



Ultrafiltration ohne Druck – mit vielen Wassern gewaschen

16. Mai 2018 | Irene Bättig

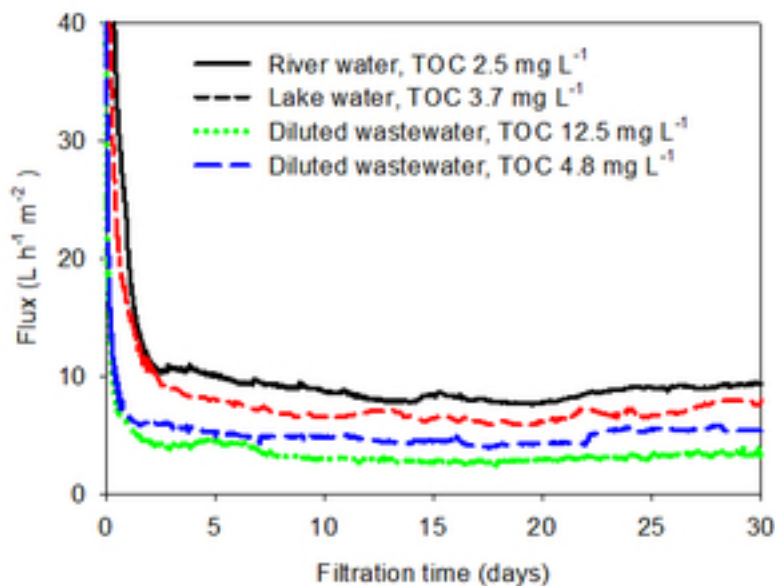
Themen: Abwasser | Wasser & Entwicklung | Trinkwasser

Ultrafiltration ist eine gängiges Verfahren zur Desinfektion von Wasser – Viren und Bakterien werden durch eine Membran mit kleinsten Poren verlässlich zurückgehalten. Seit über zehn Jahren wird an der Eawag erfolgreich daran geforscht, wie diese Methode statt mit hohen Drucken auch allein mit der Schwerkraft des Wassers sowie ohne Reinigung und Chemikalien funktioniert. In immer mehr Anwendungen werden die neuen Erkenntnisse genutzt. Neben der dezentralen Trinkwasseraufbereitung erforscht die Eawag nun auch Anwendungen im Bereich des Grauwasserrecyclings oder zur Vorbehandlung von Meerwasser für die Entsalzung.

Drei Schulen in der Nähe des Viktoriasees in Uganda sind seit wenigen Jahren nicht mehr nur Orte des Lernens, sondern betreiben Wasserkioske, wo Dorfbewohnerinnen und -bewohner behandeltes Trinkwasser kaufen können. Einfache Membranfiltrationssysteme, die an der Eawag entwickelt und zusammen mit der Fachhochschule Nordwestschweiz installiert wurden, entfernen Trübstoffe, Bakterien und Viren aus dem Wasser und sorgen dafür, dass deutlich weniger Menschen schmutziges Wasser trinken. In der Folge sind Durchfallerkrankungen bei Kindern unter fünf Jahren um 69 % zurückgegangen, bei Erwachsenen sogar um 78 %. Die Membranfilter sind sehr einfach im Unterhalt, sie funktionieren ohne permanente Zugabe von Chemikalien und benötigen keine Energie – ausser zum Pumpen des Wassers aus dem Viktoriasee zur Station. «Während herkömmliche Ultrafiltrationssysteme mit hohem Druck arbeiten und regelmässig rückgespült werden müssen, arbeiten unsere Filter allein mit Schwerkraft», erklärt Regula Meierhofer von der Eawag-Abteilung Sandec. «Eine Reinigung ist nicht notwendig.»

Filtration mit Schwerkraft

Dass die Membranfiltration unter diesen Bedingungen funktioniert, hatte kaum jemand vermutet, als die Eawag vor über zehn Jahren mit der Forschung zur Membranfiltration begann. «Im Rahmen eines EU-Projekts untersuchten wir, wie man die Membranfiltration für die dezentrale Wasseraufbereitung so vereinfachen kann, dass keine Reinigung notwendig ist», erinnert sich Wouter Pronk von der Abteilung Verfahrenstechnologie. «Wir gingen davon aus, dass wir das Wasser vor der Filtration aufbereiten müssen, damit die Poren nicht verstopfen.» Doch dann stellte die Eawag-Forscherin Maryna Peter in ihrer Dissertation Überraschendes fest: Wenn die Filter alleine mit der Schwerkraft des Wasser betrieben wurden, nahm die Durchlässigkeit der Membran in den ersten fünf Tagen zwar ab, blieb danach aber auf einem tiefen Niveau stabil – auch nach monatelangem Betrieb. Bei Flusswasser beispielsweise stellt sich ein stabiler Durchfluss von 4 bis 5 l/m² und Stunde ein. Das Verfahren der schwerkraftgetriebenen Membranfiltration (GDM-Filtration, Gravity driven Membrane Filtration) war damit geboren.

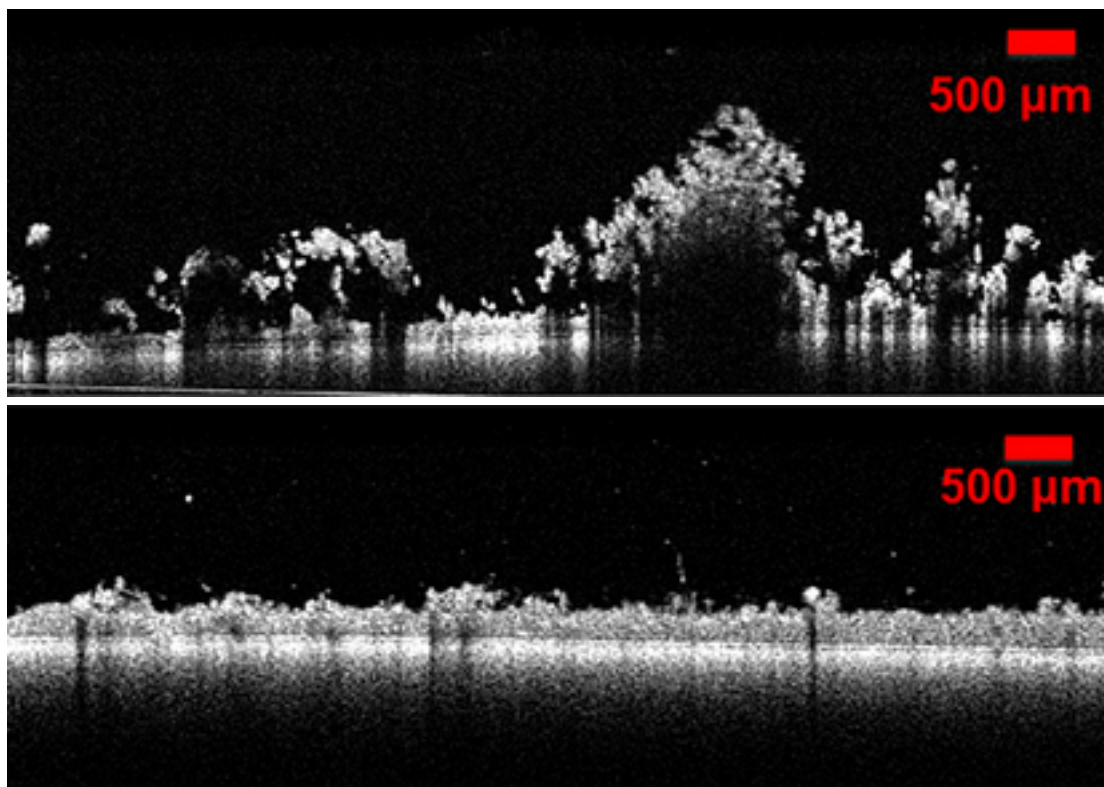


Wird die Ultrafiltration allein durch die Schwerkraft des Wassers angetrieben, stabilisiert sich die Durchflussrate nach einigen Tagen. Je höher der Gehalt an organischem Material (TOC), desto weniger Wasser kann filtriert werden (Peter-Varbanets et al. 2010).

Biofilm entscheidend

Dem Phänomen, dass die Poren nicht verstopften, gingen die Forschenden weiter auf den Grund. Verschiedene bildgebende Analysemethoden zeigten, dass sich auf der Oberfläche der Membran ein Film bildet. Dieser ist nicht homogen, sondern weist eine unregelmässige, löchrige Struktur auf. Biologische und chemische Untersuchungen des Films ergaben, dass sich auf der Membranoberfläche natürlich im Wasser vorkommende Mikroorganismen ansiedeln, die sich vom organischen Material im Wasser ernähren. Höhere Organismen, wie Protozoen, finden in den Bakterien wiederum eine willkommene Beute. Dieser Mikrokosmos sorgt dafür, dass sich immer wieder Lücken auf der Filteroberfläche bilden, sodass das Wasser den Filter passieren kann. «Wir stellten fest, dass dieser Biofilm kompakter und weniger durchlässig ist, wenn er nur aus Bakterien besteht», so Pronk. Seien hingegen auch höhere Organismen vorhanden, die sich von Bakterien ernähren, ist der Biofilm durchlässiger und mehr Wasser kann den Filter passieren. Dass hierfür die biologischen Vorgänge

entscheidend sind, zeigten Filtrationsversuche unter Zugabe von giftigem Natriumazid, das die Lebewesen im Biofilm abtötet. Dabei stabilisierte sich die Durchflussrate nicht und der Filter verstopfte mit der Zeit gänzlich.



Optische Kohärenztomografie des Biofilms auf der Membran: Ein Biofilm mit Protozoen und Metazoen (links), die sich von Bakterien ernähren, ist heterogener und durchlässiger als ein Biofilm, der nur aus Bakterien besteht (rechts).

Beschränkt auch für Grauwasserfiltration geeignet

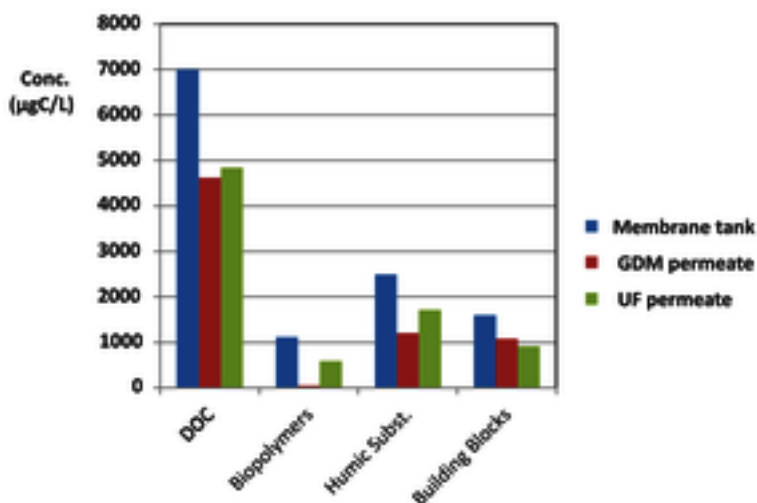
Die Anwendungen für die schwerkraftgetriebene Membranfiltration sind vielfältig. Deshalb haben Eawag-Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftler untersucht, wie gut die GDM-Filtration bei unterschiedlichen Wasserqualitäten funktioniert. Sie konnten zeigen, dass auch verdünntes Abwasser oder Grauwasser, das aus Küche, Dusche und Waschbecken stammt, allein mit Schwerkraft filtriert werden kann. Allerdings sinken die Durchflussraten deutlich – der Biofilm wird kompakter und weniger durchlässig. Ein Grund dafür ist, dass sich organisches Material ablagert. Hinzu kommt, dass die biologische Aktivität im Biofilm sinkt, weil im Grauwasser weniger Sauerstoff gelöst ist. «Grauwassersysteme müssen belüftet werden», erklärt Pronk. «Zudem muss das Wasser längere Zeit im System bleiben, damit die Mikroorganismen organisches Material abbauen.» Mit solchen GDM-Bioreaktoren erzielten die Forschenden im Labor und im Feldtest im «Waterhub» des Experimentalgebäudes Nest eine Durchflussrate von 1 bis 2 l/m²h.

Wasserrecycling zum Händewaschen

Auch das Handwaschwasser in der Blue Diversion Toilet, einer autarken Trenntoilette, die an

der Eawag entwickelt wurde, wird mit GDM aufbereitet: In einem geschlossenen System wird das Grauwasser über den Membranfilter geführt und anschliessend mit Elektrolyse vor Wiederverkeimung geschützt. Aktivkohle entfernt die leichte Färbung. So aufbereitet, können sich die Toilettenbenutzer mit dem Recycling-Wasser bedenkenlos wieder die Hände waschen.

Erfolgsversprechend ist GDM-Filtration zur Vorbehandlung von Meerwasser in Entsalzungsanlagen, wie Untersuchungen der Eawag in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik in Rapperswil und Forschenden aus Singapur zeigten. Wird das Wasser mit GDM anstelle herkömmlicher Membranfiltration vorbehandelt, ist die nachfolgende Umkehrosmose effizienter. Denn der Biofilm baut einen Teil der organischen Stoffe wie Huminsäuren oder Biopolymere ab, und die Abbauprodukte können aufgrund ihrer geringen Grösse eine reine Membran ungehindert passieren.



Effekt von GDM im Vergleich zur Ultrafiltration ohne Biofilm: Kleine organische Verbindungen wie Huminsäuren oder Biopolymere, die eine Ultrafiltrationsmembran passieren können, werden bei der GDM-Filtration teilweise zurückgehalten. Sie werden von den Mikroorganismen im Biofilm abgebaut.
(Ding et al. 2017)

Trinkwasser einfach aufbereiten

Weil das Verfahren sehr einfach ist, kaum Unterhalt benötigt und ohne Chemie und Strom auskommt, ist es prädestiniert für die Aufbereitung von Trinkwasser in strukturschwachen Regionen. Einen Wasserfilter für Haushalte zu entwickeln, war deshalb die ursprüngliche Idee der Eawag-Forschenden. In Zusammenarbeit mit der Designabteilung der Zürcher Hochschule der Künste (ZHDK) hatten sie bereits 2011 einen Prototyp entwickelt und diesen in Feldversuchen in Kenia und Bolivien getestet. «Die Herstellungskosten für den Haushaltsfilter «Safir» sind allerdings zu hoch für die Zielgruppe in Entwicklungsländern», erklärt Regula Meierhofer. Zusammen mit Maryna Peter, die inzwischen an der FHNW forscht, entwickelte sie deshalb ein grösseres System auf Community-Ebene, das seit 2016 in Uganda erprobt wird. Dieses Wasserkiosk-Projekt «Gravit'eau» wurde 2017 mit dem Prix-eco.ch ausgezeichnet. Aktuell sind in Uganda zwei weitere Wasserkioske im Aufbau und es werden

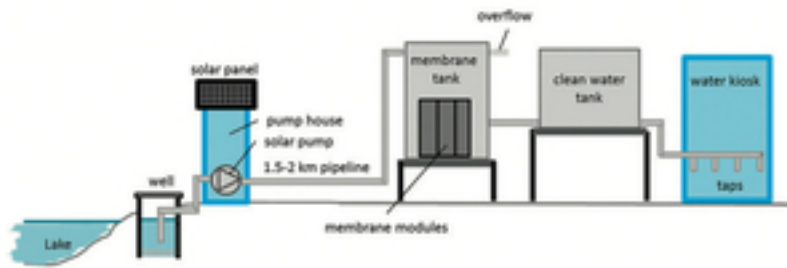
lokal Fachleute ausgebildet, die bei Unterhalt und Reparaturen zur Seite stehen. Mit den Einnahmen aus dem Verkauf des Wassers können nicht nur die Betriebskosten und die Löhne für die Kioskbetreiber finanziert werden, sondern die Betreiber können auch Geld zurücklegen. Ob dieses allerdings reicht, um nach etwa zehn Jahren die Membran zu wechseln, ist noch unklar. «Aufgrund politischer Vorgaben darf der Wasserpreis nicht erhöht werden», so Meierhofer. Dies obwohl die Bevölkerung bereit wäre, mehr zu zahlen.



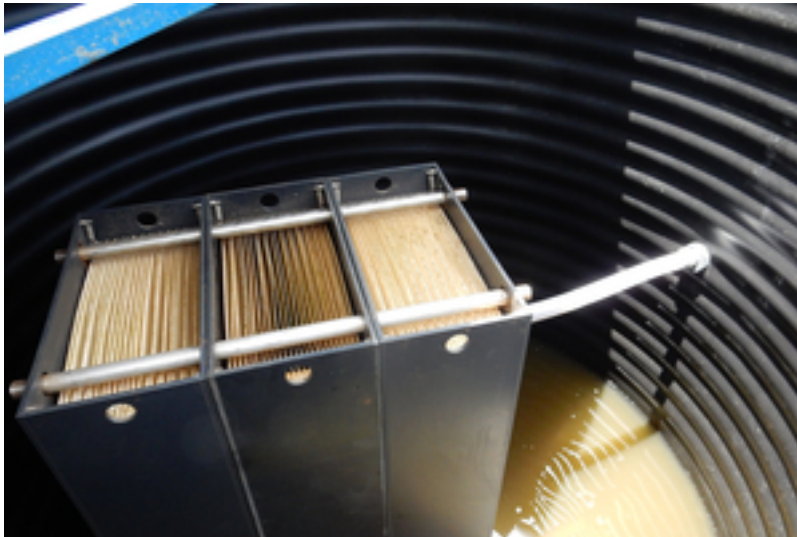
*Wasserkiosk in Uganda.
(Maryna Peter, FHNW)*



Prototyp des GDM-Haushaltsfilters im Feldtest in Peru. Mit einer Membranfläche von 0,5 m² kann der Filter bis zu 30 Liter Trinkwasser täglich bereitstellen – ohne Chemie und Filterreinigung. (Eawag)



Aufbau des GDM-Trinkwasseraufbereitungssystems der Wasserkioske in Uganda.



*Das Membranmodul im Membrantank.
(Maryna Peter, FHNW)*



*Oberflächenwasser aus dem Viktoriasee wird über GDM-Filtration zu Trinkwasser.
(Maryna Peter, FHNW)*

Fachpublikationen

Peter-Varbanets et al.: Stabilization of flux during dead-end ultra-low pressure ultrafiltration, Water Research 2010; <http://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.020> Klein et al.: Biological control of biofilms on membranes for water treatment by metazoans; Water Research, 2015; <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.050> Ding et al: A low energy gravity-driven membrane bioreactor system for grey water treatment: Permeability and removal performance of organics; Membrane Science 2017; <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.037> Wu et al.: Improved performance of gravity-driven membrane filtration for seawater pretreatment: Implications of membrane module configuration, Water Research 2017; <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.022>

Weitere Publikationen

Wirkung der Metazoa-Aktivität

Derlon, N., M. Peter-Varbanets, W. Pronk and E. Morgenroth (2012). Predation influences the structure of biofilms developed at the surface of ultrafiltration membranes. Water Research 46 (10) 3323-3333 : <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.031>. Derlon, N., Koch, N., Eugster, B., Posch, T., Pernthaler, J., Pronk, W., Morgenroth, E. (2013). Activity of metazoa governs biofilm structure formation and enhances permeate flux during Gravity-Driven Membrane (GDM) filtration. Water Research 47 (6) pp: 2085-2095 : <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.01.033>

Permeat-Qualität

Derlon, N., Mimoso, J., Koetzsch, S., Hammes, F., Morgenroth, E. (2014). Presence of biofilms on ultrafiltration membrane surfaces increases the quality of permeate produced during ultra-low pressure Gravity-Driven Membrane filtration. Water Research 60, pp: 164-173 : <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.045> Chomiak, A., Derlon, N., Sinnet, B., Morgenroth, E. (2014). Inorganic particles increase biofilm heterogeneity and enhance permeate flux. Water Research 64, pp: 177-186 : <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.06.045>

Biofilm Permeabilität

Linking composition of extracellular polymeric substances (EPS) to the physical structure and hydraulic resistance of membrane biofilms. Water Research. 132 (211-221 : <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.058>

Dokumente

[Artikel in Aqua&Gas 5/2018: Membranes d'ultrafiltration](#) La présence de biofilms : un avantage pour stabiliser le flux et augmenter la qualité du perméat [pdf, 1 MB]
[Artikel in Aqua&Gas 5/2018: GDM-Wasserkioske](#) Sauberes Trinkwasser für die ländliche Bevölkerung Ugandas [pdf, 1 MB]
[Schlussbericht Haushaltfilter: Gravity-driven membrane disinfection for household water treatment](#) GDMD project 2010-2014. Maryna Peter (2015) [pdf, 2 MB]



Dr. Peter Maryna

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW,
Muttenz
Tel +41 61 467 42 42
Mobile +41 77 409 27 38
maryna.peter@fhnw.ch

[Projektwebsite \(Englisch\)](#)

Video



Kontakt



Regula Meierhofer

Tel. +41 58 765 5073

regula.meierhofer@eawag.ch



Eberhard Morgenroth

Tel. +41 58 765 5539

eberhard.morgenroth@eawag.ch



Andri Bryner

Medienverantwortlicher

Tel. +41 58 765 5104

andri.bryner@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/newsarchiv/archiv-detail/ultrafiltration-ohne-druck-mit-vielen-wassern-gewaschen>