



# Effizientes Recycling einer knappen Ressource

**In vielen Regionen der Erde ist der fehlende Zugang zu sauberem Wasser eines der grössten Gesundheitsprobleme. Mit ihrer Forschung zur dezentralen Aufbereitung von belastetem Wasser kann die Eawag einen Beitrag zur Erreichung der Millenniums-Entwicklungsziele leisten. Labor- und Pilotversuche zeigen, dass Membranverfahren auch unter einfachsten Verhältnissen die Gewinnung von hygienisch einwandfreiem Trinkwasser ermöglichen.**

Ein temporärer Wohn- und Arbeitsort für zwei Personen, der ohne externe Energie- und Wasserversorgung auskommt – dies ist das Konzept der Raumzelle «Self», die seit Februar 2010 erprobt wird. Die beiden Forschungsinstitute Empa und Eawag haben ihr technisches Know-how zur Entwicklung des besonderen Wohnmobils eingebracht, die Zürcher Hochschule der Künste das Design. Der Pavillon hat die Grösse eines Schifffrachtcontainers, wiegt rund 5 Tonnen und lässt sich damit per Lastwagen oder Helikopter praktisch an jeden beliebigen Ort transportieren. An Ostern 2010 ist er abgebrannt, doch die Projektleitung will einen zweiten Container ausrüsten, der ursprünglich als Erweiterungsmodul gedacht war. Self braucht keinen Stromanschluss, sondern verfügt über ein eigenes Kraftwerk. 1280 Solarzellen auf dem Dach mit einer maximalen Leistung von 3750 Watt ver-

sorgen die zum Beispiel als mobile Forschungsstation nutzbare Box ganzjährig mit der benötigten Elektrizität.

## Autonome Wasserversorgung

So autonom wie die Energieversorgung von Self funktionieren auch die von der Eawag konzipierten Technologien für die Aufbereitung des Trinkwassers und das Recycling des grössten Teils des Abwassers. Zuerst wird auf der gut 26 m<sup>2</sup> grossen Dachfläche das Regenwasser gesammelt. «Das Niederschlagswasser ist zwar relativ sauber, kann aber je nach Standort Verunreinigungen zum Beispiel durch Vogelkot, Blätter oder Blütenstaub enthalten», erklärt Maryna Peter-Varbanets von der Abteilung Verfahrenstechnik. Um unerwünschte Schadstoffe sowie Bakterien und Viren zu entfernen, ist der Wohncontainer mit einem Membranmodul von der Grösse einer Schuhschachtel ausgestattet. Die auf einer Filterfläche von 0,7 m<sup>2</sup> verteilten Poren dieser Kunststoffmembrane messen nur Bruchteile von Mikrometern. Während das Wasser und gelöste Mineralstoffe die mechanische Reinigungsstufe passieren, werden Trübstoffe, Keime, Parasiti-

Der unabhängige Wohncontainer Self – hier am Sihlsee – ist ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt. Im Bereich Wasser soll er zeigen, wie die einfache Aufbereitung von Regenwasser zu Trinkwasser und das Recycling von Brauchwasser machbar sind. Dezentrale Systeme könnten damit eine Alternative werden zu kostenintensiver und an vielen Orten auf der Welt gar nicht machbarer zentraler Infrastruktur. Unten: Kanalisationssanierung. (Fotos: Empa, Beat Guyer; Entsorgung + Recycling Zürich)



ten und sogar Viren zurückgehalten. Die Ultrafiltration hat damit gleichzeitig die Funktion einer Desinfektion, ohne dass chemische Hilfsmittel wie Chlor oder Ozon nötig wären.

### Die Schwerkraft reicht aus

Grosstechnische Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung mit Ultrafiltration, wie sie in zentralen Wasserwerken immer häufiger zur Anwendung kommen, funktionieren in der Regel mit Pumpen. Sie sorgen für einen höheren Druck, der das Rohwasser durch die Membranporen presst, damit die Systeme genügend Wasser reinigen können – in der Regel 20–100 l/m<sup>2</sup> Membranfläche und Stunde.

Im Interesse einer hohen Betriebssicherheit und eines möglichst geringen Wartungsaufwands kommt Self ohne Pumpe aus und nutzt lediglich die Schwerkraft. Der Druck von 100 mbar aus der Höhendifferenz von rund einem Meter zwischen Dach und Membrane reicht aus, um täglich gut 30 Liter hygienisch einwandfreies Trinkwasser aufzubereiten. Im Wohnraum zeigt ein Display am 200-Liter-Tank den Bewohnern laufend an, wie viel Frischwasser sie verbrauchen. Die im Vergleich zum normalen Trinkwasserverbrauch in Haushalten relativ bescheidene Menge genügt, weil für Anwendungen wie Körperpflege, Geschirrwaschen und Toilettenspülung zusätzlich noch aufbereitetes Brauchwasser zur Verfügung steht.

### Funktionsweise des Niederdruck-Verfahrens

Das von der Eawag entwickelte System der Wassereinigung mithilfe des Niederdruck-Verfahrens nimmt eine

geringe Filtrationsleistung des Membranmoduls bewusst in Kauf. Wie Labor- und Pilotversuche zeigen, bleibt die Durchlässigkeit der Membrane nämlich auch ohne Spülung mit Reinigungschemikalien über lange Zeit erhalten. Zwar ist der Durchfluss während der ersten Betriebstage deutlich rückläufig, weil sich durch die Filtration der Wasserinhaltsstoffe nach und nach eine Deckschicht auf der Membrane bildet. Trotz höherem Widerstand führt dieser Prozess jedoch nicht zur Bildung eines undurchlässigen Belags. Vielmehr stabilisiert sich der Durchfluss nach einigen Tagen und bleibt danach auf einem konstanten Niveau. Laut Wouter Pronk, Leiter der Gruppe für Trinkwasseraufbereitung, bestätigen Lasermikroskopiebilder, dass durch den Abbau von organischen Molekülen und einem Teil der Zellen Hohlräume im Belag entstehen, die sich zu Kanälen verbinden. Dadurch wird die Deckschicht porös, und es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Ablagerung von organischem Material auf der Membrane und dessen biologischen Abbau ein, was auch den Durchfluss stabilisiert. Wird das Rohwasser hingegen vor der Ultrafiltration mit Chemikalien wie Natriumazid desinfiziert, so nimmt die Durchlässigkeit einer Membrane während der gesamten Laufzeit kontinuierlich ab, weil das Desinfektionsmittel auch die erwünschte mikrobiologische Aktivität in der Deckschicht hemmt.

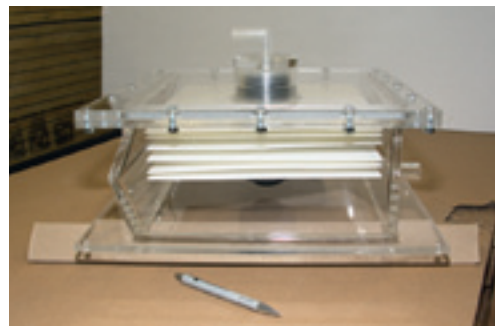
Die Leistungsfähigkeit einer mit Niederdruck betriebenen Membrane hängt entscheidend von der Schmutzfracht des filtrierten Rohwassers sowie von der Zusammensetzung des natürlichen organischen Materials ab: Je sauberer das Ausgangsprodukt, desto grösser ist auch der Durchfluss. So können bei einer Membranfläche von 1 m<sup>2</sup> aus Flusswasser, das zuvor einen Sandfilter passiert hat, pro Stunde zirka 14 Liter Trinkwasser gewonnen werden. Setzt man jedoch verdünntes Abwasser ein, sinkt die langfristige Filtrationsleistung auf 3 Liter.

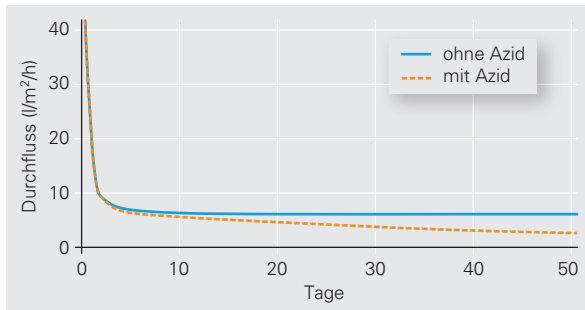
### Vielfältige Vorteile für Entwicklungsländer

Aufgrund ihrer Einfachheit eignet sich die Niederdruck-Ultrafiltration insbesondere für die dezentrale Wasseraufbereitung in Entwicklungsländern. Hier haben mehr als 900 Millionen Menschen noch immer keinen Zugang



Links: Montage der Kleinkläranlage über dem Brauchwasserspeicher im engen Technikraum des Wohncontainers Self. Mitte: Membranmodul für die Trinkwasseraufbereitung aus Dach- bzw. Regenwasser. Rechts: Membranmodul für das Grauwasserrecycling.





Durchfluss bei der Membranfiltration von Flusswasser ohne und mit vorgängiger Desinfektion mit Natriumazid.

zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser, was ihre Gesundheit und Produktivität stark beeinträchtigt. Dank stark gesunkener Kosten für die Membranen lassen sich dezentrale Systeme der Wasseraufbereitung für einzelne Haushalte oder Kleinsiedlungen inzwischen für rund 1 Euro pro Person und Jahr realisieren. Für das Niederdruck-Verfahren spricht zudem, dass es ohne Fremdenergie und Chemikalien auskommt, kaum Wartung oder Unterhalt erfordert und trotz der unkomplizierten Bedienung relativ sicher ist. «Störungen wie eine nach längerer Zeit mögliche Verstopfung der Membrane bewirken nämlich keinen Durchbruch von Krankheitskeimen, sondern nur eine abnehmende Filterleistung», hält Wouter Pronk fest.

Im Rahmen des 2006 gestarteten europäischen Forschungsprojekts «Techneau» hat die Eawag nicht nur Grundlagenforschung betrieben, sondern gemeinsam mit den Industriepartnern KWB und Opalium (Veolia-Konzern) auch eine Pilotanlage gebaut. Die auf der Fläche eines halben Frachtcontainers installierte Niederdruck-Ultrafiltration verfügt über eine vorgeschaltete biologische Sandfiltration und kann täglich etwa 5000 Liter Trinkwasser aufbereiten. Nach einer erfolgreichen Testphase in Frankreich mit Flusswasser aus der Marne wird die Anlage nun seit Ende 2009 im südafrikanischen Dorf Ogunjini nahe bei Durban erprobt. «Hier interessiert uns vor allem, wie sich die bisweilen starke Trübung des Rohwassers auf die Membranfiltration auswirkt», sagt Maryna Peter-Varbanets.

### Dezentrale Aufbereitung des Abwassers

In Trockenregionen, wo das Wasser eine knappe Ressource ist, oder an abgelegenen Standorten ohne Anschluss an Ver- und Entsorgungssysteme – wie zum Beispiel im Hochgebirge – kann sich auch die dezentrale Aufbereitung des Abwassers lohnen. Die Raumzelle Self verfügt daher über eine Kleinstkläranlage in Form eines Membranbioreaktors, der ebenfalls nur mit Schwerkraft betrieben wird. Die Anlage von der Grösse einer Waschmaschine reinigt das in Küche und Dusche anfallende Grauwasser, nicht aber das stärker verschmutzte

Schwarzwasser aus der Wasser sparenden Toilette. Dieses wird in einem separaten Tank gesammelt und dem Kreislauf periodisch entzogen. Durch das Recycling des Grauwassers, das man nach der Aufbereitung wieder zum Duschen, Abwaschen und für die Toilettenspülung verwenden kann, stehen im Wohncontainer nach Berechnungen der Eawag täglich gut 100 Liter Wasser zur Verfügung. Damit können zwei Personen ohne Komforteinbusse in der Raumzelle leben; bei ausbleibenden Regenfällen immerhin rund zwei Wochen, bis ihnen das Frischwasser ausgeht. Um bei längeren Standzeiten eine Wiederverkeimung zu verhindern, wird das aufbereitete Trink- und Brauchwasser in den beiden 200-Liter-Tanks periodisch mit einer UV-Lampe bestrahlt.

Wie gut sich das Verfahren der Grauwasseraufbereitung bewährt, werden die Praxistests zeigen. «Bei normalen Kläranlagen funktioniert die Abwasserreinigung über die Membranfiltration inzwischen relativ problemlos», sagt Mikrobiologe Adriano Joss. «Die Frage ist, ob der biologische Abbau von Kohlenstoff im Projekt Self auch bei einem geringeren Nährstoffangebot ausreichend funktioniert. Denn im Grauwasser fehlen die im Kot und Urin reichlich vorhandenen Nährstoffe, welche den Mikroorganismen als Bausteine dienen.» Schlimmstenfalls könnte sich ein klebriger Schleim bilden, der allmählich die Poren der Membrane verstopft.

Das Konzept einer mehrfachen Verwendung von gereinigtem Abwasser bleibt aber so oder so zukunftssträchtig. Im internationalen Forschungsprojekt «Reclaim Water» zum Beispiel werden Technologien untersucht, wie Abwasser so aufbereitet werden kann, dass es in die Grundwasseranreicherung geschickt werden kann. Hauptziele sind die Überwachung und die Reduktion der Risiken von Krankheitserregern und anderen Mikroverunreinigungen im gereinigten Abwasser. Die Eawag erforscht dabei die Wirkungsweise einer Kombination aus Membrananlage und Nanofiltration im Pilotmassstab.

**Die dezentrale Trinkwasseraufbereitung mit Membranen ist dank gesunkener Kosten attraktiv geworden.**



EU-Projekt «Technology Enabled Universal Access to Safe Water»: [www.techneau.org](http://www.techneau.org)

EU-Projekt: «Water Reclamation Technologies for Safe Artificial Groundwater Recharge»: [www.reclaim-water.org](http://www.reclaim-water.org)

Kontakt:

Trinkwasseraufbereitung:  
Dr. Wouter Pronk, [wouter.pronk@eawag.ch](mailto:wouter.pronk@eawag.ch)

Grauwasserrecycling:  
Dr. Adriano Joss, [adriano.joss@eawag.ch](mailto:adriano.joss@eawag.ch)