

Infotag 2018

**Abwasser als Ressource –
zukunftsweisende Technologien zur
Rückgewinnung von Wertstoffen**



Infotag 2018

Abwasser als Ressource – zukunftsweisende Technologien zur Rückgewinnung von Wertstoffen

Mit dem Abwasser gelangen zahlreiche Wertstoffe aus Haushalten, Industrie und Gewerbe in die Kläranlagen. Aus Abwasser lässt sich Energie gewinnen und mit der Nutzung von aufbereitetem Grauwasser Frischwasser sparen. Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft ist es wünschenswert, auch Nährstoffe zurückzugewinnen und wieder nutzbar zu machen.

Am diesjährigen Eawag-Infotag werden bewährte und vielversprechende Technologien für Kläranlagen und Haushalte diskutiert, mit denen sich Energie und Wertstoffe aus dem Abwasser extrahieren und recyceln lassen. Die Verfahren sollen in Zukunft nicht nur dazu beitragen, die natürlichen Ressourcen zu schonen, sondern auch negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu reduzieren.

Titelbild: Ein Kläranlagen-Betreiber und ein Ingenieur der Eawag diskutieren Optimierungspotenziale einer Luftstrippungsanlage zur Stickstoff-Rückgewinnung. Foto: Aldo Todaro, Eawag

Programm

	Moderation Dr. Judit Lienert, Abteilung Umweltsozialwissenschaften, Eawag Prof. Dr. Max Maurer, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, Eawag	
9.30	Begrüssung Prof. Dr. Janet Hering, Direktorin der Eawag	
9.40–10.10	Ressourcen im Abwasser: Rückgewinnung und Verwertung Prof. Dr. Tove Larsen, Leiterin Forschungsgruppe Ressourcen, Abteilung Siedlungswasserwirtschaft Mitglied der Direktion	04
10.10–10.30	Rückgewinnung und Wiederverwertung von Stickstoff aus Abwasser Marc Böhler, Leiter Forschungsgruppe Praxisanwendung und Entwicklung, Abteilung Verfahrenstechnik, Eawag	05
10.30–11.00	Kaffeepause	
11.00–11.20	P-Recycling aus Klärschlamm – Strategie des Kantons Zürich Dr. Leo Morf, Projektleiter Klärschlamm Entsorgung und P-Miningprojekt, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich	06
11.20–11.40	Ohne Kanalisation? Nährstoffrückgewinnung an der Quelle Prof. Dr. Kai Udert, Leiter Forschungsgruppe Trennung an der Quelle und Dezentralisierung, Abteilung Verfahrenstechnik, Eawag	07
11.40–12.00	Die getrennte Sammlung von Urin – Herausforderungen und Perspektiven für die Region Paris Caroline Marc, Ingenieurin, Technische Leitung SIAAP, Le Service public de l'assainissement parisienne	08
12.00–12.15	Diskussion	
12.15–13.30	Mittagessen, optional: Führung im NEST Forschungsgebäude NEST	
13.30–13.50	Energie aus Kläranlagen und der Kanalisation Beat Kobel, CEO, Ryser Ingenieure AG, Bern	09
13.50–14.10	Management von Fäkalschlamm für die Ressourcen-Rückgewinnung in Entwicklungsländern Dr. Linda Strande, Leiterin Forschungsgruppe MEWS: Behandlung von Exkrementen, Abwasser und Schlamm, Abteilung Siedlungshygiene und Wasser für Entwicklung, Eawag	10
14.10–14.30	Grauwasser an der Quelle zurückgewinnen und nutzen Prof. Dr. Eberhard Morgenroth, Abteilungsleiter Verfahrenstechnik, Eawag	11
14.30–15.00	Kaffeepause	
15.00–15.20	Grenzen der Ressourcen Rückgewinnung Dr. Adriano Joss, Leiter Forschungsgruppe Verfahrenstechnik Abwasser, Abteilung Verfahrenstechnik, Eawag	12
15.20–15.40	Das Forschungsprogramm Wings Dr. Sabine Hoffmann, Leiterin Forschungsgruppe Transdisziplinäre Forschung Abteilung Umweltsozialwissenschaften, Eawag	13
15.40–16.00	Schlussdiskussion und Fazit	
16.00	Apéro, optional: Führung im NEST Forschungsgebäude NEST	



Ressourcen im Abwasser: Rückgewinnung und Verwertung

Abwasser enthält viele Wertstoffe, und zahlreiche Fachleute diskutieren darüber, ob und mit welchen Verfahren sich die Rückgewinnung von solchen Wertstoffen lohnt. Welche Ressourcen sind von besonderer Bedeutung und wo sollen sie – zentral oder dezentral – zurückgewonnen werden? Wie viel darf die Rückgewinnung kosten, und welche Technologien sollen für die Aufbereitung gefördert werden? Diese übergeordneten Fragestellungen und Herausforderungen bestimmen den Diskurs über Ressourcenrückgewinnung aus Abwasser.

Die Schweizer Siedlungswasserwirtschaft gehört zu den besten der Welt: Trinkwasser in hoher Qualität wird 24/7 direkt in die Haushalte geliefert, von denen 97 Prozent an die Kanalisation und eine gut funktionierende Kläranlage angeschlossen sind. Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist dementsprechend hoch.



Bei der Urinbehandlung im Water Hub des Forschungsgebäudes NEST wird aus Urin ein konzentriertes, hygienisches Düngerprodukt erzeugt, aus dem selbst Mikroverunreinigungen entfernt werden.

Paradigmenwechsel in der Abwasserentsorgung

Stand im vergangenen Jahrhundert der Schutz der Gewässer im Zentrum, wächst jetzt das Bewusstsein, dass Abwasser bedeutende Ressourcen beinhaltet und es sich lohnt, diese zurückzugewinnen. Die Ursache ist klar: Durch Bevölkerungswachstum und Klimaerwärmung wird global das Wasser knapp. Dazu kommt, dass saubere und gut verfügbare Phosphorvorräte langsam zur Neige gehen. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen und des starken Anreizes, aus Umweltschutzgründen die Produktion von Stickstoffdüngern zu reduzieren, muss die Energiewirtschaft optimiert werden.

Dieser internationale Trend spiegelt sich auch in der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft wieder. Energiegewinnung aus Klärschlamm ist schon seit Jahrzehnten ein Thema, und Verfahren zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser werden implementiert. Auch beim Phosphor ergreift die Schweiz Massnahmen: Unlängst hat der Kanton Zürich entschieden, auf die Monoverbrennung von Klärschlamm zu wechseln, um später Phosphor rückgewinnen zu können. Zudem verfügen einige Kläranlagen über neue Verfahren, um aus Faulwasser mittels Stripping Stickstoff in einer pflanzenverfügbaren Form zu gewinnen.

Naturgemäss beschäftigen sich Ämter und Vollzug mit Technologien, die sich in bestehenden Systemen umsetzen lassen, wobei sie auf die Unterstützung der Eawag zählen können. In die Zukunft zu blicken und globale Märkte im Auge zu behalten, sind weitere Vorteile der Wissenschaft, weshalb die Eawag seit zwei Jahrzehnten den Ansatz der Stoffstromtrennung verfolgt, der eher dezentral ausgerichtet ist und auf die einzelnen Haushalte zielt. Dieser Forschungszweig basiert auf der Annahme, dass es mit der Zeit günstiger und energieeffizienter ist, Ressourcen aus nicht vermischten Strömen zurückzugewinnen. Dies gilt insbesondere für Gebiete, wo nur dezentrale Verfahren in Frage kommen, weil es weder Kapital zur Erstellung, noch Wasser zum Betreiben einer Kanalisation gibt.

Water Hub im NEST: Verfahren unter realistischen Bedingungen

Im Water Hub im NEST hat die Eawag die Möglichkeit, diese Verfahren in einem realistischen Umfeld umzusetzen. Am weitesten fortgeschritten ist die Entwicklung bei der Urinbehandlung, bei der heute aus Urin ein konzentriertes, hygienisches Düngerprodukt erzeugt wird. Selbst Mikroverunreinigungen können daraus entfernt werden, was sowohl für die Landwirtschaft als auch für den Gewässerschutz von grossem Vorteil ist. Mit dem Fokus auf Gebiete mit massivem Wassermangel und geringer Kaufkraft ist es gelungen, energieeffiziente Verfahren zur Rückgewinnung von hochqualitativem Wasser aus Grauwasser zu entwickeln. Auch dieses Verfahren wird im Water Hub an die Bedingungen moderner Überbauungen angepasst. Ein weiteres Water-Hub-Thema ist die Energierückgewinnung. In Zusammenarbeit mit einer Schweizer Firma wird daran gearbeitet, Feststoffe aus WC-Abwässern zu extrahieren, zu trocknen und schliesslich zu Brennstoffpellets zu verarbeiten. Ausserdem ist der häusliche Umgang mit Wärme in Haushaltsabwässern ein Thema.

Der Paradigmenwechsel mit Fokus auf Ressourcen ist also auch in der Schweiz in vollem Gange. Klar ist jedoch, dass der Ressourcenfokus den bisherigen Zielen – Hygiene und Gewässerschutz – untergeordnet bleibt, so wie der Gewässerschutz bis heute immer der Hygiene untergeordnet wurde. Das soll uns aber nicht daran hindern, innovative und unkonventionelle Lösungen zu suchen, die es uns erlauben, die Siedlungswasserwirtschaft erfolgreich für dieses Jahrtausend weiterzuentwickeln.

Rückgewinnung und Wiederverwertung von Stickstoff aus Abwasser

Stickstoff ist Hauptnährstoff und Motor des Pflanzenwachstums. Das industrielle Haber-Bosch-Verfahren kann heute den immensen Bedarf einer intensiven Landwirtschaft decken und ermöglicht die Ernährung der Weltbevölkerung. Im Übermass vorhanden, wird der Nährstoff jedoch zum gefährlichen Schadstoff, der schwerwiegende regionale und globale Probleme mit sich bringt.

Stickstoff (N) ist ein Verwandlungskünstler: Ein Grossteil liegt gasförmig und in einer elementaren Form vor, die kaum reagiert und unsere Luft erfreulich reaktionsträge macht. Ganz anders verhält es sich mit seinen Verbindungen. Sie zählen zum so genannten reaktiven Stickstoff. Von Bedeutung sind die Stickstoffverbindungen Ammoniak, die Stickoxide (gasförmig) und im Wasser gelöstes Ammonium, Nitrit und Nitrat. Der Ausstoss von reaktiven Stickstoffverbindungen durch menschliche Aktivitäten hat sich in den letzten 100 Jahren verzehnfacht. Heute gelangen etwa 180 Millionen Tonnen Stickstoff weltweit pro Jahr in unsere Umwelt.

Abwasser: ein wichtiger Eintragspfad

Der von Natur aus geschlossene Kreislauf ist aus den Fugen geraten. Dies hat erhebliche negative Auswirkungen auf das Klima, die Gewässer und die Meere und beeinflusst unser Lebensmittel Trinkwasser und schliesslich gesamthaft unsere Gesundheit. Die Herkunft und Eintragspfade des Stickstoffs sind vielfältig. Ein wichtiger anthropogener verursachter Eintragspfad ist das Abwasser. Gemäss einer Studie aus dem Jahr 2013 gelangten rund 41 000 Tonnen Stickstoff in die schweizerischen Abwasserreinigungsanlagen (ARA). Obwohl die Schweizer Kläranlagen technisch gut ausgebaut sind, werden trotzdem nur etwa 44 Prozent dieser Stickstofffrachten entfernt, da die Anlagen oft nicht für eine gezielte Entstickung ausgelegt sind. Somit gelangen über gereinigtes Abwasser jährlich 25 000 Tonnen N in die Gewässer, meistens in einer weniger reaktiven Form des Nitrates.

Biologische Verfahren leisten viel, sind aber auch limitiert

Verschiedene biologische Verfahren eliminieren heute kosten- und energetisch sehr günstig den Stickstoff aus dem Abwasser. In Einzugsgebieten mit sensiblen Gewässern kann allerdings eine bis zu 80-prozentige Stickstoff-Elimination notwendig sein. Daher werden zunehmend biologisch arbeitende Reaktoren im Nebenstrom zur gezielten Stickstoff-Elimination eingesetzt. Hierdurch kann die biologische Hauptstufe der ARA entlastet und in manchen Fällen ein Ausbau verzögert werden. Bei den biologisch arbeitenden Verfahren wird der Stickstoff in der Regel durch Denitrifikation zum reaktionsträgen, elementaren Stickstoffgas umgewandelt. Werden diese Verfahren aber nicht sorgfältig und mit guter fachlicher Ausbildung betrieben oder sind die Prozesse überlastet, kann das sehr klimaschädliche Lachgas in nicht unerheblichen Mengen produziert werden. Bei allen biologischen Verfahren geht der Nährstoff Stickstoff in die Atmosphäre verloren und muss erneut energieintensiv durch das Haber-Bosch-Verfahren als Kunstdünger bereitgestellt werden. Abwasser ist eine bedeutende Kohlenstoffquelle. Mit Anspruch einer energieautarken Abwasserreinigung wird die Biogasproduktion auf den Kläranlagen durch erhöhte Kohlenstoffausschleusung in-

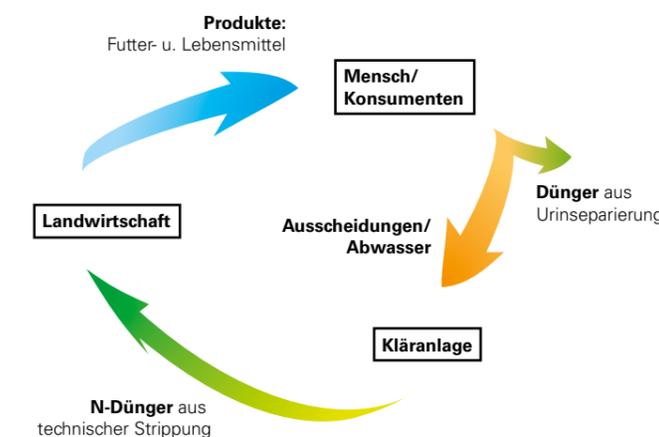
tensiviert, womit weniger notwendiger Kohlenstoff für die biologische Entstickung zur Verfügung steht. Die Stickstoffbelastung der ARA durch Annahme zusätzlicher Kohlenstoffsubstrate zur Gasproduktion kann sogar zunehmen.

Ein energetisch günstiges und ohne Kohlenstoff auskommendes biologisches Verfahren (Anammox) zeigt mancherorts plötzlich eintretende Betriebsstörungen, verbunden mit starken Leistungseinbussen, so dass keine sichere und stabile Stickstoff-Elimination gewährleistet ist. Die Suche nach den Ursachen und die Optimierung des Prozesses sind Forschungsgebiete an der Eawag.

Kreisläufe schliessen – Dünger aus Stickstoff-Rückgewinnung

Alternativ zum Stickstoffverlust gibt es Technologien, die auf chemisch/physikalische Weise den Stickstoff aus dem Abwasser sicher und betriebsstabil entfernen und gleichzeitig die Wiederverwendung als wertvollen Flüssigdünger ermöglichen. Basis der Verfahren ist das Überführen des Ammoniumstickstoffs zu Ammoniak, der entweder mit Luft oder mittels einer Membran aus dem Abwasser abgeschieden bzw. ausgestrippt wird. Das Ammoniak wird mit Schwefelsäure gebunden, womit ein in der Landwirtschaft nachgefragter Flüssigdünger entsteht. Der Schwefel ist ebenfalls ein wichtiger Hauptnährstoff für Pflanzen.

Diese Verfahren werden auf drei Kläranlagen in der Schweiz angewendet. Beispielhaft produziert die Kläranlage Kloten/Opfikon seit dem Jahr 2010 jährlich etwa 240 Tonnen schwefelhaltigen Stickstoffdünger in Form von Ammoniumsulfat mittels Luftstrippung. Die membranbasierte Ammoniak-Strippung ist noch eine sehr junge Technologie, die aber volltechnisch auf zwei Kläranlagen in der Schweiz eingesetzt wird. Die Beispiele zeigen, dass technische Möglichkeiten vorhanden sind, um den Stickstoffkreislauf zu schliessen, die ausgehenden Gefahren zu reduzieren und die Ressource Abwasser zu nutzen.



Durch die Produktion von Dünger aus Abwasser kann der Nährstoffkreislauf nahezu geschlossen werden.



P-Recycling aus Klärschlamm – Strategie des Kantons Zürich

Phosphor ist ein kostbarer und knapper Rohstoff. Bisher muss er importiert werden, obwohl die Schweiz über eine ergiebige Quelle verfügt: das Abwasser. Der Rohstoff lässt sich im grossen Stil aus Klärschlamm zurückgewinnen und in den Kreislauf zurückführen. Wie soll dies am besten geschehen?

Mit dem Abwasser gelangen phosphathaltige Fäkalien und Urin in die Kläranlage, wo Mikroorganismen die Biomasse abbauen. Die Mikroorganismen sedimentieren und bleiben als phosphorreicher Klärschlamm zurück. Früher wurde dieser als Düngerersatz auf die Felder ausgebracht. Seit 2006 ist das in der Schweiz nicht mehr erlaubt und der entstandene Klärschlamm muss auf anderem Weg entsorgt werden.

Abfälle sind Rohstoffe

Als Pionier im so genannten «Urban Mining» setzt der Kanton Zürich konsequent auf die Rückgewinnung von Wertstoffen aus den Hinterlassenschaften der Gesellschaft. Die Leitidee der Abfall- und Ressourcenwirtschaft des Kantons lautet: «Abfälle sind Rohstoffe».

Bereits 2007 stellte der Kanton entscheidende Weichen und mit Inkrafttreten der «Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen» im Jahr 2016 wurde die Rückgewinnung von Phosphor aus phosphorreichen Abfällen vorgeschrieben. Zudem kam man zu dem Schluss, dass mit einer zentralen Klärschlammverwertungsanlage in unmittelbarer Nähe einer Müllverbrennungsanlage oder einer grossen Abwasserreinigungsanlage (ARA) der grösste energetische Nutzen erzielt und gleichzeitig der Anspruch an die künftige Rückgewinnung erfüllt werden könnte.

Die Standortwahl für die neue zentrale Klärschlammverwertungsanlage (KSV) fiel auf das Klärwerk Werdhölzli. Inmitten der Stadt Zürich, mit ihren rund 400 000 Einwohnern, stellte dies ökologisch und ökonomisch die beste Lösung für den Kanton Zürich dar. Am Standort gab es bereits eine Infrastruktur und ein ausreichendes Potenzial zur Energienutzung. Damit waren sowohl Energieverwertung als auch CO₂-Reduktion möglich.

Klärschlammverwertung inmitten der Stadt Zürich

2013 stimmte das Volk der Stadt Zürich dem Objektkredit zum Bau der neuen zentralen KSV auf dem Areal Werdhölzli zu. Zwei Jahre nach der Abstimmung hat Entsorgung + Recycling Zürich als Betreiber der Anlage für die Stadt Zürich die neue zentrale Anlage mit einer Kapazität von 100 000 Tonnen entwässertem Klärschlamm eingeweiht. Seit August 2015 werden dort rund 85 000 Tonnen gefaulter und entwässerter Klärschlamm pro Jahr aus dem ganzen Kanton energetisch verwertet. Es fallen dabei jährlich rund 13 000 Tonnen phosphorreiche Klärschlamm-Asche an. Dies ergibt eine ungefähre jährliche Phosphor-Menge aus dem gesamten Zürcher Klärschlamm von 900 Tonnen. Die Asche wird, bis eine Phosphor-Verwertung im grossen Stil möglich ist, in einer Monodeponie zwischengelagert. Mit der Realisierung der zentralen KSV Werdhölzli in Zürich konnten für die Kommunen die Kosten der Klärschlammbehandlung wesentlich reduziert und die energetische Nutzung aus dem

Klärschlamm optimiert werden. Bauliche und betriebliche Änderungen auf der ARA waren nicht notwendig.

Wie aber gewinnt man den reichlich in der Klärschlamm-Asche enthaltenen Wertstoff Phosphor und führt ihn tatsächlich in den Wirtschaftskreislauf zurück? Seit 2011 hat die Baudirektion mit verschiedenen Partnern nach Lösungsansätzen zur effizienten Phosphor-Rückgewinnung gesucht. Die Stiftung ZAR entwickelt zurzeit in Zusammenarbeit mit dem spanischen Technologieunternehmen Tecnicas Reunidas ein nasschemisches Verfahren (Phos4Life®), das den Phosphor umweltschonend der Klärschlamm-Asche entzieht und als handelsübliche Phosphorsäure, wie sie auch in Industrieprozessen eingesetzt wird, in den Wertstoffkreislauf zurückführt. Weitere Wertstoffe wie Eisen u.a. Schwermetalle sowie die schwermetallarme Mineralien können praktisch vollständig wiederverwertet werden, womit sich wertvoller Deponieraum einsparen lässt.

Im laufenden Pilotbetrieb sollen die bisher vorliegenden Erkenntnisse bis Sommer 2018 bestätigt und vertieft werden. Ziel ist es, die industrielle Produktion von reiner, schwermetallfreier Phosphorsäure aus Klärschlamm-Asche marktfähig zu machen.



Phosphorhaltige Klärschlamm-Asche nach Verbrennung des zentral verwerteten Klärschlammes.

Ohne Kanalisation? Nährstoffrückgewinnung an der Quelle

Das Recycling von Glas, Aluminium oder Papier ist heute selbstverständlich. Wir sind gerne bereit, alte Flaschen zum Glascontainer zu bringen und Zeitungen gebündelt vor die Haustür zu stellen. Anders sieht es mit Abwasser aus. Dieses soll möglichst rasch weggespült werden, weil es stinkt und krank macht.

Zu Recht wird die Siedlungswasserwirtschaft als eine der grössten Errungenschaften für die öffentliche Gesundheit bezeichnet, weil sie die grossen Städte Europas und Nordamerikas von Seuchen wie Cholera und Typhus befreit hat. Allerdings hat diese etablierte Technologie grundlegende Nachteile: Sie benötigt viel wertvolles Wasser, um Exkremente und andere Abfallstoffe zu transportieren. Zudem werden die weggespülten Stoffe stark verdünnt, was die spätere Rückgewinnung oder das Entfernen stark erschwert. Der wohl grösste Nachteil: Mit der Wasserspülung wird die Abfallentsorgung mit dem Wasserkreislauf verbunden, wodurch natürliche Gewässer belastet werden. Eine kostspielige Abwasserreinigung ist notwendig, um die negativen Effekte gering zu halten.

Abwasser ist eine Rohstoffquelle

Es enthält alle Nährstoffe, die wir mit der Nahrung aufgenommen haben. Und obwohl die Landwirtschaft diese Nährstoffe für die Nahrungsmittelproduktion benötigt, werden seit Verbot der Klärschlamm-Abfuhr nur sehr geringe Nährstoffmengen rezykliert. Abwasser enthält auch Energie. Das ist einerseits die Wärme des Grauwassers, das aus Dusche, Bad und Küche stammt. Andererseits sind im Abwasser organische Stoffe enthalten, die zu Bioenergie umgewandelt werden können. Beide Energiequellen werden schon heute genutzt, aber die meiste Energie geht immer noch in der Kanalisation und in der Kläranlage verloren.

An der Eawag arbeiten wir daran, die bestehende Abwasserreinigung zu optimieren und gleichzeitig neue Verfahren zu entwickeln, mit denen Ressourcen einfacher zurückgewonnen werden können. Dabei orientieren wir uns an zwei Grundsätzen, die in der konventionellen Abwasserreinigung nicht berücksichtigt werden:

- Trennung an der Quelle: Das häusliche Abwasser besteht grundsätzlich aus drei Strömen: Urin, Kot und Grauwasser. Urin enthält den grössten Teil der Nährstoffe, die wir für

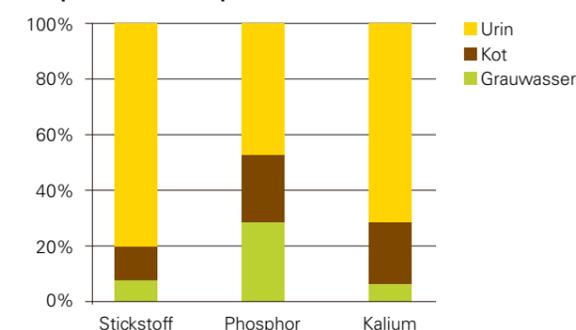
die Nahrungsmittelproduktion benötigen. Im Kot sind die meisten Krankheitserreger, aber auch organische Stoffe vorhanden, aus denen Bioenergie gewonnen wird. Grauwasser enthält die meiste Energie und das meiste Wasser. Wenn alle drei Abwasserströme getrennt gesammelt und behandelt werden, können Nährstoffe, Energie und Wasser einfacher zurückgewonnen werden.

- Behandlung vor Ort: Wir sparen viel Trinkwasser ein, wenn wir Abwasser nicht mehr über die Kanalisation transportieren, sondern direkt vor Ort behandeln. Zudem lassen sich so die Kosten für den Bau der Kanalisation reduzieren. Die Behandlung vor Ort ist allerdings auch notwendig, wenn wir die drei Abwasserströme getrennt einfangen und behandeln möchten. Der getrennte Transport der drei Abwasserströme Urin, Fäkalien und Grauwasser in kanalisationsähnlichen Netzwerken wäre sehr aufwendig.

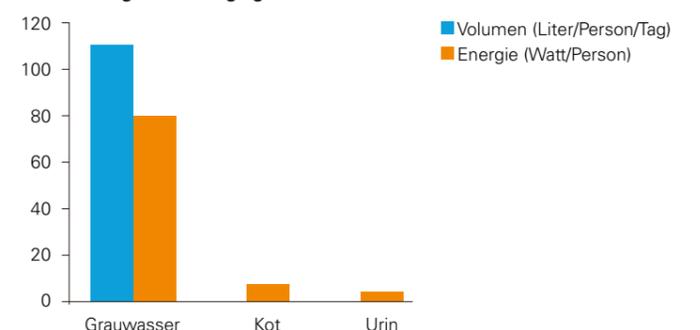
Der Water Hub, Vuna und Blue Diversion Autarky sind drei Projekte, die die Forschung zur alternativen Abwasserreinigung veranschaulichen. Im Water Hub des NEST-Gebäudes werden alle Abwasserströme gesammelt. Grauwasser und Urin, Fäkalien sowie auch Regenwasser stehen zur Verfügung, um neue Technologien zu testen. Der Water Hub dient unter anderem dem Eawag-Spin-off Vuna GmbH als Labor für die Weiterentwicklung der Düngerproduktion aus Urin. Der mit dem Vuna-Verfahren entwickelte Dünger Aurin enthält alle Nährstoffe, die mit dem Urin ausgeschleudert werden. Dank der weitgehenden Behandlung hat das Bundesamt für Landwirtschaft den Vertrieb von Aurin als Universaldünger offiziell bewilligt.

Das Vuna-Verfahren ist ebenso aus einem Forschungsprojekt entstanden, wie die von der Bill and Melinda Gates Foundation finanzierte und gemeinsam mit der FHNW, dem PSI und EOOS, Wien, entwickelte Blue-Diversion-Autarky-Toilette. Diese setzt die beiden Grundsätze «Trennung an der Quelle» und «Behandlung vor Ort» am konsequentesten um. Das Spülwasser wird vor Ort so aufbereitet, dass es nicht nur für die Spülung, sondern auch fürs Händewaschen benutzt werden kann. Aus Urin wird ein nährstoffreicher Feststoff, und der Kot wird mit einem hydrothermalen Prozess zu Wasser, Kohlendioxid, Ammonium und Phosphatmineralien umgewandelt.

Hauptnährstoffe im separierten Abwasser



Wassermenge und Energiegehalt



Quelle: Friedler et al. (2013) in Larsen et al. Source separation and decentralization for wastewater management



Die getrennte Sammlung von Urin – Herausforderungen und Perspektiven für die Region Paris

Die öffentliche Abwasserentsorgung des Grossraums Paris «Service public d'assainissement de l'agglomération parisienne» (SIAAP) kümmert sich um die Abwasserreinigung von neun Millionen Einwohnern. Ihre Hauptaufgabe ist das Sicherstellen einer Abwasserreinigung, die der städtischen Entwicklung ebenso Rechnung trägt wie dem Schutz einer natürlichen, unter starkem anthropogenen Druck stehenden Ressource: der Seine. Die Pariser Agglomeration ihrerseits steht vor wichtigen städtebaulichen Erweiterungsprojekten.

Um diesem Kontext und nachhaltigen Entwicklungszielen gerecht zu werden, muss sich die Abwasseraufbereitungspolitik der Pariser Agglomeration neuen Gegebenheiten sowie einem neuen regulatorischen Rahmenwerk anpassen, darunter einem Gesetz zur Energiewende und zur Kreislaufwirtschaft.



Einbau der Urin-Lagerbehälter auf der Baustelle der Kläranlage Seine-Aval in Achères.

Pflichtenheft der SIAAP erweitert sich laufend

Den Bevölkerungszuwachs mit dem Schutz und Erhalt der Seine für heutige und künftige Generationen unter einen Hut zu bringen, hat für die SIAAP oberste Priorität. Diese Bestrebung ist für die nachhaltige Entwicklung der Agglomeration von zentraler Bedeutung. Doch das Pflichtenheft der SIAAP erweitert sich laufend:

- Die Wasseraufbereitung muss mit der städtischen Entwicklung Schritt halten
- Biogas soll dank Wiederverwertung zu einer CO₂-neutralen Stadt beitragen und in Zusammenarbeit mit weiteren Abfallaktoren produziert werden
- Die Abwärme von Schmutzwasser muss zurückgewonnen werden
- Phosphor soll weiterhin in der Landwirtschaft nutzbar gemacht werden
- Der Schutz der Biodiversität muss gewährleistet und der Stickstoff zurückgewonnen und wiederverwertet werden

Ausgangspunkt für die Überlegungen der SIAAP sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Seine, die demografische

Entwicklung in ihrem Einzugsgebiet und die Abwasserreinigungskapazität der SIAAP. Durch den Klimawandel dürfte der Niederwasserabfluss der Seine markant sinken, während die Bevölkerung in der Agglomeration bis Mitte des Jahrhunderts voraussichtlich die Elf-Millionen-Marke erreicht. Deshalb besteht die wichtigste Anforderung für die Wasserqualität der Seine in der Eindämmung des reduzierten Stickstoffeintrags. Das entspricht der Lösung des folgenden Problems: Verringern des reduzierten Stickstoffeintrags bei steigenden Schmutzwasservolumina, wobei zwei Möglichkeiten in Betracht kommen: eine erhebliche Kapazitätssteigerung der Abwasseraufbereitung oder ein Paradigmenwechsel durch Urinseparierung.

Die SIAAP prüft zurzeit die zweite Option, denn damit könnte das Problem bereits an der Quelle angepackt und der Stickstoffeintrag auf einen Richtwert stabilisiert werden. Es geht nicht darum, die Aufbereitung des Abwassers von neun Millionen Menschen auf die getrennte Sammlung von Urin umzurüsten, sondern ein alternatives Klärsystem für Neubauten zu entwickeln. Mit diesem Ansatz lässt sich der Ausbau der Abwasserreinigungskapazität vermeiden oder zumindest verlangsamt werden.

Aus diesen Gründen hat die SIAAP beschlossen, bei den Männertoiletten ihrer wichtigsten Kläranlage Seine-Aval die Urinseparierung einzuführen. Damit soll die Lagerung, Aufbereitung und Wiederverwertung des Urins unter realen Bedingungen getestet werden. Auch will sie die Forschung durch diese «Revolution» in der Abwasseraufbereitung unterstützen. So konnten aus neusten Forschungsarbeiten genauere Erkenntnisse zu den Herausforderungen einer getrennten Stickstoffaufbereitung in einer grossen Agglomeration wie der Region Paris gewonnen werden.



Trockenurinal auf dem Campus in Achères.

Energie aus Kläranlagen und der Kanalisation

Die Energiestrategie 2050 sieht vor, den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen und die erneuerbaren Energien zu fördern. Infrastrukturanlagen können hierzu einen grossen Beitrag leisten, wie konkrete Beispiele aus Kläranlagen und Kanalisation zeigen – und dies bei steigender oder mindestens gleichbleibender Reinigungsleistung.

Wenn wir von Energiesparen reden, so denken wir primär an die bessere Isolation von Gebäuden mit wärmedämmenden Fenstern, PV-Anlagen oder Mobilität mit geringerem Verbrauch. Dass der grösste Energieverlust bei Neubauten heute aber das abfliessende Abwasser ist, wird oft vergessen. Kanalisation und Kläranlagen, die die sichere Ableitung von Regen- und Abwasser garantieren und unsere Flüsse und Seen sauber halten, werden in diesem Zusammenhang meist nur als energieintensive Infrastrukturanlagen wahrgenommen. Sogar in Energierichtplänen wird dieses Energiepotenzial erfahrungsgemäss oft vergessen.

Gesamtheitliche Planung als Schlüssel zum Erfolg

Doch wo beginnt die energieeffiziente Planung einer Kläranlage? Die ARA Thunersee, die die Elimination der Spurenstoffe als erste Kläranlage im Kanton Bern mittels Pulveraktivkohle im «Ulmer-Verfahren» realisiert hat, zeigt dies eindrücklich: Das Vorprojekt sah ein Zwischenhebewerk vor, das drei Meter höher fördern musste, als die heute realisierte Anlage. Erreicht werden konnte dies dank einer idealen Layoutgestaltung der Kläranlage in Bezug auf Tiefe der Becken, Ausrichtung auf den Grundwasserstand und optimaler hydraulischer Einbindung. Geht man von einer Nutzungsdauer von 40 Jahren aus, so ist ersichtlich, dass über die gesamte Betriebsdauer eine enorme Energiemenge eingespart werden kann. Die Planung einer energieeffizienten Kläranlage beginnt deshalb immer mit einer optimalen Layoutgestaltung und nicht mit der Fassadengestaltung mit PV-Einbindung.

Die sich durch den Klimawandel nachweislich erwärmenden Abwässer und Flüsse müssen zukünftig auch bezüglich Temperatur mehr geschützt werden. Nutzen wir diese Chance, mit Abwasserwärmenutzung eine Temperatursenke zu erzielen und somit für kühlere Gewässer zu sorgen. Dies kann mit grossen Abwasserwärmenutzungsanlagen in der Kanalisation oder im Auslauf der Kläranlage erfolgen. Letztere umgeht die ausschliesslich in der Schweiz geführte Diskussion um eine mögliche Leistungsreduktion bei der Reinigung des Abwassers auf Kläranlagen durch eine Abkühlung des Abwassers.

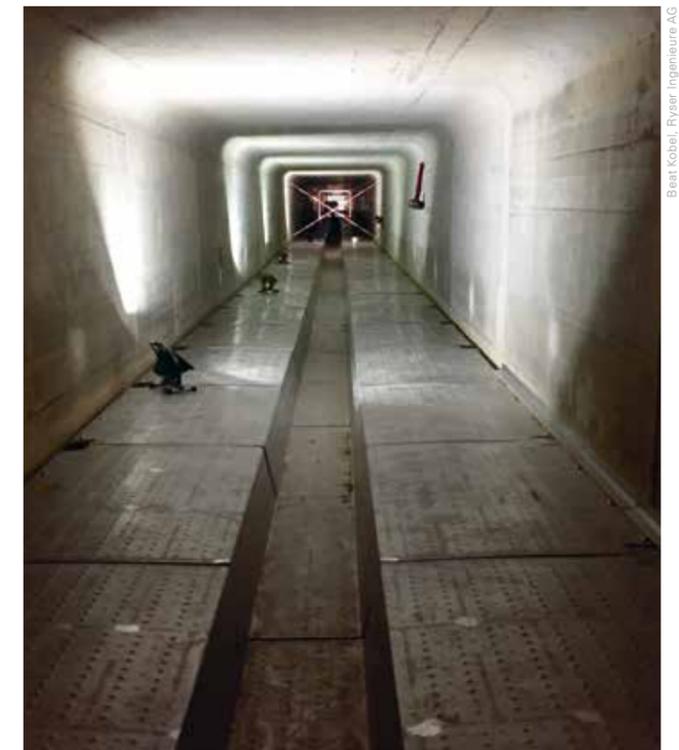
Grösster Kanalwärmetauscher Europas

Auf dem ehemaligen Güterbahnhofareal in Bad Cannstatt in Stuttgart entsteht auf 25 Hektaren ein neues Wohn- und Gewerbegebiet, das die Energieversorgung für Heizwärme und Warmwasser aus Abwasserwärme bereitstellt. Hätten die Initianten vor ein paar Jahren von dieser Möglichkeit gesprochen, wären sie für verrückt erklärt worden. Der Wärmebedarf, inklusive Verluste, wird auf ca. 9 GWh/a veranschlagt. Die Abwasserwärmenutzung mittels Wärmepumpen soll 74 Prozent der Energiemenge abdecken. 21 Prozent werden mit Blockheizkraftwerken und nur fünf Prozent mit Gas-

kesseln zur Spitzenlastdeckung bereitgestellt. Der Trockenwetterabfluss im Hauptabwasserkanal mit einem Rechteckprofil von DN 2100 mm beträgt ca. 200 l/s, und die Abwassertemperatur liegt zwischen 6,5 - 22,0 °C. Die Abkühlung des Abwassers am Entzugsort wird auf 2,5 °C geschätzt, die Abkühlung auf der Kläranlage beträgt 0,5 °C. Mit dieser Lösung kann die gewünschte Temperatursenke erzielt und die produzierte Wärme aus Tätigkeiten wie Duschen, Geschirrspülen, Waschen, etc. genutzt werden, bevor diese die Gewässer unnötig aufheizt.

Auswirkungen der Strommarktliberalisierung auf Kläranlagen

Das Bundesamt für Energie schreitet in der weiteren Öffnung respektive Liberalisierung des Strommarktes zügig voran. Die Kläranlagen sind deshalb gut beraten, nicht nur ihren Energieverbrauch zu kennen, sondern ihren stündlichen Bedarf zu prognostizieren und durch Eigenproduktion und Eigenverbrauch auf Nachfrage- und Angebotsänderungen rasch reagieren zu können. Nur wenn es den Kläranlagen gelingt, auf Augenhöhe mit den Energieversorgungsunternehmen zu verhandeln und sie ihre Flexibilität bewahren, können sie sich am sich stetig verändernden Energiemarkt behaupten. Von kurzfristigen Renditeüberlegungen ist deshalb Abstand zu nehmen. Nur eine langfristige strategische Ausrichtung, bezogen auf die geforderte Reinigungsleistung, und eine grösstmögliche Flexibilität bei der Eigenproduktion und beim Eigenverbrauch von Energie machen die Kläranlagen fit für die Zukunft. Wir betrachten es als unsere Aufgabe, die Kläranlagenbetreiber technisch und wirtschaftlich kompetent in diese Energiezukunft zu begleiten.



Grösster Kanalwärmetauscher mit 2,1 MW Entzugsleistung in Europa; Wohn- und Gewerbegebiet Neckarpark, Bad Cannstatt, D-Stuttgart.



Management von Fäkalschlamm für die Ressourcen-Rückgewinnung in Entwicklungsländern

In vielen Entwicklungsländern fehlen für Sanitäranlagen klare rechtliche Rahmen- und Finanzierungsbedingungen. Durch die Ressourcen-Rückgewinnung aus Abfallprodukten können Aufbereitungsstufen definiert, Einnahmen generiert und Kläranlagen sicher betrieben werden.

Obwohl ein Drittel der Weltbevölkerung dezentrale Sanitäranlagen nutzt, ist deren Erforschung – verglichen mit zentralen Technologien – mangelhaft. Gerade in Entwicklungsländern erfolgt die Abwasserentsorgung in zahlreichen Städten mehrheitlich durch Fäkalschlamm-Management und nur selten über die Kanalisation. Da dieses jedoch zunehmend als nachhaltige Lösung anerkannt wird, besteht ein enormer Bedarf an angewandter Forschung.

Ressourcen-Rückgewinnung mit Konzept

Dabei sollte die Ressourcen-Rückgewinnung aus Fäkalschlamm bei der Umsetzung des Fäkalschlamm-Managements im Vordergrund stehen. Diese hat mehrere Vorteile: Beispielsweise ergeben sich klare Aufbereitungsziele und es können Einnahmen generiert werden, die den Betrieb des Sanitärsystems unterstützen.

Die Ressourcen-Rückgewinnungsmöglichkeiten aus Fäkalschlamm umfassen die Bereiche:

- Energie – Brennstoff, Strom und Wärme
- Nährstoffe – Bodenverbesserer, Dünger
- Wasser – Bewässerung
- Nahrung – Tierfutter, Proteinherstellung

Zur Unterstützung des Auswahlverfahrens entwickelte unsere Forschungsgruppe einen marktorientierten Ansatz, der aufzeigt, welche Produkte wo den grössten Mehrwert bieten (www.sandec.ch/mda). Der Marktwert hängt dabei von Faktoren wie der sozialen Akzeptanz, Konkurrenzprodukten, verfügbaren Subventionen und bestehenden, nutzbaren Infrastrukturen ab. Generell ist die Verbrennung von getrocknetem Fäkalschlamm zur Energiegewinnung eine vielversprechende Möglichkeit in Entwicklungsländern. Auch, weil sich entwässertes und getrockneter Schlamm leichter und günstiger zum Endnutzer transportieren lässt und der Brennwert von Fäkalschlamm mit dem von Faulschlamm vergleichbar ist.

Austausch und Zusammenarbeit mit lokalen Partnern

Vor der Aufnahme von neuen Ansätzen der Ressourcen-Rückgewinnung aus Fäkalschlamm musste die Forschung die Probleme der Entwässerung, der Optimierung des Brennstoffpotenzials und der Akzeptanz bewältigen. Dafür arbeitete unsere Forschungsgruppe in Subsahara-Afrika mit Sanitärversorgern, lokalen Hochschulen, Forschungsinstituten und der Industrie zusammen.

Zur Reduktion der finanziellen Risiken bei einer innovativen Nutzung müssen Industriebetriebe vorab bestimmte Faktoren wie Machbarkeit, Qualität, Transport und Leistung abschätzen können. Deshalb arbeitete unsere Forschungsgruppe mit zwei Unterneh-

men in Kampala (Uganda) und Dakar (Senegal) zusammen. Um die Realisierbarkeit aufzuzeigen, baute man zum Beispiel ortstypische Brennöfen im Pilotmassstab nach, und die Schweizer Firma Bioburn entwickelte eine innovative Pelletiermaschine, die vor Ort in Betrieb genommen wurde und die die Trocknungsleistung beim Fäkalschlamm steigern kann.

Fäkalschlamm vs. Pyrolyse

Die weitere Forschung befasste sich mit dem Nutzen von Karbonisierungsverfahren wie Pyrolyse. Für kohlebasierte Verbrennungstechnologien sind karbonisierte Brennstoffe zu bevorzugen. Getrockneter Schlamm weist jedoch einen höheren Gehalt an flüchtigen Stoffen als Kohle auf, was die Flammstabilität beeinträchtigen kann. Auch haben karbonisierte Brennstoffe eine höhere Energiedichte. Doch die Karbonisierungsleistung ist bei Fäkalschlamm weniger gut als bei anderen Biomassearten. Eine weitere Schwierigkeit ist der hohe Anteil an anorganischem Material, weshalb angepasste Technologien zur Verbrennung benötigt werden.

Aufgrund komplexerer Aufbereitungsketten und geringerer Brennstoffqualität erscheint zusammenfassend Fäkalschlamm als Trockenbrennstoff vielversprechender als die Pyrolyse, doch beide sind machbar, sofern die Nachfrage für das Endprodukt vorhanden ist. Zudem sollten stets sämtliche Rückgewinnungsoptionen geprüft werden, um die lokal passendste Lösung zu finden. Bei allen Rückgewinnungsverfahren ist die Schlammwässerung für unsere Arbeitsgruppe im Moment das wichtigste Forschungsgebiet.



Die Bioburn-Pellets kommen in den im Pilotmassstab nachgebauten Brennöfen in Dakar und Kampala zum Einsatz.

Grauwasser an der Quelle zurückgewinnen und nutzen

Im globalen Wasserkreislauf gibt es nur eine begrenzte Wassermenge. Damit stellt sich nicht die Frage ob, sondern wie und wo wir verschmutztes Wasser wiederverwenden wollen. Ein grosser Teil des häuslichen Abwassers ist nur leicht verschmutztes Grauwasser, das aufbereitet eine verlässliche Wasserressource im urbanen Raum bietet.

Im globalen Kontext gibt es viele Regionen, in denen die Wasserversorgung durch Wasserknappheit bestimmt wird. Beispiele sind Kalifornien und Singapur, wo schon seit Jahrzehnten wegen der Wasserknappheit Abwasser zu Trinkwasser aufbereitet und verwendet wird. Auch in Südeuropa ist Wasserknappheit ein Problem, und sogar in Grossbritannien muss die Wasserwirtschaft jetzt auf eine Dürre reagieren.

Wasser kann in ganz unterschiedlichen Grössenordnungen wiederverwendet werden. Die Aufbereitung von Abwasser zu Trinkwasser wird typischerweise in zentralen Anlagen bestehend aus einer konventionellen Abwasserreinigungsanlage mit nachgeschalteter Aufbereitung (z. B. mit Umkehrosmose) durchgeführt. Im Gegensatz zur zentralen Aufbereitung von Abwasser wird Grauwasser normalerweise im Gebäude getrennt gesammelt, direkt aufbereitet und lokal wiederverwendet. Die Qualitätsanforderungen für die Wasseraufbereitung hängen vom Verwendungszweck ab. Wasser, das für die Bewässerung eingesetzt wird, muss hygienisch unbedenklich sein, kann aber durchaus noch Nährstoffe enthalten. Bei der Wiederverwendung von Wasser für das Händewaschen liegt der Fokus auf der Hygiene, aber gelöste Salze sind unproblematisch.

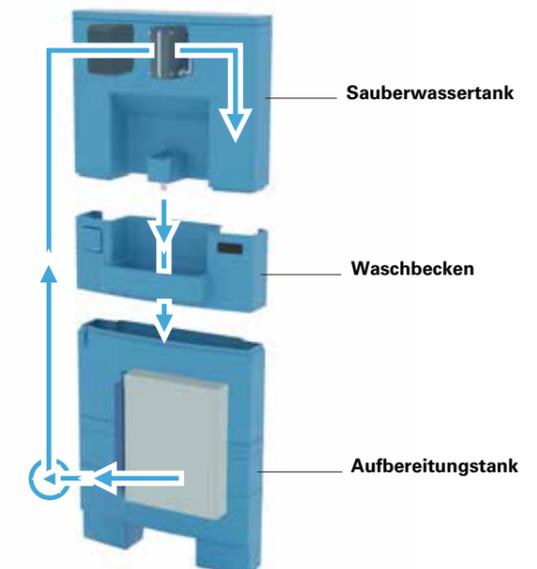
Unterschiedliche Möglichkeiten für die Verwendung von aufbereitetem Grauwasser:

- Dezentrale Aufbereitung von Grauwasser für die Wiederverwendung im Haushalt: In Schweizer Haushalten werden ca. zwei Drittel des häuslichen Trinkwasserbedarfs für Duschen, Baden und Küche verwendet und fast ein Drittel für die WC-Spülung. Wird jedoch gereinigtes Grauwasser für die WC-Spülung verwendet, kann ein Drittel des Trinkwasserverbrauchs eingespart werden. Wird aufbereitetes Grauwasser auch für andere Anwendungen im Haushalt (z. B. Waschmaschine) eingesetzt, kann die Hälfte des Trinkwasserverbrauchs eingespart werden.
- Aufbereitung von Grauwasser für die urbane Bewässerung: Begrünte Dächer und Pflanzen im urbanen Raum (Grüne Infrastruktur) können einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des lokalen Klimas leisten, den urbanen Wärmeinseleffekt reduzieren und damit den energieintensiven Einsatz von Klimaanlagen verringern. Für eine solche grüne Infrastruktur wird in ariden Gebieten aber Wasser für die Bewässerung benötigt. Hier kann aufbereitetes Grauwasser, das unabhängig vom Regen verfügbar ist, sinnvoll eingesetzt werden.
- Direkte Wiederverwendung von Handwaschwasser: In vielen Ländern gibt es wegen Wasserknappheit oder fehlender

Infrastruktur nur unzureichende Möglichkeiten zum Händewaschen. Das Händewaschen nach der Toilettenbenutzung, im öffentlichen Raum und in Krankenhäusern ist aber essenziell, um die Verbreitung von Krankheiten einzuschränken. In einem von der Bill & Melinda Gates Foundation geförderten Projekt entwickelt die Eawag eine Handwaschstation, die ohne Anschluss an Wasserleitung oder Kanalisation funktioniert.

Für einen verantwortungsvollen Einsatz von aufbereitetem Grauwasser gibt es eine Reihe von Herausforderungen. Eine essentielle Anforderung ist die Hygiene. Auch wenn Grauwasser nicht als Trinkwasser verwendet wird, muss sichergestellt sein, dass keine Krankheiten übertragen werden. Bei der Hygiene muss nicht nur die Technik für die Aufbereitung stimmen, sondern auch Lagerung, Verteilung und schlussendlich Nutzung müssen berücksichtigt werden. Diese Aspekte von Grauwasseraufbereitung und Nutzung werden zurzeit von der Eawag in einem Projekt im Water Hub im NEST Gebäude untersucht. Neben der Entwicklung von Prozessen und Betriebshinweisen geht es in diesem Projekt auch um die Sensoren und Strategien für die Überwachung und Regelung des Betriebs. Weiterhin müssen daraus Strategien für die Zulassung und Überwachung durch Behörden entwickelt werden. In einem weiteren Forschungsprojekt an der Eawag wird auch die Frage der Akzeptanz von Grauwasserrecycling untersucht.

Bei Wasserknappheit kann aufbereitetes Grauwasser eine wichtige und saisonunabhängige Wasserressource bieten. Eine parallele Verwendung von Trinkwasser und unterschiedliche Qualitäten von aufbereitetem Abwasser ist dabei komplizierter, als der Einsatz von Trinkwasser für alle Anwendungen. Zukünftig wird es aber mehr und mehr Regionen geben, in denen man sich diesen Luxus nicht mehr leisten kann und die Wiederverwendung von Wasser notwendig wird.



Die Eawag entwickelt Ansätze zur sicheren Wiederverwendung von Grauwasser zum Händewaschen (Abbildung zeigt die autarke Wasserwand, www.autarky.ch/) und in Gebäuden (z.B. NEST, www.eawag.ch/waterhub).



Grenzen der Ressourcen-Rückgewinnung

Die Wasserwirtschaft befindet sich in stetem Wandel – Agglomerationen wachsen, neue Technologien werden entwickelt, Anlagen müssen erneuert werden, globale Trends und die Gesellschaft stellen neue Anforderungen. Dementsprechend sind alle Beteiligten zur «Weiterbildung» aufgefordert, wobei das Gespür für machbare Lösungen besonders wichtig ist.

Die Abwasserentsorgung kostet rund 200 Franken pro Einwohner und Jahr. Der bei der Abwasserreinigung anfallende Schlamm hat das Potenzial, via Biogas ungefähr 0,2 Prozent des Schweizer Energieverbrauchs zu decken. Verstromt entspricht das etwa zwei Franken pro Einwohner und Jahr. Auch das im Abwasser enthaltene Phosphor hat einen Weltmarktpreis von nur etwa 0,25 CHF/EW/a – Aufbereitungskosten nicht eingerechnet – und die Produktion weiterer Wertstoffe aus Abwasser kann bisher nicht als ökonomisch bewertet werden. Zum Beispiel Bioplastik: Die separate Lactatgärung von Industrie- oder Lebensmittelabfällen scheint effizienter.

Das heisst, nach ökonomischer Wertung ist die Reinigung des Abwassers hundertmal wichtiger- als die Rückgewinnung anderer Wertstoffe. Und das mit gutem Grund: Siedlungshygiene sowie die Eutrophierung der Gewässer sind von primärer Bedeutung. Während produzierter Strom oder gewonnene Wertstoffe marktwirtschaftlich gut bewertet werden können, sind wir jedoch nicht in der Lage die Auswirkungen von Antibiotikaresistenzen, Mikroorganismen oder Restmengen von Nährstoffen im Ablauf monetär zu bewerten. Ähnlich fehlen weitgehend Anreize, um Überläufe von unbehandeltem Abwasser in Bäche, Flüsse und Seen zu verhindern oder zu minimieren.

Innovation: Risiken bei gewinnbringenden Neuerungen

Global gesehen spielt der Energieumsatz der Abwasserreinigung eine untergeordnete Rolle; dennoch ist die energieautarke Kläranlage ein erstrebenswertes Ziel. Wie jeder Industriezweig ist auch die Wasserbranche im Sinne des Klimaschutzes dazu angehalten, möglichst sparsam mit Energie umzugehen. Allerdings bestätigen gegenwärtig laufende Langzeitmessungen, dass bei Energieoptimierungen die direkten Treibhausgasemissionen mitberücksichtigt werden müssen, denn der einseitige Fokus auf elektrische Energie kann zu Emissionen von Lachgas respektive Methan führen, die mehr Klimarelevanz haben. Eine spannende Neuerung der letzten Jahre stellen zum Beispiel aerobe granuliert Biofilmverfahren dar, die kompakter, zuverlässiger und sogar energieeffizienter sein sollen. Hier steht die Bestätigung im Vollmassstab jedoch noch aus – Risiko von Kinderkrankheiten inklusive.

Gibt es Rezepte für rational begründete Entscheidungen?

Die Ökobilanz ist ein erfolgreich angewendeter Ansatz zur «ganzheitlichen» Bewertung von Technologien. Bei der Abwasserbehandlung wird sie allerdings nur selten angewendet, weil die lokale Relevanz von Keimen, Nitrit, Ammonium und Mikroverunreinigungen an der Einleitstelle in keinem der gängigen Modelle berücksichtigt wird. Obwohl die «multi-kriterien Entscheidungsanalyse» bei der Entscheidungsfindung erfolgreich eingesetzt wird, sind innovative Lösungen meist auf Experteneinschätzungen gestützt.



«Die Leute kennen von allem den Preis und von nichts den Wert.» Oscar Wilde, anno 1890.

Proaktiv im Sinne der Gesellschaft zu handeln, heisst nicht immer demokratisch legitimiert vorzugehen. Die Kläranlagenabläufe an der bayerischen (D) Isar wurden ohne vorgängige gesetzliche Anforderung aufgrund eines politischen Entscheids hygienisiert: Im Vordergrund stand der gesellschaftliche Nutzen eines Gewässers, das mittlerweile unbestritten gerne als Badegewässer genutzt wird.

Auch die Revision der Gewässerschutzverordnung betreffend Elimination von Mikroverunreinigungen darf hier als Beispiel eines pragmatischen Kosten-/Nutzen-Entscheids erwähnt werden. International ist diese noch kein Erfolgsmodell, zu gross ist die Skepsis, ob die Kosten gesellschaftlich zu rechtfertigen sind. Eine Erfolgskontrolle wird wohl hierzu notwendig sein.

Das Forschungsprogramm Wings

Wenn konventionelle Wasser- und Abwassersysteme globalen Herausforderungen nicht gewachsen sind, wie können dann Menschen v.a. in schnell wachsenden Städten mit sauberem Trinkwasser versorgt, Abwasser gereinigt und wertvolle Ressourcen wiedergewonnen werden? Mit diesen Fragen setzt sich das Forschungsprogramm Wings auseinander.

Dank gezielter Investitionen in der Vergangenheit verfügt die Schweiz über eine flächendeckende, leistungsfähige und sichere Wasserver- und Abwasserentsorgung. Frisches Trinkwasser sprudelt bei uns aus dem Wasserhahn und fliesst nach Gebrauch über den Abfluss in die Kanalisation; das verschmutzte Wasser wird in Abwasserreinigungsanlagen in mehreren Schritten gereinigt und in den Wasserkreislauf zurückgeführt.

Schweizer Wasser- und Abwassersystem	
Leitungsnetz Umfang:	ca. 55 100 km öffentliche Trinkwasserleitungen ca. 36 300 km Hausanschlussleitungen ca. 49 000 km öffentliche Abwasserleitungen ca. 42 000 km Liegenschaftsentwässerungen
Wasserversorgungsanlagen:	> 2500
Abwasserreinigungsanlagen:	ca. 800 grosse, rd. 3000 kleine
Wiederbeschaffungswert:	insg. ca. 230 Mrd. CHF (Schätzung)
Jahreskosten:	ca. 6 Mrd. CHF (Schätzung)

Herausforderungen

Diese konventionellen Wasser- und Abwassersysteme haben sich in der Schweiz – wie in vielen anderen Industrieländern – im letzten Jahrhundert zu stabilen sozio-technischen Systemen entwickelt, die über lange Zeit als Standard für den Rest der Welt galten. Doch auch hierzulande sind die Herausforderungen erheblich. Hierzu gehören:

- Planungsunsicherheit bezüglich Bevölkerungswachstum, Wasserverfügbarkeit und Klimawandel
- Sanierung von Leitungsnetzen bestehender Systeme
- steigende Anforderungen an die Abwasserreinigung, insbesondere bei der Elimination von Mikroverunreinigungen

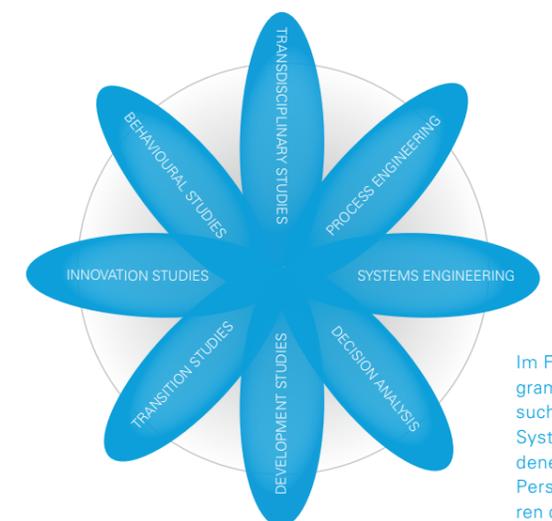
Führende Forschungsinstitute, internationale Organisationen und nationale Regierungen erkennen zunehmend, dass konventionelle Wasser- und Abwassersysteme nicht die einzige Lösung für schnell wachsende Städte in Ländern mit niedrigem oder mittlerem Einkommen in Afrika, Asien und Lateinamerika sind. Denn diese Systeme setzen nicht nur hohe Investitionskosten, lange Planungshorizonte und stabile Institutionen voraus, sondern auch grosse Wassermengen, die in vielen dieser Länder angesichts der zunehmenden Wasserknappheit nicht zur Verfügung stehen. Zudem nutzen sie die für die Wasserver- und Abwasserentsorgung verfügbaren Ressourcen oft wenig effizient (Wasser, Energie und Nährstoffe) und besitzen eine nur begrenzte Flexibilität, um sich zukünftigen Veränderungen wie einer wachsenden und/oder sich abschwächenden Bevölkerung anzupassen.

Innovative Alternativen

Wenn konventionelle Wasser- und Abwassersysteme den skizzierten globalen Herausforderungen nicht gewachsen sind, wie kann dann die Bevölkerung v.a. in schnell wachsenden Städten in Afrika, Asien und Lateinamerika mit sauberem Trinkwasser versorgt, anfallendes Abwasser gereinigt und wertvolle Ressourcen wie Wasser, Energie und Nährstoffe wiedergewonnen und in die natürlichen Kreisläufe zurückgeführt werden? Mit diesen Fragen setzt sich das inter- und transdisziplinäre Forschungsprogramm Wings (Water and sanitation innovations for non-grid solutions) auseinander. Das Programm erforscht innovative Wasser- und Abwassersysteme, d.h. flexible, kostengünstige, ressourcenschonende und leitungsunabhängige Systeme, die den heutigen und künftigen Herausforderungen der Siedlungswasserwirtschaft in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern gewachsen sind. Wir tun dies, indem wir:

- innovative Systeme aus unterschiedlichen disziplinären Perspektiven untersuchen
- eng mit Akteuren verschiedener Sektoren und Entscheidungsebenen zusammenarbeiten
- in urbanen Gebieten in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern arbeiten
- auf bestehenden Forschungsprojekten aufbauen

Erste erfolgsversprechende Ansätze zeichnen sich bereits ab. Hierzu zählen integrierte Wasser-, Abwasser- und Energiesysteme in Neubausiedlungen, besonders in wasserknappen Gebieten in Schwellenländern. Dank der Trennung, Reinigung und Aufbereitung von Abwasser können Wasser, Energie und Nährstoffe langfristig effizient genutzt werden (Wings Emerging). Die getrennte Erfassung und Behandlung von Grauwasser mit kombinierter Wärmerückgewinnung ist auch auf Gebäudeebene möglich, ebenso wie die Abtrennung und Behandlung von Urin. Durch Letzteres kann die Nährstoffbelastung in Gewässern reduziert und wertvoller Dünger gewonnen werden (Wings Hybrid). In informellen Siedlungen zeigen neue Ansätze wie Container-based-Sanitation-Services vielversprechende Ergebnisse (Wings Informal). www.eawag.ch/wings



Im Forschungsprogramm Wings untersuchen wir innovative Systeme aus verschiedenen disziplinären Perspektiven und führen diese zusammen.

Die Eawag ist das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs. Rund 500 Mitarbeitende sind an den Standorten Dübendorf bei Zürich und Kastanienbaum bei Luzern tätig. Neben ihrem Engagement in der Forschung wirkt die Eawag auch in Lehre und Beratung und schlägt damit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis. www.eawag.ch

Impressum

Redaktion: Simone Kral

Grafik und Layout: Peter Penicka

Eawag, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf
Telefon +41 (0)58 765 55 11

Eawag, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum
Telefon +41 (0)58 765 21 11

info@eawag.ch
www.eawag.ch

Eawag
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf
Telefon +41 (0)58 765 55 11
info@eawag.ch
www.eawag.ch

