Pilotprojekte: Funktioniert NoMix im Alltag? Pilotprojekte mit NoMix-WCs sind anspruchsvoll, funktionieren diese WCs doch (noch) nicht so problemlos wie konventionelle. Für die Weiterentwicklung sind aber Praxistests erforderlich. In der Schweiz wurden vier Pilotprojekte in Wohnungen und öffentlichen Gebäuden durchgeführt. Das Fazit: NoMix-WCs lassen sich gut einführen, erfordern aber eine intensive Begleitung. Dabei sind private Projekte heikler als öffentliche. Die Erfahrungen sind sowohl für die Entwicklung der Technologie als auch für die Praxis sehr bedeutend.

22

Praktische Hinweise: Eignet sich ein NoMix-WC für mich? Die NoMix-Technologie ist nicht ausgereift. Manche Komponenten wie die Aufbereitung von Urin stecken noch in der Laborphase. Zwar ist die Sanitärtechnologie bereits erhältlich, doch erreichen NoMix-WCs in verschiedener Hinsicht noch nicht den Standard konventioneller Toiletten und müssen sorgfältig gewartet werden. Man sollte sich den Einbau eines NoMix-WCs also gut überlegen und die Ziele eines solchen Projektes von Anfang an klar definieren. Die Erfahrungen aus Novaquatis können Ihnen helfen, NoMix-Installationen seriös zu planen.

24

Publikationen

26

Hauptverantwortliche Personen

29



«End-of-Pipe» ist nicht das Ende: Es gibt Alternativen zum Gewässerschutz durch Kläranlagen (Foto Abwasserverband Altenheim)



Nicht alles ist gut, was grün ist: Die NoMix-Technologie könnte schnell zur Lösung der Überdüngung von Küstengewässern beitragen (Foto Keystone)

Einführung

Wissenschaftlicher Hintergrund

(Tove A. Larsen, Judit Lienert)

Die Urinseparierung basiert auf einer einfachen Erkenntnis: Die meisten Nährstoffe im Abwasser – etwa 80 % des Stickstoffs und 50 % des Phosphors – stammen aus dem Urin. Dabei steuert er weniger als 1 % zum Abwasservolumen bei. Die Kläranlagen in Europa wurden im letzten Jahrhundert spezifisch wegen dieser Nährstoffe ausgebaut, weil sie entweder toxisch waren (z. B. Ammonium in Flüssen) oder zu übermäßigem Algenwachstum (z. B. Phosphor in Seen) führten. Auf Kläranlagen wurden grosse Anstrengungen unternommen, den Phosphor zu fällen, Ammonium in Nitrat umzuwandeln und dieses schliesslich zu eliminieren.

Auch das Konzept «NoMix-Technologie» ist einfach: Speziell konstruierte WCs fangen im vorderen Teil den Urin auf und leiten ihn mit wenig Spülwasser oder gar unverdünnt in einen lokalen Speicher. Hinten funktionieren sie wie herkömmliche WCs; was dort anfällt, wird mit Wasser in die Kanalisation gespült. Ein Forschungsthema von Novaquatis war der weitere Umgang mit dem Urin: Die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor dienen der Herstellung eines Pflanzendüngers – oder werden mit ähnlichen Verfahren wie in Kläranlagen eliminiert.

Urin vom Abwasser fernzuhalten, wäre vorteilhaft, da Kläranlagen in Zukunft wieder kleiner gebaut werden könnten und sich gleichzeitig die Gewässer besser vor Stickstoff und Phosphor schützen liessen. Die Nährstoffe könnten in die Landwirtschaft zurückgebracht und die Mikroverunreinigungen im Urin – Hormone und Medikamentenreste – ohne Vermischung mit Abwasser entfernt werden. Urinseparierung hätte also eine deutlich flexiblere Abwasserreinigung zur Folge. Angesichts des weltweiten Wassermangels stellt die NoMix-Technologie zudem eine hervorragende Möglichkeit dar, die Qualität von wieder verwendetem Wasser zu erhöhen.

Das Potenzial der NoMix-Technologie ist gross. Der Aufwand muss aber gegenüber herkömmlichen Technologien bestehen

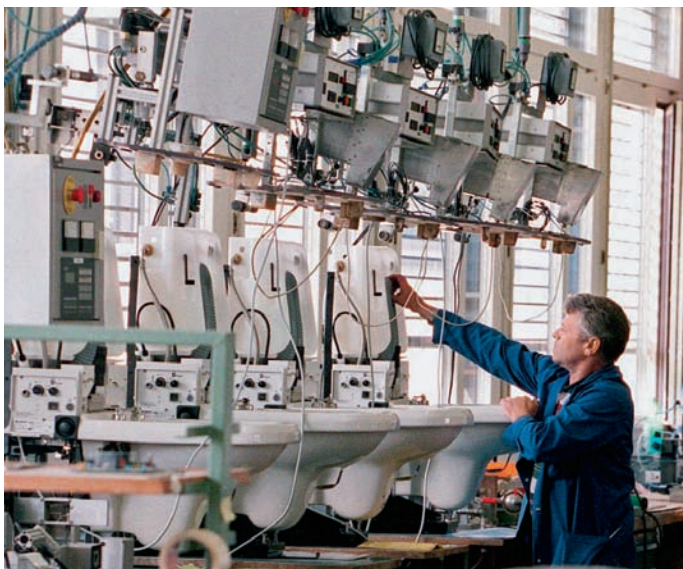
können, da sich Gewässerschutzprobleme und die Rückführung von Phosphor in die Landwirtschaft oft auch mit konventionellen Methoden lösen lassen.

In Novaquatis untersuchten wir, ob, in welcher Form und unter welchen Umständen sich die NoMix-Technologie lohnt. Weil die Fragestellung sehr umfassend ist, organisierten wir die einzelnen Projekte in Arbeitspaketen entlang den Stationen eines möglichen Nährstoffkreislaufes. Einen Überblick geben die Seiten 2 bis 3, mehr Details die einzelnen Novaquatis-Publikationen (siehe Seiten 26 bis 28).

Resultate und Synthese

Erfreulich ist, dass die Bevölkerung der NoMix-Technologie grosse Sympathie entgegenbringt. Alle in Novaquatis Befragten kannten die noch nicht ausgereifte Technologie und nutzten sie auch. Obwohl sie die Mängel der heutigen NoMix-WCs erkannten, waren sie mit überwiegender Mehrheit von deren Kerngedanken überzeugt (Nova 1). Die Praxis zeigt ebenfalls grosses Interesse: So wurden im Kanton Basel-Landschaft umfangreiche Pilotprojekte erfolgreich durchgeführt (Nova PP). Auch bei der Schonung von Ressourcen schneidet die NoMix-Technologie gut ab: Sie hat das Potenzial, auf energieeffiziente Weise sehr viel zum Gewässerschutz beizutragen. Zudem stellt Urin dort, wo es heute an Nährstoffen mangelt, eine lokale Nährstoffressource dar (Nova 7).

Die Schwierigkeiten liegen im Detail. Als Knackpunkt erwies sich der Transport des Urins. Neue Leitungen zu verlegen oder den Urin mit Lastwagen aus den Kellerspeichern zu einer zentralen Aufbereitung zu transportieren, ist teuer und aufwändig. In Novaquatis erarbeiteten wir kostengünstige Lösungen, um Urin in der bestehenden Kanalisation zu transportieren (Nova 3). Trotz ihres Potenzials überzeugten sie die Projektpartner aus der Sanitärindustrie nicht. Sie sind zu stark auf Schweizer Verhältnisse zugeschnitten und eignen sich zudem nur für kleinere Einzugsgebiete. Die Sanitärindustrie schätzt deshalb das Marktpotenzial als zu gering ein, als dass sich Investitionen in die NoMix-Technologie lohnten (Nova 2). Eine bessere Sanitärtechnologie ist jedoch unbedingt notwendig; zwar lassen sich mit den heutigen NoMix-WCs



Potenzial vorhanden: Unser kleines Geschäft könnte für die Sanitärindustrie bald zu einem grossen werden (Foto Keystone)



Das Problem im Griff – und im Sack: Nährstoffe aus dem Urin sind in Gewässern unerwünscht, aber als Pflanzendünger nützlich (Foto Andri Bryner)

Pilotprojekte durchführen – grössere Demonstrationsprojekte aber bereits nicht mehr (Nova PP). Die weitere Entwicklung hängt also massgeblich von den Einwänden der Sanitärindustrie ab.

Gleichzeitig zeigten Literaturstudien (Nova 7) das grosse Potenzial der NoMix-Technologie aus globaler Sicht. Vor allem Küstengewässer sind stark von Überdüngung bedroht. Wegen des rasanten Bevölkerungswachstums in diesen Regionen rücken die Probleme mit Nährstoffen aus Abwasser auf der globalen Agenda weit nach vorne. Es müssen mehr Nährstoffe eliminiert werden, was heute fast ausschliesslich in Industrieländern geschieht. In Gegenden, wo man noch nicht über eine vollständig ausgebaute Infrastruktur verfügt, kann die NoMix-Technologie Gewässer schneller und effizienter schützen als der Ausbau von Kanalisation und Kläranlagen. Das Potenzial der NoMix-Technologie bei grossem Bevölkerungsdruck, der zu fast unlösbaren Gewässerschutzproblemen führt, wurde eindrücklich am Beispiel von China dargelegt (Nova 8).

Letztlich geht es also um Wirtschaftlichkeit und die technischen und organisatorischen Möglichkeiten der Urinseparierung. Könnte man Urin problemlos transportieren, wäre eine zentrale Urin-Aufbereitung zu befürworten. Die Verfahren existieren bereits (Nova 4), und Prozesse wie Phosphorfällung und biologische Stickstoffelimination lassen sich im konzentrierten Urin wesentlich günstiger und energieeffizienter als im Abwasser durchführen. Grosses Potenzial haben auch Verfahren zur Wiedergewinnung von Stickstoff und Elimination von Mikroverunreinigungen – von Menschen ausgeschiedene und in den Gewässern nachgewiesene Medikamente und Hormone. Schätzungsweise die Hälfte des ökotoxikologischen Risikos dieser Stoffe gelangt über den Urin ins Abwasser (Nova 5).

Da der Transport schwierig und/oder teuer ist, stellt sich die Frage nach den Möglichkeiten und der Wirtschaftlichkeit dezentraler Prozesse. Urin direkt im Haus aufzubereiten, erscheint attraktiv. Im Rahmen von Novaquatis war es jedoch nicht mehr möglich, dezentrale Verfahren detailliert zu untersuchen. Sicher ist, dass auch hier die Kombination von Phosphorfällung und biologischer Stickstoffelimination aussichtsreich ist. Wir sind zuversichtlich, dass dezentrale Verfahren durch Massenproduktion

für die Sanitär- und andere Industrien wirtschaftlich interessant werden können. Als problematischer stufen wir die Stabilität und Wartungsintensität dezentraler Verfahren ein, insbesondere bei den biologischen Prozessen. Um der NoMix-Technologie zum Durchbruch zu verhelfen, können beide Lösungsansätze parallel verfolgt werden. Die wissenschaftlichen Kompetenzen an der Eawag prädestinieren uns eher dazu, stabile biologische Prozesse und Lösungen für die organisatorischen Probleme dezentraler Prozesse zu entwickeln, als neue Optionen für den Transport zu suchen.

Schlussfolgerung

Die Forschung in Novaquatis zeigte, dass die NoMix-Technologie eine gute Alternative zur heutigen Nährstoffelimination werden könnte. Voraussetzung ist, dass eines der beiden grundlegenden Probleme gelöst wird: Entweder findet man eine attraktive, breit einsetzbare und kostengünstige Lösung für den Transport des Urins – oder man entwickelt dezentrale Verfahren, die stabil und wirtschaftlich sind, um ihn lokal aufzubereiten.

Die Gewässerprobleme durch Nährstoffemissionen nehmen weltweit stark zu. Wir sind deshalb überzeugt, dass sich die Suche nach Lösungen lohnt. Konkurrenzfähige Innovationen setzen aber grosse Märkte voraus. Es kann daher sinnvoll sein, vorerst Technologien für städtische Gebiete mit grossem Bevölkerungsdruck zu entwickeln, wo heute Nährstoffe in Kläranlagen gar nicht oder unzureichend eliminiert werden. So könnte die NoMix-Technologie schnell und wirksam zur Lösung der globalen Gewässerprobleme beitragen. Dazu müssen aber attraktive und wirtschaftliche Technologien entwickelt werden – beispielsweise auch von Schweizer Firmen, die sich zunehmend im weltweiten Markt bewegen. Weil solche Lösungen auch für Industrieländer eine ernsthafte Option darstellen, ist es sinnvoll, auch hier die NoMix-Technologie in Demonstrationsprojekten einzuführen. Langfristig würden auch die Schweizer Gewässer von ihrem breiten Einsatz profitieren.



Arbeitspaket Nova 1

Akzeptanz



Wissenschaftlicher Hintergrund

Im Zentrum von Nova 1 steht die Einstellung der Bevölkerung zur NoMix-Technologie. Bislang entwickelten Fachleute neue Technologien der Siedlungswasserwirtschaft ohne Beteiligung der Öffentlichkeit. Die Abwassertrennung im eigenen Badezimmer betrifft aber jede einzelne Person. Novaquatis bezog deshalb sehr früh Praxisakteure und die Bevölkerung in ihre Forschung ein, um herauszufinden, wie sie diese Innovation beurteilen.

Nova 1 begleitete alle Pilotprojekte der Schweiz wissenschaftlich. Es identifizierte die Mängel der NoMix-Technologie und beschäftigte sich mit Fragen, wie: Werden die NoMix-WCs akzeptiert? Kommt das Design an? Riechen die NoMix-WCs? Passen die Leute ihr Verhalten an? Wie verbreitet man die NoMix-Technologie? Was verhilft weiteren NoMix-Pilotprojekten zum Erfolg?

Nova 1-1: Die Einstellung der Bevölkerung

(Claudia Pahl-Wostl)

Eine Fokusgruppenstudie mit 44 Freiwilligen aus der Bevölkerung lieferte erste Daten zur Akzeptanz von NoMix-WCs im Haushalt [1]. Die Teilnehmenden diskutierten in moderierten Gruppen und informierten sich mit einem spielerischen Webtool über die komplexe Idee der Urinseparierung (www.novaquatis.eawag.ch/tool/index). Zudem besuchten sie ein NoMix-WC der Eawag.

Die wichtigsten Erkenntnisse: 79 % finden das NoMix-WC eine gute Idee. 84 % würden in eine Wohnung mit NoMix-WC ziehen – wobei Kosten, Wartungs- und Putzaufwand nicht wesentlich höher sein dürfen als bei herkömmlichen Toiletten. 72 % würden mit Urin gedüngte Lebensmittel kaufen, sofern Gesundheitsrisiken ausgeschlossen sind.

Eher wenig Bedeutung messen die Teilnehmenden einer nachhaltigen Entwicklung – etwa geschlossenen Nährstoffkreisläufen – bei. Wichtiger ist ihnen, die Gesundheitsrisiken durch Mikroverunreinigungen in einem aus Urin produzierten Dünger zu kennen. Folglich ist es äusserst relevant, diese zu minimieren, damit die Bevölkerung die NoMix-Technologie akzeptiert.

Die quantitativen Umfragen in den Pilotprojekten in öffentlichen Gebäuden bestätigen viele dieser Ergebnisse. Die qualitativen Ergebnisse aus Nova 1-2 und dem Pilotprojekt in Haushalten

zeigen aber, dass es in der Realität nicht unproblematisch ist, mit einem NoMix-WC im eigenen Badezimmer zu leben.

Nova 1-2: Kulturpsychologie

(Ruth Kaufmann-Hayoz, Kirsten Thiemann)

Nova 1-2 ist Teil einer Dissertation über nachhaltiges Produktdesign [2]. Mit theoretischen Betrachtungen und einer Fallstudie wurde die Bedeutung technischer Innovationen für das Wohlbefinden untersucht. Die Fallstudie behandelt die historischen, kollektiv-kulturellen Entwicklungen im Bad- und Abwasserbereich, die Rolle des Bades in der persönlichen Kultur sowie die Einführung des NoMix-WCs in einer Gewerbeschule und vier Privatwohnungen.

Die theoretischen Untersuchungen zeigen: Es ist schwierig, technologische Neuerungen einzuführen, die nicht in die menschliche Kultur passen. Problematisch sind dabei Willkür und Fremdbestimmung, z.B. wenn NoMix-WCs in einer Wohnung ohne ausdrückliches Einverständnis der Mieterinnen und Mieter eingebaut werden.

Die Erfahrungen in den Privatwohnungen führten zu konkreten Empfehlungen für die Verbesserung und breite Akzeptanz des NoMix-WCs. Die Bewohnerinnen und Bewohner reagierten sehr unterschiedlich: Manche sind skeptisch, andere beurteilen das NoMix-WC vor allem aus Umweltschutzgründen positiv und benutzen es gerne. Die Nutzung des NoMix-WCs hängt stark von individuellen Faktoren wie Gewohnheit oder Ergonomie ab. Manche Männer setzen sich immer fürs kleine Geschäft, andere nie. Die korrekte Sitzposition ist für viele Frauen und vor allem für Kinder schwierig. Generell findet man den Reinigungsaufwand zu hoch. Ideal wäre zudem, wenn man aus einem Sortiment von NoMix-WCs wählen könnte, die sich in Farbe, Design, Sitz- und Spülweise unterscheiden.

Nova 1-3: Akzeptanz und Verbreitung

(Judith Lienert, Tove A. Larsen)

Nova 1-3 erforschte die Verbreitung der NoMix-Technologie und die Akzeptanz in grösseren Zielgruppen mit quantitativen Studien. Wir führten in allen drei schweizerischen Pilotprojekten in öffent-



Auch für Männer nur noch im Sitzen: Das NoMix-WC funktioniert nur, wenn man es richtig benutzt – Zeitung lesen erlaubt (Foto Ruedi Keller)



Und, wie war's? Umfrage vor dem NoMix-WC – 80 % finden es mindestens gleich gut wie konventionelle WCs (Foto Ruedi Keller)

lichen Gebäuden Befragungen durch: in einer Gewerbeschule (534 Befragte), an der Eawag (715 Befragte) und in der Kantonsbibliothek BL (501 Befragte). Die Resultate sind repräsentativ für die Nutzer dieser Art Gebäude (z. B. Deutschschweizer Gewerbeschülerinnen und -schüler).

Erfreulicherweise war die Akzeptanz überall sehr hoch. 72 % der Befragten an der Gewerbeschule und in der Eawag fanden die Urinseparierung eine gute Idee, und 86 % würden in eine Wohnung mit NoMix-WC einziehen [3, 4]. Etwa 80 % beurteilten NoMix-WCs als gleich oder besser als konventionelle WCs in Bezug auf Design, Hygiene und Geruch. Die NoMix-Technologie funktioniert nur, wenn man sie korrekt anwendet. Die meisten Befragten waren bereit, ihr Verhalten anzupassen; z.B. setzten sich 72 % fürs kleine Geschäft. Diese Ergebnisse wurden in der Kantonsbibliothek BL bestätigt (noch nicht veröffentlicht).

Theoretisch objektive Faktoren (z. B. Geruch) nimmt man in der Praxis oft subjektiv wahr. Die Akzeptanz hängt also nicht nur von sauberen Sanitäreanlagen ab, sondern auch von Information, Gesprächen mit Bekannten und der eigenen Einstellung. Eine gute Informationspolitik beeinflusst deshalb den Projekterfolg entscheidend.

Die NoMix-Technologie ist an das gesamte Abwassersystem gebunden: von WC bis Kläranlage. Eine hohe Akzeptanz nur bei WC-Nutzern bietet noch keine Garantie, dass sich die Innovation in der Realität verbreiten wird. Kritisch ist vielmehr, die Abwasserfachleute zu gewinnen – dies ergab eine Analyse, die auf der Diffusionstheorie basiert [5]. Expertinnen und Experten aus der Siedlungswasserwirtschaft werden das neue Konzept einführen und viele der Konsequenzen tragen müssen. Die Wissenschaft ihrerseits muss ausgereifte Lösungen anbieten, welche die Fachleute davon überzeugen, mit Engagement das NoMix-Konzept in der Praxis weiter zu entwickeln.

Schlussfolgerungen

Die Resultate aus Nova 1 ermöglichen eine Einschätzung, wie die schweizerische Bevölkerung auf die NoMix-Technologie reagieren könnte. Diese wird voraussichtlich breit akzeptiert, wenn sie moderne Standards der Sanitärtechnologie erfüllt, sicher und nicht zu

teuer ist. Wegen der Mängel aktueller NoMix-WC-Modelle können wir eine uneingeschränkte Verbreitung noch nicht empfehlen; jetzt müssten Sanitärfirmen die WCs optimieren (Nova 2). Unsere Erfahrungen zeigen, dass auch die unausgereifte Technologie weitere Demonstrationsprojekte erlaubt, die aber sorgfältig begleitet werden müssen. Im Haushalt sind solche Projekte diffiziler als in öffentlichen Gebäuden, wo Hausdienste die Wartung sicherstellen. Als nächstes sollten Verbreitungswege für die NoMix-Technologie erforscht und Nischen gefunden werden, wo sie sich umsetzen und weiterentwickeln lässt. Die Bevölkerung ist bereit, der unkonventionellen Technologie eine Chance zu geben.



Arbeitspaket Nova 2

Sanitärtechnologie



Wissenschaftlicher Hintergrund

Die moderne wassergespülte NoMix-Toilette wurde in den 90er Jahren in Schweden erfunden. Ihr Prinzip ist einfach: Sitzt Mann oder Frau auf dem WC, wird der Urin vorne aufgefangen und in einen separaten Tank geleitet, während die Fäkalien ganz normal hinten weggespült werden. Es handelt sich also quasi um ein WC mit vorne eingebautem Urinal.

Doch das einfache Prinzip hat seine Tücken. Wie bei wasserlosen Urinalen entstehen mit der Zeit mineralische Ablagerungen – landläufig als Urinstein bekannt –, welche die Leitungen verstopfen können.

Dieses und andere sanitärtechnologische Probleme werfen einige Fragen auf: Wie vermeidet man die Verstopfung der Leitungen? Wie sitzt man auf dem NoMix-WC, damit es bequem und zweckmässig zugleich ist? Funktioniert die Trennung in der Praxis? Passt das WC in moderne Badezimmer oder wirkt es unzeitgemäss, altmodisch? Falls nötig, wie erhält man bessere NoMix-WCs?

Die neue WC-Technologie spielt beim ganzen NoMix-Konzept eine grosse Rolle. Viele Novaquatis-Arbeitspakete suchten Antworten auf obige Fragen: Nova 1 (wie gehen Benutzerinnen und Benutzer mit der Technologie um?), Nova 2-1 (wie kommt man zu Innovationen?), Nova 2-2 (wie entstehen Ausfällungen?), Nova 3 (gelingt die Trennung?), Nova PP (lassen sich mit herkömmlichen NoMix-WCs schon Pilotprojekte durchführen?).

Einige Schlussfolgerungen aus all diesen Projekten: Die existierenden NoMix-WCs sind zwar nicht optimal, es ist aber durchaus möglich, mit ihnen Pilotprojekte durchzuführen (Nova 1, Nova PP). Ungelöst bleibt das grosse Problem der Ausfällungen (Nova 2-2). Es gibt also gute Gründe, die NoMix-Toiletten weiterzuentwickeln (Nova 2-1).

Nova 2-1: Zusammenarbeit mit der Sanitärindustrie

(Tove A. Larsen, Judit Lienert, Bernhard Truffer)

Novaquatis beteiligte sich in den 1990er Jahren an der Entwicklung eines neuen NoMix-WCs durch die Firma Roediger (www.roevac.com), mit dem sich unverdünnter Urin sammeln lässt. Es wurde in Novaquatis-Pilotprojekten eingesetzt, und im Neubau

der Eawag ist neben verschiedenen wasserlosen Urinalen nur noch das Roediger NoMix-WC installiert. Die Erfahrungen aus Novaquatis wurden der Herstellerfirma mitgeteilt und sollten nun als Grundlage für eine nächste Generation der Roediger NoMix-Toilette dienen, die noch besser funktioniert (siehe Beitrag «Praktische Hinweise»).

Pilotprojekte lassen sich mit der heutigen Sanitärtechnologie, zum Beispiel am Arbeitsplatz, gut durchführen – in privaten Haushalten dagegen sind sie noch problematisch (siehe Nova PP). Das Konzept kann aber nur mit grossen Pilot- und Demonstrationsprojekten marktreife erlangen. An einem runden Tisch diskutierten wir mit Vertretern der Sanitär- und Abwasserindustrie in vier Workshops die Voraussetzungen für die Markteinführung einer optimalen NoMix-Toilette. Dabei stellte sich heraus: Für die Firmen ist es unerlässlich, dass die Einstiegsmärkte klar charakterisiert sind. Diese müssen zudem eine angemessene Grösse aufweisen, damit sich eine Serienfertigung überhaupt lohnt. Grosse Märkte sind dort vorhanden, wo auch grosse Probleme herrschen. Nebst den schnell wachsenden Städten in Schwellenländern (Nova 8) kommen auch wasserarme Gebiete wie Australien oder China in Frage. Der Weg der «kleinen Schritte» in Schweizer Übergangsszenarien (Nova 3) dagegen ist für die Industriepartner kaum interessant, weil der Markt als zu klein eingeschätzt wird. Ausserdem erschweren die vielen involvierten Parteien den Entwicklungsprozess. Wie schon früher vermutet [1], ist es von grosser Bedeutung, dass Abwasserfachleute sich viel stärker für die NoMix-Technologie zu interessieren beginnen, damit die Firmen grössere Investitionen wagen. Grundsätzlich ist die Sanitärindustrie interessiert und beurteilt die Aufgabe als lösbar. Allerdings sind alle Lösungen mit Mehrkosten verbunden. Und weil diese im Haushalt entstehen, die Einsparungen dagegen in der Gemeinde, müssten die Kosten durch ein geschicktes Finanzierungsmodell umgelagert werden.

Nova 2-2: Ausfällungen

(Kai Udert, Tove A. Larsen, Willi Gujer)

Nova 2-2 besteht aus einer Dissertation, die Ausfällungen in Toiletten, wasserlosen und konventionellen Urinalen mit Feldmes-



Menschen setzen Duftmarken: Der Geruch in Urinalen lässt sich mit einem Duftstein, der Ammoniak neutralisiert, minimieren (Foto Ruedi Keller)



Stein des Anstosses: Der berühmte Urinstein verstopft die Leitungen (Foto Kai Udert)

sungen, Laborexperimenten und Computersimulationen näher untersuchte [2–6]. Die Fällungsprodukte sammeln sich in Leitungen und Siphons an und können bereits nach wenigen tausend Benutzungen zu Verstopfungen führen.

Wenn Harnstoff aus Urin durch Bakterien abgebaut wird, steigt der pH-Wert stark, bis auf über 9. Weil sich die Puffersysteme verschieben, wird das Löslichkeitsprodukt verschiedener schwerlöslicher Salze überschritten. Die Folge: sie kristallisieren aus. Dies gilt vor allem für Struvit (Magnesium Ammonium Phosphat, MAP) und verschiedene Kalziumphosphate.

Bakterien, die Harnstoff abbauen, wachsen vor allem in den Leitungen und werden in den Sammeltank gespült. Schon nach wenigen Tagen ist der Harnstoff vollständig abgebaut. Im unverdünnten Urin genügt sogar bereits ein Abbau von nur 8% des Harnstoffs, damit der pH-Wert fast aufs Maximum ansteigt und in der Folge 95% der maximal möglichen Ausfällungen stattfinden.

Auf Grund der anfänglich guten Erfahrungen mit den wasserlosen Urinalen glaubte man lange, im unverdünnten Urin würden keine Salze auskristallisieren. Felduntersuchungen zeigten aber das Gegenteil, nämlich dass Verstopfungen vor allem dann auftreten, wenn der Urin nur wenig oder gar nicht verdünnt ist. Mit Computersimulationen wurde berechnet, dass aus verdünntem Urin weniger Salze pro Volumen ausfallen als aus unverdünntem. Am wenigsten Ausfällungen entstehen bei der Spülung mit Regenwasser, weil dabei weder Kalzium noch Magnesium zugeführt wird. Die Menge der Fällungsprodukte ist einer der wichtigsten aber nicht der einzige Faktor, der Verstopfungen begünstigt. Ebenfalls kritisch sind enge Querschnitte und wenn sich der Urin lange in Leitungen und Siphons befindet.

Schlussfolgerungen

Die kombinierten Resultate aus Nova 2 geben einige Hinweise, was unternommen werden könnte, um ein besseres NoMix-WC auf den Markt zu bringen, und welche Rahmenbedingungen sich ändern müssten. Urin zu verdünnen, verringert zwar die Probleme mit Verstopfungen, führt aber zu grösseren Urintanks. Zudem erschwert es die Aufbereitung des Urins. Eine bessere Lösung ist deshalb möglicherweise, die unvermeidlichen Ausfällungen im

unverdünnten Urin gezielt zu fördern – in einer austauschbaren Einheit im WC. Bereits heute setzt die Industrie dieses Prinzip in einigen wasserlosen Urinalen ein. Bei den heutigen NoMix-WCs dagegen gilt es, die Probleme pragmatisch zu lösen oder zum Beispiel durch eine Regenwasserspülung zu verringern (siehe Beitrag «Praktische Hinweise»).

Die Sanitärindustrie ist grundsätzlich daran interessiert, gute NoMix-WCs auf den Markt zu bringen, und ist auch überzeugt, diese Aufgabe lösen zu können. Allerdings sind sie teurer als herkömmliche Toiletten. Die Abwasserfachleute wiederum müssen noch aufzeigen, wo grössere Märkte existieren, damit sich für die Industrie ein Einstieg und die aufwändige Entwicklungsarbeit lohnen (siehe auch Nova 7).



Arbeitspaket Nova 3

Lagerung und Transport



Wissenschaftlicher Hintergrund

Nova 3 befasst sich mit dem Transport des Urins von der NoMix-Toilette und einem lokalen Speicher bis zu einer zentralen Aufbereitungsanlage. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Urin vom Speicher wegzuführen: Tankwagen, separate Leitungen oder die bestehende Kanalisation. Letztere lässt sich zum Beispiel relativ kostengünstig nutzen, indem der Urin nachts transportiert wird – zu einer Zeit also, wo in vielen Einzugsgebieten nur wenig, fast unverschmutztes Wasser in der Kanalisation fliesst [1, 2]. Diese Strategie birgt aber einige Gefahren, weil der Urin dabei kurzzeitig sehr konzentriert durch die Kanalisation transportiert würde. So könnte bei unvorhersehbaren, übermässigen Regenfällen eine grosse Menge an Urin ungereinigt in die Gewässer gelangen. Zudem könnten Geruchsprobleme auftreten. Novaquatis prüfte deswegen als Übergangsszenario eine andere Möglichkeit für den Transport im Kanalnetz: Die Stickstofffracht wird über 24 Stunden verteilt, wodurch die Kapazität einer bestehenden Kläranlage besser genutzt wird (siehe Nova 3-1). Mit dieser Strategie liessen sich ohne grosse Risiken Erfahrungen über die Zuverlässigkeit von Regenvorhersagen gewinnen, weil nie eine grössere Urinmenge als heute gleichzeitig in der Kanalisation anfallen würde.

Eine Alternative zum schwierigen Transport von Urin wäre eine Aufbereitung vor Ort, die auf den Resultaten aus Nova 4 basiert.

Nova 3-1: Urinseparierung und «Abwasserdesign»

(Wolfgang Rauch, Willi Gujer, Tove A. Larsen)

Das Konzept des «Abwasserdesigns» besteht darin, Teile des Abwassers aus Haushalt oder Industrie zurückzuhalten und erst dann abzutransportieren, wenn es auf der Kläranlage Kapazität für die Behandlung dieser Teilströme gibt [3]. Besonders sinnvoll ist dieses Konzept beim Urin: Weil die meisten Menschen am Morgen aufstehen und das WC benutzen, verzeichnen die Kläranlagen eine «Morgenspitze» von Stickstoff aus Urin. Um diese Spitzenbelastung zu verarbeiten, müssen Kläranlagen heute deutlich grösser dimensioniert werden als eigentlich nötig wäre – was ihren Bau entsprechend verteuert. Würde man Urin im Haushalt speichern und die Speicher gezielt über die Nacht verteilt öffnen, würden die Kläranlagen gleichmässiger mit Stickstoff belastet.

Zudem wäre es bei starkem Regen vorteilhaft, Urin zurückzuhalten, weil in solchen Fällen die Abwässer heute teilweise über die Hochwasserentlastungen ungereinigt in die Gewässer geleitet werden.

Nova 3-1 erstellte eine fiktive Fallstudie, die auf stochastischer Modellierung beruht. Sie basiert auf Daten aus der Umgebung von Zürich und geht von einer hundertprozentigen Umstellung auf NoMix-WCs aus. Die Studie zeigt, dass ein in die NoMix-Toilette integrierter Speicher von 10 Litern und eine sehr einfache Steuerstrategie zu folgenden Resultaten führen können: Erstens lässt sich das jährliche Volumen von Urin in Regenüberläufen um über 50 % reduzieren und zweitens die Spitzenfracht an Stickstoff bei Trockenwetter um etwa 30 % verringern. Das Erste kann eine ökonomisch attraktive Lösung sein, weil sie die Belastung der Gewässer mit toxischem Ammoniak während Regen verringert [4]. Das Zweite führt dazu, dass die Leistung einer nitrifizierenden Kläranlage in derselben Grössenordnung steigt, wie sich die Spitzenfracht verringert. Dadurch lässt sich in gewissen Fällen ein (teurer) Ausbau einer bestehenden Kläranlage wirksam umgehen oder verzögern ([5]; siehe auch Nova 3-3 und 7-2).

Nova 3-2: Lagerung und Transport

(Luca Rossi, Judit Lienert, Tove A. Larsen)

Eine grosse Messkampagne gab Auskunft über das reelle Funktionieren der NoMix-Technologie [6]. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung sind deshalb von Bedeutung, weil der Urin schon in den NoMix-Toiletten korrekt abgefangen und zum Speichertank geleitet werden muss. Messungen im Haushalt ergaben denn auch, dass die Ausbeute von Urin nur bei 60–75 % der erwarteten Menge lag. Damit zeigt sich, wo praktische Verbesserungen der NoMix-WCs möglich sind. Im institutionellen Bereich, zum Beispiel an der Eawag, konnte mit den NoMix-WCs deutlich mehr Urin gesammelt werden. Verbesserungsmöglichkeiten lassen sich aber nur bei den Frauen-WCs abschätzen, weil bei den Männern die Urinale dominieren. Weitere Messungen ergaben, dass bei 55–60 % der Spülungen die Taste für die kleine Wassermenge gedrückt wurde. In manchen Haushalten wurde aber die kleine Spülung kaum je gebraucht; im institutionellen Bereich schwank-



Nicht für immer weggespült: Ein digitaler Zählapparat registriert in der Eawag Datum und Zeitpunkt jeder Spülung (Foto Ruedi Keller)



Siedlungen durch die WC-Brille betrachtet: Das Mikrosimulationsmodell braucht genaue Daten über Wohnen, Arbeit und Freizeit (Foto Karin Güdel)

ten die Werte sehr. Die Spülfrequenz im Haushalt führte zu einem klaren Nachweis, woher die «Morgenspitze» von Stickstoff in den Kläranlagen stammt: Nicht nur ist der Urin am Morgen konzentrierter, in den Morgenstunden wird auch häufiger gespült. Weiter zeigten sich in den Haushalten deutliche Unterschiede zwischen Wochentagen und Wochenende. Dies stimmt sehr genau mit Messergebnissen der Kläranlagen überein. Zukünftige Pilotprojekte können die detaillierten Daten für die Auslegung von Urinspeichern nutzen, um zu verhindern, dass diese zu gross – und damit zu teuer – oder zu klein gebaut werden.

Nova 3-3: Mikrosimulationsmodell (früher Nova 7-1)

(Christian Spörri, Peter Reichert, Irene Peters, Tove A. Larsen)

Mit einem neuen Computermodell auf Basis der so genannten Mikrosimulation wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Strategien zur Bewirtschaftung von Urinspeichern auswirken [7]. Als Beispiel diente das Einzugsgebiet der Kläranlage Ergolz 1 im Kanton Basel-Landschaft. Das Modell basiert auf Daten aus der Volkszählung über Einwohnerinnen und Einwohner, ihre Arbeitsorte sowie über Wohn- und Geschäftsgebäude. Es bildet nach, wie sich Personen zur Arbeit, zu Freizeitaktivitäten und Dienstleistungsbetrieben bewegen. Medizinische Daten lieferten die Grundlagen, um das Verhalten der Menschen beim Wasserlassen und daraus folgend den Anfall an Urin in den einzelnen Toiletten zu simulieren. Regenprognosen und Niederschlagsdaten aus der Region dienten dazu, optimale Strategien für die Bewirtschaftung der Speicher zu suchen, um die Ziele von Nova 3-1 zu erreichen: die Stickstofffracht in der Kläranlage zu glätten und Urin in Regenüberläufen zu vermeiden. Bei einer zufälligen Verbreitung von NoMix-WCs in nur 30 % der Wohnungen und Arbeitsgebäuden und einer Speichergrösse von 10 Litern macht das Modell folgende Voraussagen: Die Spitzenfracht zur Kläranlage wird um 20 % reduziert, gleichzeitig treten bei Regen 22 % weniger Urin in der Kanalisation auf. Die aufwändigere Modellierung erlaubt es also, bessere Steuerungsstrategien zu finden als die in Nova 3-1 angewandte, die von einer hundertprozentigen Verbreitung von NoMix-WCs ausgeht.

Schlussfolgerungen

Knackpunkt der NoMix-Technologie ist der Transport des Urins von der NoMix-Toilette bis zu einer zentralen Aufbereitungsanlage. Nova 3 zeigt auf, dass es zumindest eine gute Zwischenlösung für den Urintransport gibt, die die Kläranlagen optimiert: eine Verteilung über 24 Stunden durch die bestehende Kanalisation. Im Prinzip kann der Urin auch konzentriert und im Schwall durchs Kanalnetz transportiert werden. Ob diese Lösung gangbar ist, können aber erst Erfahrungen aus einem praktischen Grossprojekt belegen. Eine Implementierung der Zwischenlösung erlaubt solche Experimente. Als Alternative zum schwierigen Transport könnte der Urin gemäss den Erkenntnissen aus Nova 4 vor Ort aufbereitet werden.

Die praktischen Erfahrungen aus den Pilotprojekten zeigen, dass sich die Effizienz der Urinentrennung in den NoMix-Toiletten noch verbessern lässt. Eine Erkenntnis, die vor allem für die Weiterentwicklung der NoMix-WCs von Bedeutung ist.



Arbeitspaket Nova 4

Verfahrenstechnik



Wissenschaftlicher Hintergrund

Der grösste Teil der Nährstoffe aus dem menschlichen Stoffwechsel gelangt in den Urin, vor allem Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K). Diese Nährstoffe sind in der Landwirtschaft erwünscht, nicht aber in den Gewässern (nur K richtet dort keinen Schaden an). Es kann deshalb sinnvoll sein, den Urin vom Abwasser zu trennen und daraus Dünger herzustellen.

Frischer Urin weist einen leicht sauren pH-Wert von 6 bis 7 auf. Sein hoher Anteil an biologisch abbaubarem Substrat bewirkt aber, dass sich schnell Bakterien darin vermehren. Dadurch verändert sich die chemische Zusammensetzung des Urins während der Sammlung und Lagerung beträchtlich. Weil sich Harnstoff in Ammoniak und Kohlendioxid spaltet, steigt der pH-Wert stark an – bis auf über 9 (siehe auch Nova 2). Zudem enthält der Urin organische Mikroverunreinigungen, vor allem Medikamentenrückstände und Hormone, die in Gewässern ebenso unerwünscht sind wie in der Landwirtschaft (Nova 5).

Die unterschiedlichen Verfahrenstechniken erfüllen verschiedenste Ziele: Der Urin kann stabilisiert und sein Volumen reduziert werden; Stickstoff und Phosphor lassen sich daraus gewinnen oder eliminieren; Bakterien, Viren und Mikroverunreinigungen können entfernt werden [1]. Mit einem Verfahren allein lassen sich jedoch nicht alle Ziele erreichen; es braucht also eine Entscheidung, was erwünscht und was nötig ist.

Für die Urinaufbereitung kommen grundsätzlich biologische (Nova 4-1), chemische (Nova 4-2, 4-3) oder physikalische (Nova 4-3) Prozesse in Frage. Die Vor- und Nachteile der vielen Verfahrenstechniken werden in [1] vertieft diskutiert.

Nova 4-1: Biologische Verfahren – Stabilisieren

(Kai Udert, Tove A. Larsen, Willi Gujer)

Nova 4-1 beschäftigte sich mit der Entwicklung eines biologischen Verfahrens, um Urin zu stabilisieren [2]. In einem Reaktor werden Bakterien gezüchtet. Diese bauen zum einen die organischen Verbindungen im Urin ab, zum anderen wandeln sie einen Teil des Ammoniums in Nitrit oder Nitrat um (Nitrifikation). Dadurch entsteht Säure, die den pH-Wert des Urins von über 9 auf etwa

6 senkt, was verhindert, dass Ammoniak verloren geht. Zugleich eliminieren die biologischen Prozesse unangenehme Gerüche.

Beim Verfahren gewinnt man eine Lösung von Ammoniumnitrat oder Ammoniumnitrit. Die Stickstoffverbindung Ammoniumnitrat ist ein Handelsdünger. Das Ammoniumnitrit dagegen ist für Bodenorganismen giftig. Es kann aber durch eine chemische Oxidation mit Sauerstoff bei einem tiefen pH-Wert leicht in Nitrat [3] oder in einem weiteren biologischen Prozess in unschädliches Stickstoffgas und Wasser umgewandelt werden [2].

Nova 4-2: Chemische Verfahren – Fällung von Phosphor

(Mariska Ronteltap, Max Maurer, Willi Gujer)

Günstige chemische Rahmenbedingungen – hohe pH-Werte – führen dazu, dass in gelagertem Urin Phosphor in Form von schwerlöslichen phosphorhaltigen Salzen ausfällt. In Leitungen führt dies zu Verkrustungen und Verstopfungen (Nova 2). Der Vorgang kann aber auch genutzt werden, um Phosphor zu gewinnen.

Fügt man dem Phosphor gezielt Magnesium bei, lässt er sich als Struvit zurückgewinnen. Struvit (MgNH_4PO_4 , Magnesium-Ammonium-Phosphat, MAP) ist ein attraktives Produkt, denn es kann zwei abwasserrelevante Nährstoffe (P und N) in einen einzigen Feststoff überführen. Zudem ist es ein bewährter Mehrkomponentendünger, der langsam wirkt.

Nova 4-2 untersuchte das Verfahren im Detail, Struvit aus Urin herzustellen [4]. Dabei zeigt sich unter anderem, dass der Grad, wie stark sich der Phosphor eliminieren lässt, wesentlich von der Verdünnung abhängt, in der Regel aber 98 % erreicht. Das produzierte Produkt ist weitgehend frei von Pharmazeutika und Hormonen, und es konnten auch keine Schwermetalle nachgewiesen werden [5].

Struvit kann direkt als Dünger verwendet werden, eignet sich aber nicht für die Weiterverarbeitung in der Phosphorindustrie [1]. In einem Nachfolgeprojekt von Novaquatis werden andere Fällungsprodukte untersucht, die auch für eine solche Weiterverarbeitung in Frage kommen. Beide Möglichkeiten können somit offen gehalten werden.



Braune Sauce: Urin mit Magnesium-Chlorid (Foto Yvonne Lehnhard)



Weisse Weste: Daraus entsteht ein reines Nährstoffpulver (Urindünger Struvit) (Foto Mariska Ronteltap)



Saubere Sache: Analyse der Mikroverunreinigungen (Foto Yvonne Lehnhard)

Nova 4-3: Physikalische Verfahren – Membrantechnologie

(Wouter Pronk, Markus Boller)

Nova 4-3 widmete sich verschiedenen Szenarien der Urinbehandlung mit einem Schwerpunkt auf Membranverfahren. Diese haben drei Ziele: 1) organische Mikroverunreinigungen von den Nährstoffen zu trennen, 2) die Nährstofflösung zu konzentrieren (Volumenreduktion) und 3) Bakterien und Viren abzutrennen oder zu zerstören. Darüber hinaus lassen sich Mikroverunreinigungen mit dem chemischen Prozess der Ozonierung abbauen.

Im Labor wurde der Membranprozess der Nanofiltration getestet. Dieses Verfahren funktioniert nur, wenn der Harnstoff im Urin nicht abgebaut wird. Falls es auch in der Praxis gelingt zu verhindern, dass dies passiert – z. B. durch eine Ansäuerung –, kann mittels Nanofiltration eine Harnstofflösung (ohne Phosphor) produziert werden. Diese Lösung ist weitgehend unbedenklich, ein grosser Teil der organischen Mikroverunreinigungen kann von den Nährstoffen getrennt werden, und Bakterien und Viren werden entfernt [6]. Bei der Nanofiltration werden die Nährstoffe nicht konzentriert – in einem weiteren Projekt wurde für das Aufkonzentrieren die Vakuumverdampfung eingesetzt. Sie reduziert das Volumen einer Harnstofflösung bei 78 °C um 90 % [1].

Ebenfalls im Labor getestet wurden der Membranprozess Elektrodialyse und der chemische Prozess Ozonierung. Durch Elektrodialyse können Ammonium, Phosphor und Kalium vom grössten Teil der Mikroverunreinigungen, aber auch von Mikroorganismen wie Bakterien getrennt werden. Gleichzeitig wird die Nährstofflösung etwa vierfach konzentriert [7]. Eine zusätzliche Ozonierung führt mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu, dass der produzierte Dünger sowohl in Bezug auf die Hygiene als auch auf Pharmazeutika und Hormone einwandfrei ist.

Ein Nachfolgeprojekt setzt Elektrodialyse und Ozonierung im Pilotmassstab in der Kantonsbibliothek BL in Liestal ein [8], um den dort anfallenden Urin zu behandeln (siehe auch Nova PP). Dabei wird eine Nährlösung mit 12g N/Liter, 0,65g P/Liter und 5,7g K/Liter produziert.

Schlussfolgerungen

Die grosse Palette an Verfahren zur Urinaufbereitung bietet viel Flexibilität. Ist zum Beispiel auf dem Lande nur eine Stabilisierung notwendig, um das Ausgasen von Ammoniak beim Ausbringen von Dünger zu verhindern, genügt eine einstufige biologische Behandlung. Will man dagegen in einer Millionenstadt die Nährstoffe verwerten – wie es etwa in Gebieten mit generellem Düngermangel sinnvoll wäre –, steigen die Anforderungen und verschiedene Prozesse müssen kombiniert werden. Nährstoffe können aber auch eliminiert werden, zum Beispiel um empfindliche Gewässer vor einem Nährstoffüberschuss zu schützen.

Alle Verfahren müssen noch weiterentwickelt werden, bevor sie praxistauglich sind. Dank der Forschung von Nova 4 wissen wir jetzt aber genau, welche Verfahren heute zur Verfügung stehen, für welche Zwecke sie sich eignen und wo sie optimiert werden müssen.

In vielen Fällen ist eine separate Eliminierung von Nährstoffen oder deren Recycling sinnvoller als der heutige Zustand. Auch der Energieverbrauch ist dabei in den meisten Fällen kleiner [1, 9].



Arbeitspaket Nova 5

Mikro- verunreinigungen



Wissenschaftlicher Hintergrund

Medikamente und Hormone lassen sich im Auslauf von Kläranlagen, in Oberflächengewässern und im Grundwasser nachweisen. Das bedeutet, dass sie in der Abwasserreinigung nur zum Teil entfernt werden. Dies kann problematisch sein. So beeinflussen etwa die biologisch äusserst wirksamen Hormone die Fortpflanzung von Fischen. Noch ist unklar, wie gravierend das Problem ist. Alleine angesichts der grossen Vielfalt an Stoffen – 2005 waren in der Schweiz 4727 Humanarzneimittel zugelassen – ist jedoch Vorsicht geboten.

Viele Stoffe, die der Mensch aufnimmt, werden im Körper umgewandelt (metabolisiert) und mit dem Urin oder den Fäkalien ausgeschieden. Ein Nachteil, wenn man einen Dünger aus Urin herstellt, sind doch auch in der Landwirtschaft Mikroverunreinigungen unerwünscht (Nova 6). Ein Ziel der Aufbereitungsverfahren in Nova 4 war daher, solche Stoffe zu entfernen. In Nova 5 wurden ökotoxikologische und chemisch-analytische Messmethoden entwickelt, um die Qualität des Urinproduktes zu kontrollieren. Urinseparierung würde sich vorteilhaft auf den Gewässerschutz auswirken, weil dadurch die Stoffe im Urin vom Abwasser ferngehalten würden.

Nova 5-1: Ökotoxikologische Tests zur Qualitätskontrolle von Urin

(Beate Escher, Rik Eggen, Nadine Bramaz)

In Nova 5-1 wurde eine Testbatterie entwickelt, um im Reagenzglas zu ermitteln, ob Pharmazeutika im Urin ein Umweltrisiko (ökotoxikologisches Risiko) darstellen [1, 2]. Die Testbatterie enthält unspezifische Tests, die auf allgemeine Zellschäden reagieren [3]. Darüber hinaus zeigt sie mit spezifischen Tests beispielsweise, ob die Probe Stoffe enthält, die wie Hormone wirken, die Erbsubstanz angreifen oder die Photosynthese von Pflanzen stören [4]. Solche Tests messen also nicht ein einzelnes Medikament und seine Umwandlungsprodukte (Metaboliten), sondern ermitteln die Gesamtbelastung. Um Störungen durch natürliche Inhaltsstoffe des Urins auszuschliessen (z. B. Salze, hoher pH), wurde eine Festphasenextraktionsmethode zur Vorbereitung der Proben entwickelt [1].

Die Testbatterie ermöglicht eine gute Qualitätskontrolle der Aufbereitungsverfahren bezüglich Entfernung von Mikroverunreinigungen (Nova 4). Der Bioreaktor, zum Beispiel, war nicht sehr effizient [5] – die Struvitfällung dagegen sehr: Die untersuchten Mikroverunreinigungen wurden praktisch vollständig entfernt. Die Nanofiltration entfernte 50–90 % der toxischen Wirkung, die Ozonierung – abhängig von der Ozondosis – 55–99 %. Das Fazit: Die Aufbereitungsverfahren wirkten sehr unterschiedlich, und die Resultate der verschiedenen Biotests wichen stark voneinander ab. Die getesteten Verfahren entfernen also unterschiedliche Stoffe unterschiedlich wirksam.

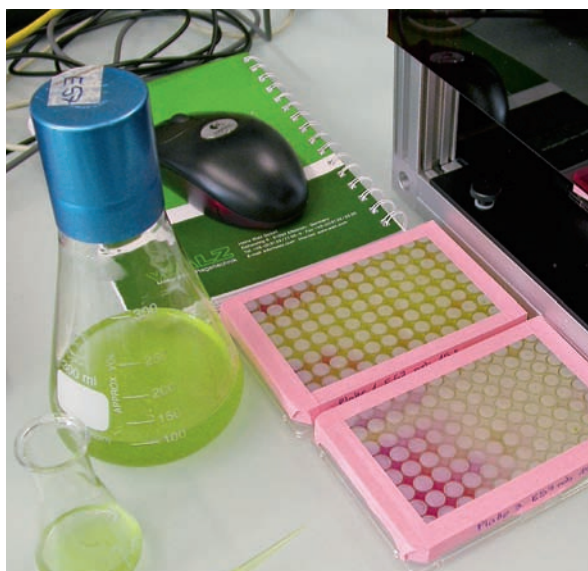
Nova 5-2: Hormone im Urin mit chemischer Analytik messen

(Marc Suter, René Schönenberger)

Im EU-Projekt COMPREHEND wurden Analyseverfahren entwickelt, um europaweit hormonaktive Substanzen im Auslauf von Kläranlagen nachzuweisen [6]. In Nova 5-2 wurde eine dieser neuen chemisch-analytischen Methoden (liquid chromatography/mass spectrometry/mass spectrometry; LC/MS/MS) so angepasst, dass sich auch Hormone im Urin messen lassen: Dem Urin in den Reaktoren von Nova 4 wurde eine bekannte Menge des natürlichen weiblichen Hormons Östradiol und des synthetischen Ethinylöstradiols (Wirkstoff der Antibabypille) zugegeben [5]. Lassen sich diese Hormone wieder eliminieren? Die Elektrodialyse entfernte 98 % der Östrogene. Allerdings blieb ein grosser Teil an den Membranen hängen; diese müssen also in einem separaten Schritt gereinigt werden. Der Bioreaktor baute das natürliche Östradiol nach 24 Stunden zu 89 % ab, das synthetische Hormon der Pille aber nur zu 55 %. Im Struvit liessen sich keine Hormone mehr nachweisen, und auch mit Ozonierung versiegt die östrogene Aktivität.



Testbatterie: In der Hand der Algentest
(Foto Yvonne Lehnhard)



Farbe bekennen: Rötliche Verfärbungen beim YES-Test verraten das Vorhandensein von Östrogenen (Foto Yvonne Lehnhard)



Hightech im Labor: Proben laden für Chromatografie (Foto Yvonne Lehnhard)

Nova 5-3: Pharmazeutika im Urin mit chemischer Analytik messen

(Alfredo Alder, Christa McArdell, Elvira Keller)

Das EU-Projekt Poseidon (<http://poseidon.bafg.de/>) untersuchte Technologien in Kläranlagen zur Entfernung von Pharmazeutika. In Nova 5-3 sollte die in Poseidon entwickelte chemische Analytik für Abwasser auf Urin übertragen werden. Vergleichsmessungen zeigten jedoch, dass die Methode dafür unbrauchbar war. Mit anderen Verfahren aus Nova 4-3 konnten dennoch Einzelsubstanzen gemessen werden [5].

Nova 5-4: Beitrag der Urinseparierung zum Gewässerschutz

(Judith Lienert, Beate Escher, Karin Güdel, Timur Bürki)

Nova 5-4 untersuchte, ob Urinseparierung zum Gewässerschutz beitragen kann, und wurde vom Bundesamt für Umwelt mitfinanziert (BAFU; www.bafu.admin.ch). Die Unterschiede zwischen 212 Wirkstoffen (das entspricht 1409 pharmazeutischen Produkten) waren riesig. So wurden zum Beispiel Röntgenkontrastmittel zu 90–100 % mit dem Urin ausgeschieden, ein Krebsmedikament dagegen nur zu 6 %, ein anderes wiederum zu 98 %. Im Durchschnitt wurde 64 % eines Stoffes mit dem Urin ausgeschieden. Ebenfalls im Durchschnitt wurde 42 % eines Stoffes im Körper umgewandelt und in Form von Metaboliten ausgeschieden. Diese befanden sich dann in erster Linie im Urin [7].

Eine Screening-Methode ermöglichte es, das Risikopotenzial von ausgeschiedenen Pharmazeutika für die Umwelt abzuschätzen. Sie basiert auf Literaturdaten, zum Beispiel zu den chemischen Eigenschaften des Wirkstoffes und seiner Umwandlung (Metabolisierung) im Körper, sowie auf der Verkaufsmenge von Medikamenten. Die Methode wurde anhand von Herzmedikamenten (Beta-Blocker) entwickelt. Bei ihnen deckte die Testbatterie von Nova 5-1 einen unerwarteten Effekt auf: Sie hemmen die Photosynthese von Algen [4]. Die Methode wurde dann auf das Vogelgrippemedikament Tamiflu angewendet, das im Körper zu 75 % metabolisiert wird (nicht publizierte Daten). Das mit der Screening-Methode geschätzte ökotoxikologische Risikopotenzial von Tamiflu scheint klein zu sein.

In einem nächsten Schritt wurden 42 weitere Wirkstoffe untersucht [8]. Bei 34 von ihnen verringerte sich das toxische Potenzial durch die Metabolisierung im menschlichen Körper. Das ökotoxikologische Risikopotenzial der einzelnen Wirkstoffe, die nach der Metabolisierung ausgeschieden wurden, war eher klein. Es gab aber Ausnahmen: Insbesondere Ibuprofen, das in vielen Schmerzmitteln vorkommt, stellt ein relativ hohes Risiko für die Umwelt dar. Die Unterschiede des Wirkungsbereichs waren beträchtlich: Manche Wirkstoffe entfalteten ihr Risikopotenzial grösstenteils im Urin, andere dagegen in den Fäkalien. Die Screening-Methode hat Grenzen, wir schätzen jedoch aufgrund der uns bekannten wenigen Daten, dass das ökotoxikologische Risikopotenzial von Pharmazeutika in Urin und Fäkalien etwa gleich hoch ist.

Schlussfolgerungen

Die chemische und ökotoxikologische Analytik erbrachte den Nachweis, dass sich Pharmazeutika und Hormone im Urin mit Aufbereitungsverfahren aus Nova 4 entfernen lassen. Nicht alle Verfahren waren jedoch gleich effektiv [5]. Viele Pharmazeutika kommen nur in Spuren vor und lassen sich mit chemischer Analytik kaum messen. Chemische Methoden sind sinnvoll, um etwa Abbauvorgänge einzelner Stoffe zu charakterisieren. Ökotoxikologische Tests eignen sich gut, um die Gesamtoxizität natürlicher Urinproben zu schätzen [1, 2]. Dabei gilt es zu beachten, dass bereits die natürlichen Inhaltsstoffe des Urins in einigen Biotests Effekte auslösen [5].

Urinseparierung kann zum Schutz der Gewässer vor Mikroverunreinigungen beitragen. Doch selbst bei einer vollständigen Implementierung entledigt man sich mit ihr nicht aller Pharmazeutika und Hormone im Abwasser [7]. Basierend auf einer Schätzmethode und wenigen Daten gehen wir davon aus, dass Urinseparierung etwa die Hälfte des ökotoxikologischen Risikopotenzials eliminieren würde [8].



Arbeitspaket Nova 6

Landwirtschaft



Wissenschaftlicher Hintergrund

Nährstoffe aus menschlichem Urin könnten in der Schweiz rund 37 % des Stickstoff-, 20 % des Phosphor- und 15 % des Kaliumbedarfs ersetzen, die heute durch künstliche Mineraldünger gedeckt werden [1]. Ursprünglich war das Ziel von Nova 6, die Möglichkeiten und Probleme eines solchen Urin-Recyclings zu untersuchen. Leider konnten wir für diese Forschungsprojekte keinen Geldgeber gewinnen. Externe Partner halfen aber mit, zwei wichtige Fragen zu klären: Würde ein Urindünger in Landwirtschaft und Bevölkerung Anklang finden? Und wirkt aufbereiteter Urin ähnlich gut wie Kunstdünger?

Nova 6-1: Wird Urindünger akzeptiert?

(Judith Lienert, Michel Haller, Alfred Berner, Michael Stauffacher, Tove A. Larsen)

Im Jahr 2000 verschickten wir 467 Fragebögen an Deutschschweizer Landwirte und unterschieden zwischen vier Produktionsarten: Bio, Integrierter Produktion (IP), ohne und mit Gemüseanbau [1]. Die Rücklaufquoten der einzelnen Gruppen waren unterschiedlich und generell tief (Antwort von 127 Landwirten). Die Ergebnisse sind deshalb nicht repräsentativ, geben aber wichtige erste Hinweise.

57 % der Landwirte halten Urindünger für eine gute Idee. 42 % würden sich den Dünger beschaffen – vor allem diejenigen, die ohnehin Dünger zukaufen. Weil dies in erster Linie die IP-Produktion und den Gemüseanbau betrifft, hätte Urindünger dort vermutlich die besten Marktchancen. Allerdings wäre kein Landwirt bereit, mehr zu bezahlen als für herkömmliche Dünger. Die meisten bevorzugten einen Stickstoffdünger in Form von Ammoniumnitrat. Zudem ziehen sie ein Granulat einem Flüssigdünger vor, und sie lehnen Uringeruch ab. Grundsätzliche Bedingung: Das Produkt muss risikofrei sein. 30 % der Landwirte äusserten Bedenken, Urindünger könnte Mikroverunreinigungen, etwa Medikamentenrückstände, enthalten.

Die Bevölkerung scheint ähnlich positiv eingestellt zu sein (Nova 1). Auch diese Gruppe würde aber nur Lebensmittel kaufen, die mit Urindünger behandelt wurden, wenn sie risikofrei sind. Krankheitserreger und Medikamente aus dem Urin zu entfernen,

kommt deshalb eine hohe Priorität zu – zum Beispiel für die Befragten einer Fokusgruppenstudie (Nova 1, [2]). Zwei Drittel der 501 Befragten in der Kantonsbibliothek BL (Nova PP) würden den Urindünger auch im eigenen Garten benutzen oder damit gedüngtes Gemüse kaufen (Ergebnisse noch nicht veröffentlicht). Das restliche Drittel war aus Ekel oder gesundheitlichen Bedenken eher gegen einen Urindünger.

Nova 6-2: Topfversuche mit Urindünger

(Jürgen Simons, Joachim Clemens)

Eine Dissertation der Universität Bonn ermittelte in Gewächshausversuchen, wie sich die Urinprodukte aus Nova 4 als Dünger eignen [3, 4]. Als Testpflanzen dienten ein Weidelgras (*Lolium multiflorum italicum*) und Rotklee (*Trifolium pratense*). Die Arbeit verglich beim Stickstoff sieben Substrate – darunter unbehandelter Urin sowie die Produkte aus Nova 4-1 (biologischer Reaktor) und Nova 4-3 (Nanofiltration, Elektrodialyse) – mit einem künstlichen Mineraldünger (Kalkammonsalpeter). Zudem verglich sie fünf Phosphordünger, darunter Struvit (MAP; Nova 4-2), mit dem Kunstdünger Superphosphat.

Die Ergebnisse: Pflanzen, die mit Urin-Stickstoff gedüngt wurden, lieferten praktisch den gleichen Ertrag wie Mineraldünger und entzogen dem Boden die gleiche Menge Stickstoff. Unterschiede zwischen den getesteten Düngern lassen sich durch pH-Unterschiede und daraus resultierende Verluste von Ammoniak erklären. So waren Pflanzen, die mit angesäuertem Urin mit pH4 gedüngt wurden, signifikant ertragreicher als solche, die unbehandelten Urin mit pH9 erhielten.

Die getesteten Phosphordünger unterschieden sich vom Kunstdünger – sowohl im Ertrag als auch im Entzug von Phosphat aus dem Boden. Mit Magnesium gefällte Phosphate, darunter der Eawag-Struvit (MAP), lieferten gleich gute Werte wie der Kunstdünger. Hingegen wirkten z. B. die Dünger von Phosphat aus Klärschlamm, das mit Eisen gefällt wurde, signifikant schlechter. Allgemein waren die Struvite aus der dezentralen Abwasserbehandlung homogener als diejenigen aus der Kläranlage – bezüglich Zusammensetzung und Düngewirkung. Die Unterschiede lassen sich nicht abschliessend erklären; es besteht also noch



Urindünger nach Mass: «Urevit» wird genau abgemessen (Foto Martin Koller)



Gülle oder Urin: Maispflanzen werden im Feldversuch gedüngt (Foto Martin Koller)



Salat mit Kopf: Viele Leute akzeptieren einen Urindünger (Foto Yvonne Lehnhard)

Forschungsbedarf, beispielsweise um die Herstellungsprozesse zu analysieren und optimieren.

einem Zwischenschritt liesse sich der Dünger für nicht-landwirtschaftliche Zwecke verwenden, zum Beispiel für Zierpflanzen in lokalen Gärtnereien.

Nova 6-3: Feldversuche mit Urindünger

(Martin Koller, Alfred Berner, Wouter Pronk, Steffen Zuleeg, Markus Boller, Judit Lienert)

Der Urin aus der Kantonsbibliothek BL soll nach der Behandlung durch Elektrodialyse und Ozonierung als Dünger verwendet werden (Nova PP). Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL; www.fibl.org) ermittelte deshalb 2006 im Auftrag von Novaquatis die Düngereigenschaften des Urins. Der Versuch wurde auf einem IP-Betrieb durchgeführt – mit Silomais, der viel Stickstoff benötigt. Hier verglich man den Urindünger «Urevit» mit Rindergülle, Kompogas-Presswasser, organischem Handelsdünger (Federmehl) und künstlich hergestelltem, mineralischem Stickstoffdünger (Ammonsalpeter). «Urevit» ist stabiler als Roh-Urin, die Nährstoffe sind etwa dreimal konzentrierter, und er ist – soweit messbar – frei von Bakterien, Viren und Mikroverunreinigungen.

Wichtigste Erkenntnis: «Urevit» eignet sich als Dünger. Nach dem Hauptwachstum war der «Urevit»-Mais gleich hoch und wies die gleiche Blattfarbe auf wie der mineralisch gedüngte Mais; beide lagen vor den Pflanzen, die mit Rindergülle oder Federmehl behandelt wurden. Weil beim Mais die Blattfarbe eng mit der Stickstoffversorgung der Pflanze korreliert, bedeutet dies: «Urevit» und Mineraldünger wirken am Anfang gleich schnell. Allerdings lieferte der «Urevit»-Mais – wie der Kompogas- und Federmehl-Mais – eine um 15 % signifikant tiefere Ernte als der mineralisch gedüngte. Vermutlich ging beim Ausbringen von «Urevit» Stickstoff verloren, was aber mit optimierter Urinaufbereitung und Ausbringtechnik eingeschränkt werden könnte. Heute werden Dünger oft mit Schleppllauchverteiltern ausgebracht. Würde «Urevit» gratis an Landwirte abgegeben, wären die Kosten für diese Ausbringtechnik ungefähr gleich wie bei Ammonsalpeter. Damit wird «Urevit» für Landwirte wirtschaftlich interessant.

Das Amt für Industrielle Betriebe BL (AIB; Nova PP) erhielt für «Urevit» eine provisorische Düngerbewilligung des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW; www.blw.admin.ch) – eine definitive gibt es nur, wenn strenge Qualitätskriterien erfüllt werden. In

Schlussfolgerungen

In Nova 6 konnten wichtige landwirtschaftliche Kontakte geknüpft werden, so mit dem BLW (Nova 6-3), mit dem FiBL (Nova 6-1, 6-3) und mit der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART; www.art.admin.ch). Landwirtschaftsvertreter erachten die vorsichtige Vorgehensweise von Novaquatis als richtig – so lassen sich ähnlich polemische Diskussionen vermeiden, die zum Verbot von Klärschlamm in der schweizerischen Landwirtschaft führten. Bauern und Bevölkerung (Nova 6-1) stehen einem Urindünger positiv gegenüber. Beide Gruppen betonen aber, dass jedes Risiko – zum Beispiel durch Mikroverunreinigungen – ausgeschlossen werden muss. Solche Stoffe müssen wirksam entfernt werden (Nova 4). Absolute Sicherheit gibt es jedoch nie. Deswegen sollte in Folgeprojekten eine gesellschaftliche Diskussion die ökotoxikologischen Abklärungen (Nova 5) begleiten. Hier sollte man auch Landwirtschaftsvertreter, Konsumentenorganisationen und die grossen Lebensmittelverteiler einbeziehen.

Dank Nova 6 wissen wir heute, welche Reaktionen von Landwirten und Bevölkerung zu erwarten sind und welche Schritte bei der schweizerischen Markteinführung eines Urindüngers folgen sollten. Wir wissen auch, dass sich Urinprodukte gut als Dünger eignen und Kunstdüngern meist ebenbürtig sind. Allerdings ist Dünger heute sehr billig – zumindest in Industrieländern. Es stellt sich deshalb die Frage, wie weit sich eine aufwändige Düngherstellung, wie sie in Novaquatis im Versuchsmassstab durchgeführt wurde, auch lohnt. Zahlreiche Gegenden der Erde leiden jedoch unter Nährstoffmangel (z. B. Afrika, China). Hier bietet sich die Verwendung von Urin als Pflanzendünger geradezu an.



Arbeitspaket Nova 7

Beurteilung



Wissenschaftlicher Hintergrund

Im Zentrum von Nova 7 steht die Beurteilung der Vor- und Nachteile der NoMix-Technologie. Bewertungen von Technologien sind grundsätzlich immer schwierig – ganz besonders, wenn diese noch gar nicht existieren. Wie wollen wir zum Beispiel die Gesamtkosten oder den Energieverbrauch erheben, wenn erst Prototypen im Labor stehen? Und wie können wir alle unterschiedlichen Aspekte gebührend berücksichtigen? Nova 7-1 fasst die Hauptresultate von Novaquatis zusammen, die während der gesamten Projektdauer erarbeitet wurden. Nova 7-2 erprobt einen methodischen Ansatz, der in einem konkreten Szenario verschiedene NoMix-Alternativen mit einer konventionellen Lösung vergleicht. Die Varianten basieren auf den Präferenzen realer Akteure.

Nova 7-1: Beurteilung der NoMix-Technologie

(Tove A. Larsen, Max Maurer, Kai Udert, Judit Lienert)

Die NoMix-Technologie erlaubt es, Nährstoffe mit einem relativ kleinen Eingriff ins Abwassersystem umfassend zu eliminieren oder rezyklieren [1]. Ob – und in welcher Form – sich die Technologie lohnt, hängt aber stark von der bestehenden Infrastruktur und der Umweltsituation ab. Die NoMix-Technologie lohnt sich vor allem dort, wo strenge Vorschriften für das Einleiten von Nährstoffen gelten. Zudem überzeugt sie in Gegenden, wo es wirtschaftlich sinnvoll ist, Nährstoffe in die Landwirtschaft zurückzuführen.

In [2] werden viele Grundlagen bereitgestellt, um die Bedeutung der NoMix-Technologie zu ermitteln. In den globalen Kreisläufen spielen Nährstoffe aus dem menschlichen Stoffwechsel keine grosse Rolle. Den Stickstoffkreislauf dominieren die biologische und industrielle Stickstofffixierung. Nur rund 5 % der globalen Produktion reaktiven Stickstoffes werden von Menschen ausgeschieden. Beim globalen Phosphorkreislauf dominiert wahrscheinlich die Landwirtschaft. Dagegen spielen bei den Gewässern Phosphor und Stickstoff aus Abwasser eine grosse Rolle. Es lohnt sich also, nach effizienten Möglichkeiten zu suchen, sie zu entfernen – vor allem in dicht besiedelten Gebieten, wo das Abwasser den grössten Teil der Nährstoffflüsse darstellt oder die herkömmliche Technologie sogar an Grenzen stösst. In der Schweiz zum Beispiel beim Greifensee, weil dort die Qualitätsziele für Phosphor nicht

eingehalten werden können. Ein gutes internationales Beispiel ist die chinesische Stadt Kunming (siehe Nova 8). Global gesehen werden in Zukunft Nährstoffe aus dem Abwasser wegen des Bevölkerungswachstums eine grössere Rolle spielen. Auch in Europa ist ein Trend zu strengeren Emissionsgrenzwerten für Nährstoffe erkennbar. Urinseparierung wäre auch vorteilhaft für den Gewässerschutz, weil sich das ökotoxikologische Risiko von menschlichen Medikamenten schätzungsweise halbieren liesse (siehe Nova 5). In Ländern mit chronischem Mangel an Nährstoffen in der Landwirtschaft bildet Abwasser eine lokale Ressource. Die darin enthaltenen Nährstoffe werden am besten durch Massnahmen an der Quelle wiedergewonnen.

Die NoMix-Technologie kann eine Kläranlage von einer Energieverbraucherin in eine Energieproduzentin umwandeln: Statt 11 Watt pro Person zu verbrauchen, können 2 Watt Primärenergie pro Person erzeugt werden, weil viele Prozesse energieeffizienter ablaufen und sich die Energie im Abwasser besser nutzen lässt [3]. So könnte die Abwasserwirtschaft *ihren* Beitrag zur «2000-Watt-Gesellschaft» leisten, der Zielvorstellung des Bundesrates, den schweizerischen Verbrauch an Primärenergie von 6000 auf 2000 Watt pro Person zu senken. Auch bei der Düngerherstellung liesse sich Energie sparen, falls Stickstoff und Phosphor energieeffizient für die Landwirtschaft aufbereitet würden [4]. Wegen der immer schlechteren Qualität des künstlichen Phosphordüngers – die noch vorhandenen mineralischen Phosphorressourcen weisen einen hohen Schwermetallgehalt auf – lohnt sich das Recycling von relativ reinem Phosphor aus Urin [2]. Beim Stickstoff spielen vor allem Überlegungen zu Energie und Qualität des produzierten Düngers eine Rolle.

Da die NoMix-Technologie aus Sicht der Umwelt viele Vorteile aufweist, dominieren beim Entscheid für oder gegen NoMix die anthropogenen Aspekte: Wird die Technologie akzeptiert (Nova 1)? Und kann sie kostengünstig oder zumindest kostenneutral eingeführt werden? Noch lässt sich nicht vollständig abschätzen, wie hoch die Kosten der NoMix-Technologie sein werden. Berechnungen in [5] zeigen aber, dass in der Schweiz Investitionen von rund 1250–2100 CHF pro Haushalt in die NoMix-Technologie die heutigen Gesamtkosten nicht anheben würden. Dies bedingt jedoch einen gut geplanten Übergang der Systeme, denn die



Viel Abwasser, grosse Leitungen, grosse Kläranlagen: Möglicherweise geht es auch anders (Foto Christian Abegglen)



Potenzial in jedem Badezimmer: Lohnt es sich, in Zukunft Neubausiedlungen mit NoMix-Technologie auszurüsten? (Foto Andri Bryner)

zusätzlichen Investitionen in die NoMix-Technologie müssten durch geringere Investitionen in Kläranlagen finanziert werden. Um diese Kosten einzuhalten, dürfen aber die gesamten Betriebskosten für beide Systeme nicht steigen.

Nova 7-2: Strukturierung des NoMix-Entscheidungsprozesses

(Mark Borsuk, Max Maurer, Judit Lienert, Tove A. Larsen)

Nova 7-2 ist primär ein methodisches Projekt, um verschiedene Optionen der NoMix-Technologie in einem spezifischen Szenario miteinander zu vergleichen [6]. Als Basis diente eine Entscheidungsanalyse unter Berücksichtigung unterschiedlichster Kriterien. Diese wurde auf die Überbauung Glattpark angewendet, die zurzeit im Norden von Zürich entsteht. Das Abwasser aus der Überbauung wird in der Kläranlage Kloten/Opfikon behandelt, die schon heute ihre Belastungsgrenze erreicht hat. Dies führte zur Hypothese, man könnte mit der NoMix-Technologie einen teuren Ausbau der Kläranlage vermeiden oder zumindest hinauszögern.

In einem ersten Schritt wurden die Ziele der fünf wichtigsten Akteure ermittelt. Anschliessend wurden verschiedene Optionen danach beurteilt, wie gut jede von ihnen die Ziele der verschiedenen Akteure erfüllt. Die wichtigsten Optionen: (A) NoMix-WCs nur in der Glattpark-Überbauung, um die Stickstoffbelastung der Kläranlage auszugleichen (Nova 3-1); (B) NoMix-WCs im ganzen Einzugsgebiet der Kläranlage mit separater Behandlung des Urins; (C) Ausbau der Kläranlage ohne Urinseparierung. Im letzten Schritt wurde für jeden Akteur eine Rangliste der Optionen erstellt, von der beliebtesten bis zur unbeliebtesten. Zusätzlich wurde mit einer Sensitivitätsanalyse die Bedeutung von unsicheren Annahmen für das Szenario untersucht.

Die Resultate zeigen: Es gibt keine einzelne Option, die für alle Akteure gleichermassen interessant ist. Die Gemeinde dürfte erhebliche Einsparungen erzielen, wenn Urin im ganzen Einzugsgebiet getrennt gesammelt und behandelt würde. Die Haushalte dagegen werden die NoMix-Technologie nur akzeptieren, falls ein sehr komfortables NoMix-WC zur Verfügung steht und die Gemeinde dessen höhere Kosten subventioniert. Ein genügend günstiges NoMix-WC lässt sich aber nur in Serienproduktion her-

stellen – und dafür ist die Planungszeit des Glattparks zu kurz. Die Sensitivitätsanalyse zeigt aber auch, dass wenn Umweltfragen ein stärkeres Gewicht erhalten, die NoMix-Option schnell auch zu einem höheren Preis interessant wird. So gibt es Hinweise, dass das neue Umweltproblem «Mikroverunreinigungen» die Prioritäten zu ihren Gunsten verschieben könnte.

Schlussfolgerungen

Die NoMix-Technologie ist attraktiv, weil sie das Potenzial hat, mit einem kleinen Eingriff energieeffizient zum Umweltschutz beizutragen. Sowohl global als auch in Europa bietet die NoMix-Technologie gegenüber der heutigen Situation Vorteile; insbesondere die Gewässer werden entlastet, weil die Nährstoffemissionen aus dem Abwasser stark begrenzt werden können. Bevorzugte erste Anwendungsgebiete wären Gegenden, wo ein hoher Bevölkerungsdruck zu einer starken Nährstoffüberlastung der Gewässer führt. Zudem kann die NoMix-Technologie dort zur sinnvollen lokalen Düngerquelle werden, wo es an Nährstoffen für die Landwirtschaft mangelt. Kombiniert mit einer konventionellen «End-of-Pipe»-Technologie mit Kanal und Kläranlage fürs restliche Abwasser kann das NoMix-Konzept durchaus auch in Europa wirtschaftlich konkurrenzfähig werden, stehen doch zum Beispiel jedem Schweizer Haushalt bis zu über 2000 CHF für Investitionen in die NoMix-Technologie zur Verfügung. Es ist jetzt die Aufgabe der Wissenschaft, in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft die entsprechende NoMix-Technologie zu diesem Preis zu entwickeln.



Arbeitspaket Nova 8

China



Wissenschaftlicher Hintergrund

Nova 8 befasste sich mit der Einführung der NoMix-Technologie in Schwellenländern. Dort wird heute bei der Abwasserreinigung meist die konventionelle «End-of-Pipe»-Lösung bevorzugt. Massnahmen an der Quelle wie zum Beispiel Urinseparierung könnten eine vernünftige Alternative darstellen – nicht zuletzt wegen des hohen demografischen Drucks und der häufig sehr begrenzten Geld- und Wasserressourcen dieser Länder. Wo noch keine Kanalisation existiert, haben Schwellenländer mehr Planungsspielraum als typische europäische Länder.

Kunming, die Hauptstadt der Provinz Yunnan im Südwesten Chinas und Partnerstadt der Stadt Zürich, wurde für Nova 8 als Pilotgebiet ausgewählt. Die Grossstadt mit etwa 2.4 Mio. Einwohnerinnen und Einwohnern liegt am flachen Dianchi-See, der stark mit Phosphor überdüngt ist. Bis 2020 erwartet man ein Anwachsen der Stadt auf 4.5 Mio. Einwohnerinnen und Einwohner. In den letzten Jahrzehnten wurden sechs moderne Kläranlagen gebaut; dennoch verbesserte sich die Wasserqualität des Dianchi-Sees nicht.

Die Projekte wurden vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF; www.snf.ch) und der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA; www.deza.admin.ch) finanziert und im nationalen Schweizer Forschungsschwerpunkt NCCR Nord-Süd durchgeführt (NCCR North-South; www.nccr-north-south.unibe.ch). Interessensvertreter in Kunming förderten die Arbeit sehr stark. Eine unentbehrliche Unterstützung, unter anderem um an Daten und andere Informationen zu gelangen.

Nova 8-1: Stoffflussanalyse von Abwasser

(Dong-Bin Huang, Hans-Peter Bader, Willi Gujer, Ruth Scheidegger, Roland Schertenleib)

In einer Doktorarbeit wurde eine Methodik für die Stoffflussanalyse von Abwasser und dessen Inhaltsstoffe und Verunreinigungen in Schwellenländern entwickelt, abgestimmt auf die speziellen Anforderungen solcher Gebiete. Die bedeutendsten Merkmale sind dabei der Mangel an Daten sowie die rasante städtische Entwicklung. Die Arbeit evaluierte verschiedene Strategien der

Abwasserbehandlung auf Basis der Stoffflussanalyse, einschliesslich diverser Massnahmen an der Quelle [1].

Exemplarisch wurde Kunming modelliert. Die wichtigste Erkenntnis: Die sechs Kläranlagen reinigen nur rund 25 % des Abwassers; der Rest wird verschmutzt in den See geleitet. Ein Hauptgrund dafür ist, dass sauberes Wasser – vor allem Grund- und Flusswasser – in die Kanalisation infiltriert und so das Abwasser mindestens 1:1 verdünnt wird. Die Folge: Jährlich gelangen rund 1600 von insgesamt 1960 Tonnen Phosphor aus dem Abwasser der Stadt in den See. Ambitiöses Ziel der lokalen Behörden wäre aber, die Wasserqualität von 1960 wieder herzustellen, was bedeutet, dass nur noch etwa 30 Tonnen Phosphor pro Jahr aus dem Abwasser in den See geleitet werden dürften. Dies erst noch unter der Voraussetzung, dass Landwirtschaft und Industrie ähnliche Anstrengungen unternehmen [1]. Der Dianchi-See ist eigentlich zu klein und zu flach, um das Abwasser einer derart riesigen Stadt aufzunehmen. Ganz abgesehen davon muss er auch noch weitere Phosphorquellen verkraften.

Die Modellierung zeigte, dass selbst mit «perfekter» Technologie – wie sie etwa in Zürich annähernd vorhanden ist – die Ziele für den See nicht erreicht werden können. Noch immer würden mindestens 56 Tonnen Phosphor pro Jahr in den See geleitet. Könnte da die Urinseparierung helfen? Die Modellierung ergab: Würde der Urin zu zwei Dritteln separiert und diese Massnahme die «perfekte» Kläranlagentechnologie ergänzen, so würde das Ziel mit 39 Tonnen Phosphor pro Jahr aus dem Abwasser nur knapp verfehlt [1].

Die wirkliche Herausforderung liegt nun darin, vernünftige Massnahmen so zu kombinieren, dass sie sowohl realistisch sind als auch zum ehrgeizigen Ziel führen. Klar ist, dass es unterschiedliche Lösungen geben muss: für die Gebiete in der Stadt und auf dem Land sowie für die alten Stadtteile in «Downtown Kunming» und die neu wachsenden, die noch über keine Infrastruktur verfügen.



Blühende Stadt, blühender Dianchi-See: Das Abwasser der Stadt Kunming führt zu massiver Überdüngung und Algenblüte (Foto Edi Medilanski)



NoMix-Technologie, made in China: Die Fäkalien werden in der hinteren Kammer gesammelt, der Urin fliesst in eine Kanne (Bild Lin Jiang)

Nova 8-2: Einführung der Urinseparierung

(Edi Medilanski, Liang Chuan, Zhi Guoqiang, Hans-Joachim Mosler, Roland Schertenleib, Tove A. Larsen)

Welche Lösungen für die oben diskutierten Probleme ziehen die lokalen Expertinnen und Experten vor? Zunächst wurde die Situation vor Ort analysiert, um Entscheidungsprozesse zu verstehen und die lokalen Akteure zu ermitteln [2]. Danach wurden Exponentinnen und Exponenten von 32 verschiedenen Interessensgruppen jeweils zwei Stunden lang interviewt, um ihre Einstellung zu Massnahmen an der Quelle im Allgemeinen und zur Urinseparierung im Speziellen zu erfahren [3].

Wichtigster Akteur – nebst den obersten politischen Gremien und verschiedenen Umweltschutz- und Planungsämtern – ist das Amt für den Schutz des Dianchi-Sees [2]. Dieser Behörde kommt eine Schlüsselrolle bei allen Entscheiden über den See zu. Lokale Experten wiesen auch auf die wichtige Rolle privater Immobilienfirmen hin, die über die Möglichkeit verfügen, alternative Abwassertechnologien zu fördern oder abzulehnen. Auch die Forschungsinstitutionen spielen bei den Entscheiden eine grosse Rolle, können sie doch vorgängig Pilotprojekte durchführen. Nova 8-2 zeigte, dass erfolgreiche Pilotprojekte sehr grosse Vorhaben auslösen können (siehe unten).

Fast alle lokalen Expertinnen und Experten stehen Massnahmen an der Quelle sehr positiv gegenüber [3]. Im Gegensatz zu europäischen Fachleuten sehen sie diese aber eher bei den konzentrierten Abwasserströmen wie Toilettenabwasser als bei den «sauberen» Abwässern wie Regen- und Flusswasser. Die Befragten erkannten die Probleme der heute vorhandenen Technologien, wie zum Beispiel der Trockentoiletten, sehr gut. Dennoch ist die Stimmung gegenüber technischen Entwicklungen optimistisch, und solche Massnahmen werden in der Gesellschaft zunehmend akzeptiert.

Zu Nova 8-2 gehörte ein Pilotprojekt mit Urin separierenden Trockentoiletten im ländlichen Raum [4, 5]. Dieses war insgesamt sehr erfolgreich und löste Pläne aus, mehr als 100 000 Trockentoiletten in ähnlichen Gebieten einzubauen.

Schlussfolgerungen

Die «End-of-Pipe»-Abwasserbehandlung stösst in schnell wachsenden Städten von Schwellenländern mit grossem Bevölkerungsdruck und knappen Süsswasserressourcen an ihre Grenzen. Die Urinseparierung kann in Kunming einen wichtigen Beitrag zur Lösung des Abwasserproblems leisten. Ländliche und urbane Gebiete benötigen dabei vermutlich unterschiedliche Lösungen. Klar ist, dass die Stadt Kunming die Sanierung des Sees wegen des grossen Bevölkerungsdrucks vorantreibt – eine äusserst anspruchsvolle Aufgabe. Gleichzeitig ist man in der sehr dynamischen Stadt stark gewillt, sich auf Neues einzulassen. In solch schnell wachsenden Gebieten lassen sich konkrete Massnahmen auch rasch umsetzen.



Arbeitspaket Nova PP

Pilotprojekte



Hintergrund

Jede Innovation muss sich in der Realität bewähren; eine Technologie lässt sich nur durch Praxisprojekte weiterentwickeln. NoMix-Pilotprojekte sind besonders anspruchsvoll, denn die WCs müssen von Menschen im eigenen Badezimmer getestet werden, noch bevor sie den Standard konventioneller Toiletten erreicht haben ([1]; siehe auch Beitrag «Praktische Hinweise»).

Grosse Sanitärfirmen zögern, in NoMix-WCs zu investieren, so lange der Markt klein ist ([2]; Nova 2). Ein grosser Markt entsteht aber nur, wenn wir grosse Demonstrationsprojekte durchführen können – und diese wiederum sind wegen der Mängel der NoMix-WCs heikel. Eine klassische Zwickmühle. Der einzige Ausweg: Pilotprojekte mit heutiger Technologie durchführen – so gut es eben geht [1]. Wir danken allen, die sich in der Praxis an Pilotprojekten beteiligt haben, für ihren Mut zum Abenteuer NoMix. Novaquatis hat sehr viel daraus gelernt.

Pilotprojekt I: Privatwohnungen

(Koordination: Judit Lienert)

In einer städtischen Überbauung wurden 2001 vier Wohnungen mit Roediger NoMix-WCs (www.roevac.com) inklusive Tank im Keller ausgerüstet. Die Initiative kam vom ökologisch motivierten Bauherrn. Bund, Kanton und Stadt unterstützten das Projekt finanziell, Novaquatis begleitete es wissenschaftlich. Das Ziel: die Akzeptanz der NoMix-WCs im Haushalt (Nova 1) und das Funktionieren im Alltag zu untersuchen (Beitrag «Praktische Hinweise»). Zusätzlich wurden Daten zur Urinmenge gesammelt (Nova 3). Anfangs gestaltete sich der Kontakt zu den Bewohnerinnen und Bewohnern schwierig; er wurde jedoch besser, als nur noch eine einzige Person von Novaquatis dafür zuständig war. 2003 mussten wegen schadhafter Keramik zwei WCs ersetzt werden – auf Wunsch der Bewohnerinnen und Bewohner durch konventionelle Toiletten: Ein Kleinkind hatte Probleme mit der Benutzung, die andere Partei war generell skeptisch. Die verbleibenden zwei Parteien akzeptierten die NoMix-WCs gut. Dennoch wurden auch sie 2005 wegen schlechter Keramik beziehungsweise defektem Urinablauf ersetzt. Da es sich um das einzige Pilotprojekt in Haushalten handelte, sind die Erfahrungen äusserst wertvoll für

Novaquatis und die Sanitärindustrie (Nova 2). Die Firma Roediger nahm die Rückmeldungen auf und verbesserte unter anderem die Keramik.

Pilotprojekt II: Bürogebäude Eawag

(Koordination: Judit Lienert)

Das erste NoMix-WC der Eawag (www.wost-man-ecology.se) wurde 1997 installiert und 2003 wegen Verstopfungen wieder ausgebaut. Zwei weitere NoMix-WCs (www.dubblotten.nu) und drei wasserlose Urinale wurden 2000 in der Nähe von Cafeteria und Hörsaal installiert und mit einem Tank verbunden. Urin und technische Anlagen wurden für die Forschung benutzt (Nova 2 bis Nova 5). Sozialwissenschaftliche Untersuchungen ergaben eine hohe Akzeptanz der NoMix-WCs (Nova 1). Allerdings bemerkten insbesondere viele Eawag-Mitarbeitende, dass die Technologie noch nicht ausgereift ist. Besucherinnen und Besucher dagegen waren weniger kritisch. Eine gute Wartung der Sanitäreinrichtungen war unerlässlich, da sonst schnell – berechtigterweise – reklamiert wurde. Das neue Bürogebäude der Eawag wurde 2006 eröffnet und ist vollständig mit der NoMix-Technologie ausgerüstet (www.forumchriesbach.eawag.ch). Diese lässt sich so auch nach Abschluss von Novaquatis in einem grösseren Rahmen testen.

Pilotprojekt III: Gewerbeschule

(Claude Lüscher, Maximilian Mayer)

Die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) betrieb von 2002 bis 2004 drei NoMix-WCs und sechs wasserlose Urinale in einer Gewerbeschule [3]. Hauptziel war, verschiedene Modelle zu testen und Erfahrungen zu sammeln. Die Akzeptanz war gross. Viele Benutzerinnen und Benutzer erklärten in Befragungen, sie seien bereit, ihr Verhalten ans NoMix-WC anzupassen – zum Beispiel sich zu setzen (Nova 1). Die NoMix-WCs und Urinale funktionierten meist zufriedenstellend. Einzelne Urinale verbreiteten einen unangenehmen Geruch, vor allem wenn sie nicht gemäss Herstellerangaben gereinigt wurden. Eine gute Wartung ist also sehr wichtig. Im Tank wurden tiefe Stickstoff- und Phosphorgehalte gemessen – vermutlich weil der Urin mit Spülwasser verdünnt wurde. Die



Anschluss an die Zukunft: Ein Sanitärinstallateur richtet ein NoMix-WC in einer Privatwohnung ein (Foto Timur Bürki)



Auf dem Weg zum NoMix: Ein bekanntes Signet weist den Weg zu einer noch wenig bekannten Innovation an der Eawag (Foto Yvonne Lehnhard)

praktischen Erkenntnisse waren für die Auslegung von Tank und Leitungen im grösseren Pilotprojekt IV sehr wertvoll.

Pilotprojekt IV: Kantonsbibliothek Basel-Landschaft in Liestal

(Koordination: Gerhard Koch)

Das Amt für Industrielle Betriebe Basel-Landschaft (AIB) lancierte in einer Bibliothek, die 2005 eröffnet wurde, das erste schweizerische Pilotprojekt mit voller Implementierung der NoMix-Technologie ([4]; www.kbbl.ch). Das Ziel: Alternativen in der Siedlungswasserwirtschaft zu prüfen und die NoMix-Technologie zu testen. Es handelt sich dabei weltweit um eines der ersten Projekte mit moderner Verfahrenstechnologie zur Aufbereitung von Urin im Massstab einer Versuchsanlage. Der Urin von ca. 200000 Besucherinnen und Besuchern pro Jahr lagert im Tank und wird mit einem Tankwagen zur Aufbereitungsanlage gebracht. Diese wird vom ETH-Projekt «Novatlantis» (www.novatlantis.ch) finanziell unterstützt. Nach Laborversuchen an der Eawag (Nova 4) wurde als Aufbereitungsverfahren eine Kombination von Elektrodialyse und Ozonierung [5] gewählt. Damit soll ein stabiler, hygienisch einwandfreier Dünger produziert werden, der frei von Mikroverunreinigungen ist. Der Dünger erhielt eine provisorische Bewilligung (Beitrag «Praktische Hinweise»), und seine Wirkung wurde 2006 in Feldversuchen geprüft (Nova 6). Ein Meinungsforschungsinstitut ermittelte im Auftrag von Novaquatis die Akzeptanz der NoMix-WCs. Die Ergebnisse fielen auch bei der breiten Bevölkerung so positiv aus wie in früheren Umfragen (Nova 1).

Schlussfolgerungen

Um die Entwicklung der NoMix-Technologie voranzutreiben, sind weitere Pilotprojekte nötig. Diese sind kompliziert, teuer – und riskant, denn schlechte Erfahrungen können jede Innovation zunichte machen. Längerfristig braucht es deshalb bessere NoMix-WCs (Nova 2).

In öffentlichen Gebäuden lassen sich Pilotprojekte mit heutigen NoMix-WCs gut einrichten, wenn das Personal den erhöhten Wartungsaufwand übernimmt. Die Bevölkerung ist gerne bereit,

hygienische NoMix-Anlagen zu benutzen (Nova 1). In privaten Haushalten dagegen empfehlen wir Zurückhaltung; nicht alle Menschen möchten mit den Nachteilen von NoMix-WCs im eigenen Bad leben. Private Pilotprojekte sind möglich, wenn die Bewohnerinnen und Bewohner wissen, worauf sie sich einlassen. Ideal wäre eine sozialwissenschaftliche Begleitung, um die vielen offenen Forschungsfragen zu klären [1].

Ein klares Ziel und ein früher Einbezug aller Akteure tragen zum Erfolg des NoMix-Pilotprojektes bei ([1]; Beitrag «Praktische Hinweise»). Die Innovation hat weit reichende Konsequenzen für die Siedlungswasserwirtschaft. Deshalb sollten NoMix-Pilotprojekte von Abwasserbehörden und anderen Entscheidungsträgern auf allen politischen Ebenen sowie von privaten Investoren unterstützt werden. Wir hoffen, dass die Erfahrungen aus Novaquatis weitere Kreise ermutigen, trotz Hürden in die NoMix-Technologie einzusteigen.



«Mami, wie geht das?» Einfacher als man denkt, doch leider haben gerade Kinder Probleme, das richtige Abteil zu treffen (Foto Ruedi Keller)



Die richtige Mischung: NoMix-WCs reinigt man z.B. mit 10 % Zitronensäure und Mikrofasertuch, um den Urin nicht zu vergiften (Foto Ruedi Keller)

Praktische Hinweise

Eignet sich ein NoMix-WC für mich?

(Judith Lienert, Tove A. Larsen)

Grundsätzliches. Sie finden Urinseparierung eine interessante Option und möchten NoMix-WCs installieren. Ein vorbildliches Vorhaben! Bei der Realisierung Ihres Wunsches gilt es, einige wesentliche Aspekte zu beachten, steckt doch die Technologie noch in den Kinderschuhen. So sollten Sie klar wissen, welches Ziel Sie mit NoMix-WCs verfolgen. Rechtfertigt dieses die höheren Kosten – und etwa den erheblich grösseren Reinigungsaufwand? Noch erfüllen Urin separierende Toiletten nicht in allen Punkten den gewohnten Standard heutiger konventioneller WCs.

Ein Hauptproblem ist die Ausfällung von Urinstein – dieser verstopft unweigerlich die Leitungen (Nova 2). NoMix-WCs müssen daher wie wasserlose Urinale gut gewartet werden. Zudem sind viele Komponenten der NoMix-Technologie noch gar nicht fertig entwickelt oder marktreif; so bietet etwa erst ein einziges Unternehmen ein Aufbereitungsverfahren für Urin an. In Schweden empfiehlt man, den Urin zur Hygienisierung sechs Monate zu lagern, bevor er als Dünger verwendet wird. In der Schweiz aber muss der Dünger erst eine Zulassung erhalten und zugleich strenge Kriterien erfüllen.

Novaquatis verfügt über langjährige Erfahrungen mit NoMix-Pilotprojekten. Dieser Beitrag bietet einen Überblick über unser heutiges Wissen und verweist auf wichtige Quellen (ausführliche Infos: [1]). Er dient dazu, grundsätzliche Aspekte schon bei der Planung zu berücksichtigen, damit sich Ihr NoMix-Projekt auch im Alltag bewährt.

Vor Projektbeginn

Ziel. Das Ziel des NoMix-Pilotprojektes muss im Voraus klar sein. Was sich trivial anhört, ist in der Praxis entscheidend für den Erfolg. Die übergeordneten Ziele der Urinseparierung – wie Entlastung der Kläranlage oder Recycling von Nährstoffen – sind nämlich in einem Einzelprojekt nicht relevant. Sie kommen erst

ab einer gewissen Grösse zum Tragen. Realistische Projektziele können etwa die Weiterentwicklung von Komponenten wie der Urinaufbereitung oder die Akzeptanz von NoMix-WCs im Haushalt sein.

Früher Einbezug aller Akteure. Gerade beim Einbau von NoMix-WCs in Haushalte ist es unerlässlich, alle Beteiligten sehr früh einzubeziehen. Wichtige Akteure sind Haushaltsmitglieder, Hauswarte und -verwaltung, Putzpersonal, Architektinnen und Sanitärinstallateure, Kläranlagenbetreiber, Ingenieurinnen und Planer, Gemeindeverwaltung, Behörden, Politiker und Wissenschaftlerinnen. Nur wenn sie alle bereit sind, auch mit den Nachteilen der NoMix-Technologie zu leben, wird das Projekt gelingen.

Rechtliches, Verwendung des Urins. Ein NoMix-Pilotprojekt benötigt in der Schweiz wegen der Anschlusspflicht an Kanalisation und Kläranlage eine Bewilligung [2–3]. In einem Vertrag sollte festgehalten werden, wer die Risiken trägt (Funktionsstörungen, Unfälle) und wer einen allfälligen Rückbau bezahlt. Wir empfehlen, schriftliche Vereinbarungen mit den Hauptakteuren (z. B. Mietern) zu treffen.

Schon zu Beginn des Projektes muss festgelegt werden, was mit dem Urin geschehen soll. Dünger benötigen eine Zulassung, die in der Schweiz das Bundesamt für Landwirtschaft erteilt [4–5]. Die momentan einzige (provisorische) Schweizer Düngerbewilligung für den Urin aus der Kantonsbibliothek BL führt strenge Qualitätskriterien auf (Nova PP). Der Urin kann auch für den Nährstoffausgleich in Kläranlagen benutzt werden (Nova 3) oder um Aufbereitungsverfahren zu entwickeln (Nova 4). Falls das Projekt dagegen zum Beispiel die Untersuchung der Akzeptanz im Alltag zum Ziel hat, kann der Urin auch ohne weitere Verwendung in die Kanalisation geleitet werden (Nova 1).

Technologische Aspekte

NoMix-WCs und wasserlose Urinale. Mit wasserlosen Urinalen kann unverdünnter Urin von Männern gesammelt werden. Der Markt bietet eine breite Vielfalt an Systemen und Modellen [6]. Allen Urinalen gemeinsam ist, dass sie gut gewartet werden



Ohne Wartung läuft nichts (ab): Urinale müssen gemäss Herstellerangaben gewartet werden, um Verstopfungen vorzubeugen (Foto Ruedi Keller)



Urin frisch ab Fass: Bei Bedarf kann an der Entnahmestelle im Forum Chriesbach der Urin in einen Tankwagen gepumpt werden (Foto Karin Güdel)

müssen, andernfalls entstehen lästige Gerüche, unansehnliche Tröpfchen und Verstopfungen. Eine gute Lüftung hilft, Geruchsproblemen vorzubeugen.

NoMix-WCs haben zwei Spülsysteme [7]: z. B. bei Dubbletten wird das Urinabteil separat mit sehr wenig Wasser gespült (8ml–2dl). Dies spart Wasser – vorausgesetzt, man benutzt danach nicht die grosse Spülung, um das WC-Papier wegzuspülen, sondern entsorgt es separat. Neuere NoMix-WCs verfügen über eine konventionelle Doppelspülung (klein: 2–3l/ gross: 6–7l). Trotzdem gelangt wenig (2.5dl, Gustavsberg) oder – dank eines raffinierten Verschlussmechanismus – gar kein (Roediger) Wasser in den Urintank. Diese NoMix-WCs sparen also kein Wasser im Vergleich zu einem modernen WC mit Doppelspülung, das wenig verschmutzte WC-Papier muss aber auch nicht separat entsorgt werden.

Der Nachteil des Roediger-WCs: Man muss sich ganz setzen, um den Urinablauf zu öffnen. Bei den anderen WCs genügt für die Männer – bei denen Sitzen generell unbeliebt ist – weiterhin genaues Zielen. Wasserlose Urinale können hier eine Alternative sein. Frauen wiederum setzen sich aus Hygienegründen ungern auf öffentliche WCs. Manche Benutzer finden die Sitzposition ungewohnt. Vor allem Kinder haben Probleme, das richtige Abteil zu treffen, was den Putzaufwand erhöht. Dubbletten löst dieses Problem mit einem separat erhältlichen Kindersitz [7].

Reinigen und Warten. Eine breite Akzeptanz lässt sich nur mit guter Wartung erreichen. Öffentliche Sanitäranlagen müssen mindestens täglich gereinigt werden. Falls kein Wasser und nur unschädliche Chemikalien in den Tank gelangen sollen, empfiehlt sich zum Beispiel eine Reinigung mit feuchtem Mikrofaser Tuch und 10-prozentiger Zitronensäure [1].

Ein Hauptproblem der NoMix-WCs stellt das Ausfällen von Urinstein dar, was die Siphons und Leitungen verstopft (Nova 2, [8–9]). Um solchen Ausfällungen vorzubeugen, kann der Urinablauf regelmässig mit Säure gespült werden [1]. Eine Verstopfung lässt sich mit starker Säure, Lauge oder mechanisch lösen [8–9]. Wer bereits beim Bau einige Massnahmen beachtet, vermeidet spätere Verstopfungen eher: möglichst stark geneigte Leitungen (mindestens 2–5%), keine engen Winkel, keine unzugänglichen

Stellen sowie Rohre mit einem grossen Durchmesser von 65–110 mm (weitere Infos: [1, 6]). Wasserlose Urinale fangen die Fällungsprodukte häufig in Siphons auf, die regelmässig ausgetauscht werden müssen, um Ablaufprobleme zu verhindern.

Speichern von Urin, Transport und Aufbereitung. Der Urintank muss den Projektanforderungen entsprechend dimensioniert werden, wasser- und geruchsdicht sein sowie beständig gegenüber Urin und starken Säuren. Er muss mit einem Überlauf versehen sein und eventuell über ein Rührwerk, Probeentnahmestellen sowie eine Pumpvorrichtung verfügen [1, 6]. Da beim Tank oft üble Gerüche auftreten, ist eine gute Lüftung äusserst wichtig.

Zum Transport von Urin siehe Nova 3. Die Firma Huber bietet einen Struvitreaktor an, um Phosphor aus dem Urin zurückzugewinnen [10]. Alle anderen Verfahren der Urinaufbereitung stecken noch in der Labor- oder Pilotphase und warten auf eine Weiterentwicklung (Nova 4). Eventuell könnte dies das Ziel Ihres NoMix-Projektes sein?

Kosten. Eine Innovation ist immer teurer als eine bewährte Technologie, für die bereits ein grosser Markt mit grosser Nachfrage existiert. Urinseparierung bildet da keine Ausnahme. NoMix-WCs kosten etwa doppelt so viel wie konventionelle. Hinzu kommen Urinleitungen, -tank, -transport und -aufbereitung. Muss darüber hinaus in Prototypen investiert werden, erhöhen sich die Kosten weiter. Wir verzichten deshalb auf konkrete Preisangaben (Überblick in [6–7]).

Schlussfolgerungen

Es gibt gute Gründe, NoMix-Toiletten zu installieren. Wer immer ein solches Projekt lancieren will, sollte sich aber bewusst sein, dass er damit zu den Pionieren gehört. Verglichen mit konventionellen Toiletten müssen Sie bei NoMix-WCs mit höheren Kosten und anderen Nachteilen rechnen. Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit Ihrem Projekt. Unser Team berät und unterstützt Sie gerne mit weiteren Informationen und dem ausführlichen Artikel [1]: novaquatis@eawag.ch.

Publikationen

Einführung

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

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

Larsen, T.A., I. Peters, A. Alder, R. Eggen, M. Maurer, J. Muncke (2001) Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. *Environmental Science & Technology* 35(9): 192A–197A.

Larsen, T.A., M. Maurer, K.M. Udert, J. Lienert (submitted) Nutrient cycles and resource management: Implications for the choice of wastewater treatment technology. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007, submitted to *Water Science and Technology*.

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

Nova 1 – Akzeptanz

- [1] Pahl-Wostl, C., A. Schönborn, N. Willi, J. Muncke, T.A. Larsen (2003) Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48(1): 57–65.
- [2] Thiemann, K. (2006) Neue Dinge für eine nachhaltige Entwicklung. Ansätze zu einer Kulturpsychologie nachhaltigen Produktdesigns. Inauguraldissertation der Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern zu Erlangung der Doktorwürde. Universität Bern, Schweiz.
- [3] Lienert, J., K. Thiemann, R. Kaufmann-Hayoz, T.A. Larsen (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.
- [4] Lienert, J., T.A. Larsen (2006) Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: A case study of NoMix toilets. *Environmental Science & Technology* 40(16): 4838–4844.
- [5] Larsen, T.A., J. Lienert (2003) Societal implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online* March 2003. UNIQUE ID: 200303006. www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm

Nova 2 – Sanitärtechnologie

- [1] Larsen, T.A., J. Lienert (2003) Societal Implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online* March 2003. UNIQUE ID: 200303006. www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm
- [2] Udert, K.M., T.A. Larsen, W. Gujer (2003) Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply* 3(3): 71–78.
- [3] Udert, K.M., T.A. Larsen, M. Biebow, W. Gujer (2003) Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Research* 37(11): 2571–2582.
- [4] Udert, K.M., T.A. Larsen, W. Gujer (2003) Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37(11): 2667–2677.
- [5] Udert, K.M., R. Högger, T.A. Larsen, W. Gujer (2004) Urinausfällungen in Urinalen und NoMix-Toiletten. Installateur 11-2004: 46–48. Vereinigung Schweizerischer Sanitär- und Heizungsfachleute, VSSH, www.vssh.ch
- [6] Udert, K.M., R. Högger, T.A. Larsen, W. Gujer (2004) Fällungsprodukte in Urinalen und NoMix-Toiletten. *gwa (Gas Wasser Abwasser)* 12/2004: 913–920.

Nova 3 – Lagerung und Transport

- [1] Larsen, T.A., W. Gujer (1996) Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34(3–4): 87–94.
- [2] Huisman, J.L., S. Burckhardt, T.A. Larsen, P. Krebs, W. Gujer (2000) Propagation of waves and dissolved compounds in sewer. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* 126(1): 12–20.
- [3] Larsen, T.A., W. Gujer (1997) The concept of sustainable urban water management. *Water Science and Technology* 35(9): 3–10.
- [4] Rossi, L., J. Lienert, W. Rauch (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), May 2004. Proceedings, vol 2, Lyon, France: 919–926.
- [5] Rauch, W., D. Brockmann, I. Peters, T.A. Larsen, W. Gujer (2003) Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* 37(3): 681–689.
- [6] Rossi, L., J. Lienert, T.A. Larsen (submitted) Real-life efficiency of urine source separation: experience from households and an institutional setting. Submitted to *Water Research*.
- [7] Spörri, C., I. Peters, T.A. Larsen, P. Reichert (in preparation) A micro-simulation model for optimizing urine tank management strategies of NoMix toilets. In preparation for *Water Research*.

Nova 4 – Verfahrenstechnik

- [1] Maurer, M., W. Pronk, T.A. Larsen (2006) Treatment processes for source separated urine. *Water Research* 40(17): 3151–3166.
- [2] Udert, K.M., C. Fux, M. Münster, T.A. Larsen, H. Siegrist, W. Gujer (2003) Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine. *Water Science and Technology* 48(1): 119–130.
- [3] Udert, K.M., T.A. Larsen, W. Gujer (2005) Chemical nitrite oxidation in acid solutions as a consequence of microbial ammonium oxidation. *Environmental Science & Technology* 39(11): 4066–4075.
- [4] Ronteltap, M., M. Maurer, W. Gujer (2007) Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. *Water Research* 41(5): 977–984.
- [5] Ronteltap, M., M. Maurer, W. Gujer (in press) The behaviour of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine. Accepted for publication in *Water Research*.
- [6] Pronk, W., H. Palmquist, M. Biebow, M. Boller (2006) Nanofiltration for the separation of pharmaceuticals from nutrients in source-separated urine. *Water Research* 40(7): 1405–1412.
- [7] Pronk, W., M. Biebow, M. Boller (2006) Electrodialysis for recovering salts from a urine solution containing micropollutants. *Environmental Science & Technology* 40(7): 2414–2420.
- [8] Pronk, W., S. Zuleeg, J. Lienert, B. Escher, M. Koller, A. Berner, G. Koch, M. Boller (submitted) Pilot experiments with electrodialysis and ozonation for the production of a fertilizer from urine. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007, submitted to *Water Science and Technology*.
- [9] Maurer, M., P. Schwegler, T.A. Larsen (2003) Nutrients in urine: energetical aspects of removal and recovery. *Water Science and Technology* 48(1): 37–46.

Nova 5 – Mikroverunreinigungen

- [1] Escher, B.I., N. Bramaz, M. Maurer, M. Richter, D. Sutter, C. von Känel, M. Zschokke (2005) Screening test battery for pharmaceuticals in urine and wastewater. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(3): 750–758.
- [2] Escher, B.I., N. Bramaz, R.I.L. Eggen, M. Richter (2005) In vitro assessment of modes of toxic action of pharmaceuticals in aquatic life. *Environmental Science & Technology* 39(9): 3090–3100.

- [3] Escher, B.I., R.I.L. Eggen, U. Schreiber, Z. Schreiber, E. Vye, B. Wisner, R.P. Schwarzenbach (2002) Baseline toxicity (narcosis) of organic chemicals determined by in vitro membrane potential measurements in energy-transducing membranes. *Environmental Science & Technology* 36(9): 1971–1979.
- [4] Escher, B.I., N. Bramaz, M. Richter, J. Lienert (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(23): 7402–7408.
- [5] Escher, B.I., W. Pronk, M. J.-F. Suter, M. Maurer (2006) Monitoring the removal efficiency of pharmaceuticals and hormones in different treatment processes of source-separated urine with bioassays. *Environmental Science & Technology* 40(16): 5095–5101.
- [6] Eggen, R.I.L., B.-E. Bengtsson, C.T. Bowmer, A.A.M. Gerritsen, M. Gibert, K. Hylland, A.C. Johnson, P. Leonards, T. Nakari, L. Norrgren, J.P. Sumpter, M.J.-F. Suter, A. Svenson, A.D. Pickering (2003) Search for the evidence of endocrine disruption in the aquatic environment: Lessons to be learned from joint biological and chemical monitoring in the European Project COMPREHEND. *Pure and Applied Chemistry* 75(11–12): 2445–2450.
- [7] Lienert, J., T. Bürki, B.I. Escher (submitted) Reducing micropollutants with source control: Substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in feces and urine. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007, submitted to *Water Science and Technology*.
- [8] Lienert J., K. Güdel, B.I. Escher (submitted) Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. Submitted to *Environmental Science & Technology*.

Nova 6 – Landwirtschaft

- [1] Lienert, J., M. Haller, A. Berner, M. Stauffacher, T.A. Larsen (2003) How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48(1): 47–56.
- [2] Pahl-Wostl, C., A. Schönborn, N. Willi, J. Muncke, T.A. Larsen (2003) Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48(1): 57–65.
- [3] Simons, J. (2006) N- und P-Wirksamkeit von Substraten der zentralen und dezentralen Abwasserbehandlung. Kapitel für Dissertation am Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn, Deutschland. Publikation in internationaler Fachzeitschrift geplant (mit J. Clemens und J. Lienert).
- [4] Simons, J., J. Lienert, J. Clemens (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, 10.–14.9.2006. www.iwa2006beijing.com

Nova 7 – Beurteilung

- [1] Larsen, T. A., I. Peters, A. Alder, R. Eggen, M. Maurer, J. Muncke (2001) Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. *Environmental Science & Technology* 35(9): 192A–197A.
- [2] Larsen, T.A., M. Maurer, K.M. Udert, J. Lienert (submitted) Nutrient cycles and resource management: Implications for the choice of wastewater treatment technology. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007, submitted to *Water Science and Technology*.
- [3] Wilsenach, J.A., M.C.M. van Loosdrecht (2006) Integration of processes to treat wastewater and source-separated urine. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* 132(3): 331–341.
- [4] Maurer, M., P. Schwegler, T. A. Larsen (2003) Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery. *Water Science and Technology* 48(1): 37–46.

- [5] Maurer, M., D. Rothenberger, T.A. Larsen (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.
- [6] Borsuk, M.E., J. Lienert, M. Maurer, Larsen, T.A. (in preparation) Using decision analysis to chart a path for innovative toilet technology. In preparation for *Decision Analysis*.

Nova 8 – China

- [1] Huang, D.-B., H.-P. Bader, R. Scheidegger, R. Schertenleib, W. Gujer (in press) Confronting limitations: new solutions required in urban water management in Kunming City. *Journal of Environmental Management* doi: 10.1016/j.jenvman.2006.05.004 (available online).
- [2] Medilanski, E., L. Chuan, H.-J. Mosler, R. Schertenleib, T.A. Larsen (in press) Identifying the institutional decision process to introduce decentralized sanitation in the city of Kunming (China). Accepted for publication in *Environmental Management*.
- [3] Medilanski, E., L. Chuan, H.-J. Mosler, R. Schertenleib, T.A. Larsen (2006) Wastewater management in Kunming, China: a stakeholder perspective on measures at the source. *Environment and Urbanization* 18(2): 353–368.
- [4] Kunming Institute of Environmental Science (2005) Implementation, monitoring and promotion of urine-separating dry toilets in Zhonghe Village, Kunming, China. www.nccr-north-south.unibe.ch/document/document.asp?ID=3731&contextID=3&refTitle=WP3&Context=WP&subcon=Pub
- [5] Chuan, L., L. Ronghuai, F. Jinming, A. Morel, E. Medilanski (2005) Social acceptance of urine-diverting dry toilets in Zhonghe Villlage, Kunming, China. www.nccr-north-south.unibe.ch/document/document.asp?ID=3732&contextID=3&refTitle=WP3&Context=WP&subcon=Pub

Nova PP – Pilotprojekte

- [1] Lienert, J., T.A. Larsen (submitted) Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals. Erhältlich bei: novaquatis@eawag.ch
- [2] Larsen, T.A., J. Lienert (2003) Societal implications of re-engineering the toilet. *Water Intelligence Online* March 2003. UNIQUE ID: 200303006. www.iwaponline.com/wio/2003/03/default001.htm
- [3] Mayer, M. (2004) Urinseparation – Praktische sanitärtechnische Erfahrungen aus 2-jährigem Betrieb einer Anlage zur separaten Gewinnung von Urin. *Kurzbericht der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)*.
- [4] Kühni, M., G. Koch, E. Ott (2002) Zukunftsweisende Sanitär- und Abwassertechnik – erstes Pilotprojekt der Schweiz für Urinseparierung, -speicherung und -steuerung im technischen Massstab. *gwa (Gas Wasser Abwasser)* 11/2002: 827–835.
- [5] Pronk, W., S. Zuleeg, J. Lienert, B. Escher, M. Koller, A. Berner, G. Koch, M. Boller (submitted) Pilot experiments with electrodialysis and ozonation for the production of a fertilizer from urine. Accepted for presentation at IWA Advanced Sanitation Conference, Aachen, 12.–13.3.2007, submitted to *Water Science and Technology*.

Praktische Hinweise

- [1] Lienert, J., T.A. Larsen (submitted): Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals. Erhältlich bei: novaquatis@eawag.ch
- [2] Gewässerschutzgesetz: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (24.01.1991). SR-Nr 814.20. Download: www.admin.ch/ch/d/sr/c814_20.html, letzter Besuch der Webseite: 13.12.2006, email: webmaster@admin.ch

- [3] Gewässerschutzverordnung (28.10.1998). SR-Nr 814.201. Download: www.admin.ch/ch/d/sr/c814_201.html, letzter Besuch der Webseite: 13.12.2006, email: webmaster@admin.ch
- [4] Düngerbuch-Verordnung (28.02.2001). SR-Nr 916.171.1. Download: www.admin.ch/ch/d/sr/c916_171_1.html, letzter Besuch der Webseite: 13.12.2006, email: webmaster@admin.ch
- [5] Dünger-Verordnung (10.01.2001). SR-Nr 916.171. Download: www.admin.ch/ch/d/sr/c916_171.html, letzter Besuch der Webseite: 13.12.2006, email: webmaster@admin.ch
- [6] ecosan/GTZ (2005). Technical data sheets for ecosan components. Draft versions available at: www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH; ecological sanitation (ecosan), letzter Besuch der Webseite: 13.12.2006, Kontakt: Christine Werner, ecosan@gtz.de
- [7] Homepages NoMix WC: www.dubbletten.nu (info@dubbletten.nu), www.wost-man-ecology.se (info@wost-man-ecology.se), www.gustavsberg.com (info@gustavsberg.com), www.roevac.com (info@roevac.com), letzter Besuch der Webseiten: 13.12.2006.
- [8] Udert, K.M., R. Högger, T.A. Larsen, W. Gujer (2004) Urinausfällungen in Urinalen und NoMix-Toiletten. *Installateur* 11-2004: 46–48. Vereinigung Schweizerischer Sanitär- und Heizungsfachleute, VSSH, www.vssh.ch
- [9] Udert, K.M., T.A. Larsen, W. Gujer (2003) Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply* 3(3): 71–78.
- [10] Hans Huber AG, Berching, Deutschland. Information: www.huber.de – Maschinenteknik – Kleinkläranlagen und dezentrale Abwasserbehandlung – die Zukunft beginnt bei uns selbst, desar@huber.de, letzter Besuch der Webseite: 13.12.2006.

Personen

Projektleitung Novaquatis

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Max Maurer (Feb. – Sep. 2001), Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Projektleitungsteam

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Alfredo Alder, Eawag, Abteilung Umweltchemie (Uchem)

Prof. Dr. Rik Eggen, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox), Direktion

Dr. Max Maurer, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Prof. Dr. Irene Peters (bis 2002), ehemals Eawag, heute: Institut Stadt-, Regional- und Umweltplanung, Infrastrukturplanung und Stadttechnik, Technische Universität Hamburg-Harburg, Deutschland, www.tuhh.de/stadtplanung/

Lenkungsausschuss

Michel Carrard, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, Bern, Schweiz, www.bafu.admin.ch

Walter Dinkel (bis 2003), früher Amt für Industrielle Betriebe Kanton Basel-Landschaft (AIB), heute: Kantonsobeningenieur, Tiefbauamt des Kantons Bern, Schweiz, www.bve.be.ch/site/index/tba.htm

Prof. Dr. Willi Gujer (seit 2004), Eawag, Direktion/Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), ETH Zürich, Schweiz, www.ifu.ethz.ch/

Roland Högger, Leiter Umwelt und Nachhaltigkeit, Geberit International AG, Jona, Schweiz, www.geberit.com

Dr. Markus Koch, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Abteilung Gewässerschutz, Sektion Abwasserreinigungsanlagen, Schweiz, www.awel.zh.ch/
www.gewaesserschutz.zh.ch

Regula Mäder, Stadträtin Gesundheit und Umwelt, Opfikon, Schweiz, www.opfikon.ch/de/politik/exekutive/

Dr. Walter Richner, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Abteilung Gewässerschutz/Stoffhaushalt, Schweiz, www.art.admin.ch

Toni von Arx (seit 2004), Amt für Industrielle Betriebe Kt. Basel-Landschaft (AIB), Liestal, Schweiz, www.baselland.ch/docs/bud/aib/main_aib.htm

Prof. Dr. A.J.B. Zehnder (bis 2004), früher Direktor der Eawag, heute: Präsident des ETH-Rates, Zürich, Schweiz, www.ethrat.ch/

Nova 1 – Akzeptanz

Nova 1-1 **Prof. Dr. Claudia Pahl-Wostl**, ehemals Eawag, heute: Lehrstuhl für Stoffstrommanagement, Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück, Deutschland, www.usf.uni-osnabrueck.de/usf/

Nova 1-2 **Prof. Dr. Ruth Kaufmann-Hayoz**, Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie (IKAÖ), Universität Bern, Schweiz, www.ikaoe.unibe.ch

Kirsten Thiemann, Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie (IKAÖ), Universität Bern, Schweiz, www.ikaoe.unibe.ch

Nova 1-3 **Dr. Judit Lienert**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 2 – Sanitärtechnologie

Nova 2-1 **Dr. Tove A. Larsen**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

PD Dr. Bernhard Truffer, Eawag, Abteilung Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung (Cirus)

Nova 2-2 **Dr. Kai Udert**, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Prof. Dr. Willi Gujer, Eawag, Direktion/Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), ETH Zürich, Schweiz, www.ifu.ethz.ch

Nova 3 – Lagerung und Transport

Nova 3-1 **Prof. Dr. Wolfgang Rauch**, ehemals Eawag, heute: Institut für Infrastruktur – Arbeitsbereich Umwelttechnik, Universität Innsbruck, Österreich, www.uibk.ac.at/umwelttechnik/

Prof. Dr. Willi Gujer, Eawag, Direktion/Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), ETH Zürich, Schweiz, www.ifu.ethz.ch

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 3-2 **Dr. Luca Rossi**, ehemals Eawag, heute: Environmental Science and Technology Institute, Ecological Engineering Laboratory (ENAC-ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Schweiz, <http://ecol.epfl.ch/>

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 3-3 **Christian Spörri**, Eawag, Abteilung Systemanalyse und Modellierung (Siam)

Prof. Dr. Peter Reichert, Eawag, Abteilung Systemanalyse und Modellierung (Siam)/ Direktion

Prof. Dr. Irene Peters, ehemals Eawag, heute: Institut Stadt-, Regional- und Umweltplanung, Infrastrukturplanung und Stadttechnik, Technische Universität Hamburg-Harburg, Deutschland, www.tuhh.de/stadtplanung/

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 4 – Verfahrenstechnik

Nova 4-1 **Dr. Kai Udert**, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Prof. Dr. Willi Gujer, Eawag, Direktion/Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), ETH Zürich, Schweiz, www.ifu.ethz.ch

Nova 4-2 **Mariska Ronteltap**, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Dr. Max Maurer, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Prof. Dr. Willi Gujer, Eawag, Direktion/Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), ETH Zürich, Schweiz, www.ifu.ethz.ch

Nova 4-3 **Dr. Wouter Pronk**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Prof. Dr. Markus Boller, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 5 – Mikroverunreinigungen

Nova 5-1 **PD Dr. Beate Escher**, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox)

Prof. Dr. Rik Eggen, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox), Direktion

Nadine Bramaz, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox)

Nova 5-2 **Dr. Marc Suter**, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox)

René Schönenberger, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox)

Nova 5-3 **Dr. Alfredo Alder**, Eawag, Abteilung Umweltchemie (Uchem)

Dr. Christa McArdell, Eawag, Abteilung Umweltchemie (Uchem)

Elvira Keller, Eawag, Abteilung Umweltchemie (Uchem)

Nova 5-4 **Dr. Judit Lienert**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

PD Dr. Beate Escher, Eawag, Abteilung Umwelttoxikologie (Utox)

Karin Güdel, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Timur Bürki, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 6 – Landwirtschaft

Nova 6-1 **Dr. Judit Lienert**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Michel Haller, ehemals Eawag/Student ETH Zürich

Alfred Berner, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz, www.fibl.org

Michael Stauffacher, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften (UNS), ETH Zürich, Schweiz, www.uns.ethz.ch

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 6-2 **Jürgen Simons**, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Fachbereich Pflanzenernährung, Universität Bonn, Deutschland, www.ipe.uni-bonn.de

Dr. Joachim Clemens, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Fachbereich Pflanzenernährung, Universität Bonn, Deutschland, www.ipe.uni-bonn.de

Nova 6-3 **Martin Koller**, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz, www.fibl.org

Alfred Berner, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz, www.fibl.org

Dr. Wouter Pronk, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Steffen Zuleeg, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Prof. Dr. Markus Boller, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 7 – Beurteilung

Nova 7-1 **Dr. Tove A. Larsen**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Max Maurer, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Kai Udert, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Nova 7-2 **Dr. Mark Borsuk**, ehemals Eawag, heute: Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA, www.dartmouth.edu/

Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Dr. Max Maurer, Eawag, Abteilung Ingenieurwissenschaften (Ing)

Dr. Judit Lienert, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova 8 – China

- Nova 8-1 **Dong-Bin Huang**, ehemals Eawag, heute: Institut für Umweltentscheidungen (IED), ETH Zürich, Schweiz, www.ied.ethz.ch
Dr. Hans-Peter Bader, Eawag, Abteilung Systemanalyse und Modellierung (Siam)
Ruth Scheidegger, Eawag, Abteilung Systemanalyse und Modellierung (Siam)
Roland Schertenleib, Eawag, Direktion
Prof. Dr. Willi Gujer, Eawag, Direktion/Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), ETH Zürich, Schweiz, www.ifu.ethz.ch
- Nova 8-2 **Dr. Edi Medilanski**, ehemals Eawag, heute: High Performance Organisations AG, 8807 Freienbach, Schweiz, www.hpo.ch
Liang Chuan, Sustainable Development Research, Yunnan Academy of Social Sciences (YASS), 650034 Kunming, China
Zhi Guoqiang, Kunming Institute of Environmental Science (KIES), 650032 Kunming, China
Prof. Dr. Hans-Joachim Mosler, Eawag, Abteilung Systemanalyse, Integrated Assessment und Modellierung (Siam)
Roland Schertenleib, Eawag, Direktion
Dr. Tove A. Larsen, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Nova PP – Pilotprojekte

- PP I **Dr. Judit Lienert (Projektkoordination)**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)
- PP II **Dr. Judit Lienert (Projektkoordination)**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)
- PP III **Claude Lüscher**, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Hochschule für Life Sciences, Institut für Ecopreneurship (IER), Basel, Schweiz, www.fhnw.ch/lifesciences
Maximilian Mayer, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Hochschule für Life Sciences, Institut für Ecopreneurship (IER), Basel, Schweiz, www.fhnw.ch/lifesciences
- PP IV **Gerhard Koch (Projektkoordination)**, Amt für Industrielle Betriebe Kt. Basel-Landschaft (AIB), Liestal, Schweiz, www.baselland.ch/docs/bud/aib/main_aib.htm

Praktische Hinweise

- Dr. Judit Lienert**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)
- Dr. Tove A. Larsen**, Eawag, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft (SWW)

Impressum

Kontakt, Herausgeberin: Eawag, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz, Tel. +41 (0)44 823 55 11, Fax +41 (0)44 823 50 28, novaquatis@eawag.ch, www.novaquatis.eawag.ch

Zitat: Larsen, T. A., Lienert, J. (2007) Novaquatis Abschlussbericht. NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Eawag, 8600 Dübendorf, Schweiz

Text und Redaktion: Tove A. Larsen, Judit Lienert, Eawag

Assistenz: Karin Güdel, Eawag

Textbearbeitung: Martina Bauchrowitz, Andri Bryner, Eawag und volltext.ch, Joachim Lienert, 8303 Bassersdorf, Schweiz

Englische Übersetzung: Jeff Acheson, 4103 Bottmingen, Schweiz

Layout: SLS Nadler, 8700 Küsnacht, Schweiz

Satz: Yvonne Lehnhard, Eawag

Titelbild: Die Synthese von Novaquatis basiert auf vielen konkreten Forschungsarbeiten zu Urinseparierung: 1) über Ausfällungen aus Urin in Leitungen (grosses Bild), 2) im privaten Badezimmer (oben), 3) im Labor (mitte) und 4) in Pilotprojekten, zum Beispiel in China (unten). Fotos: Ruedi Keller, Yvonne Lehnhard, Edi Medilanski.

Copyright: Nachdruck möglich nach Absprache mit der Redaktion

Hinweis: Der Bericht ist auch auf Englisch erhältlich

Gedruckt: Auf Recyclingpapier

Erscheinungsdatum: 7. März 2007

NoMix

Abschlussbericht des transdisziplinären Projektes Novaquatis

Novaquatis – ein Querprojekt der Eawag

Das transdisziplinäre Forschungsprojekt Novaquatis setzt sich mit der Urinseparierung als neuem Element der Abwasserreinigung auseinander. Das Ziel: Gewässer besser vor Nährstoffen und Mikroverunreinigungen zu schützen und Nährstoffkreisläufe zu schliessen.

Von 2000 bis 2006 lotete das Querprojekt das Potenzial der Urinseparierung – auch NoMix-Technologie genannt – aus. Novaquatis umfasst **neun Arbeitspakete**, die zum grössten Teil um die Stationen eines Nährstoffkreislaufs organisiert wurden (siehe Abbildung auf Seite 2). Am Projekt beteiligten sich Vertreterinnen und Vertreter der Soziologie, Ökonomie, Natur- und Ingenieurwissenschaften. Sie arbeiteten eng mit der Sanitärindustrie, den lokalen Behörden und dem Schwellenland China zusammen. Diese Broschüre erläutert die wichtigsten Ergebnisse.

Obwohl Urin weniger als 1 % des Abwasservolumens ausmacht, enthält er 50 bis 80 % aller Nährstoffe im Abwasser – und diese müssen in den Kläranlagen wieder abgebaut werden. Viele Mikroverunreinigungen, also Medikamentenreste und Hormone aus dem menschlichen Stoffwechsel, gelangen ebenfalls via Urin ins Abwasser. Urinseparierung könnte die Nährstoffelimination in den Kläranlagen überflüssig machen oder vereinfachen. Nährstoffe im Urin könnten in die Landwirtschaft zurückgeführt, Mikroverunreinigungen direkt entfernt werden. Die NoMix-Technologie hilft, Wasser zu sparen und macht das gesamte Abwassersystem flexibler. Damit hat sie ein grosses Potenzial, zur Lösung der globalen Gewässerschutzprobleme beizutragen.

Die **Eawag** – das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs – ist national verankert und international vernetzt. Sie setzt sich ein für einen ökologisch, wirtschaftlich und sozial verantwortungsvollen Umgang mit der weltweit immer stärker unter Druck stehenden Ressource Wasser und den Gewässern. Aktiv in Forschung, Lehre und Beratung, arbeitet die Eawag an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis.