

GDM-WASSERKIOSKE

SAUBERES TRINKWASSER FÜR DIE LÄNDLICHE BEVÖLKERUNG UGANDAS

In ländlichen Gegenden Ugandas werden die an der Eawag entwickelten Ultrafiltrationsanlagen eingesetzt, um die Versorgung mit sauberem Trinkwasser sicherzustellen. Die Anlagen an den Ufern des Lake Victoria können mit sehr geringem Aufwand und ohne externe Ressourcen betrieben werden. Wasserqualitätsuntersuchungen haben gezeigt, dass die Anlagen zuverlässig sauberes Wasser liefern. Mit dem Verkauf des Wassers wird ein Einkommen generiert, das den täglichen Betrieb und Unterhalt der Anlagen sichert.

Maryna Peter*, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)

Regula Meierhofer*, Schweizerisches Wasserforschungsinstitut (Eawag)

RÉSUMÉ

KIOSQUE À EAU GDM – DE L'EAU POTABLE PROPRE POUR LA POPULATION RURALE DE L'UGANDA

Environ 30% de la population urbaine et 40% des personnes des zones rurales de l'Ouganda n'ont aucun accès à une source adéquate d'eau potable. L'IFAEPE, en collaboration avec la FHNW, a donc installé plusieurs kiosques à eau près du lac Victoria et évalué l'efficacité de la filtration par membrane gravitaire pour le traitement de l'eau potable dans des écoles. Les systèmes peuvent traiter un volume de 6000 litres d'eau par jour – sans utilisation d'énergie électrique ni de substances chimiques. Des pompes à énergie solaire sont utilisées pour transporter l'eau depuis le lac jusqu'aux écoles. Les exigences en matière d'entretien et d'exploitation des installations sont minimales et se limitent à un rétrolavage et une chloration mensuels du réservoir à membrane. Des contrôles réguliers de la qualité de l'eau pendant plus d'un an ont montré que les installations pouvaient produire efficacement une eau propre. Les revenus générés par la gestion des kiosques suffisent pour assurer l'exploitation et l'entretien quotidiens des systèmes. Le nombre des foyers consommant uniquement de l'eau propre est passé de 27% à 59%. Cela a conduit à un recul des maladies diarrhéiques.

EINFÜHRUNG

Rund 750 Millionen Menschen haben keinen Zugang zu einer guten Trinkwasserquelle, rund 1,8 Milliarden Menschen konsumieren verkeimtes Trinkwasser. Besonders kritisch ist die Situation in städtischen Slums und in abgelegenen ländlichen Gebieten Afrikas [1, 2].

Rund 30% der städtischen Bevölkerung und 40% der Menschen in ländlichen Gegenden Ugandas haben keinen Zugang zu einer adäquaten Trinkwasserquelle. Nur etwa 56% der Haushalte im Osten von Uganda verfügen über Toiletten und lediglich rund 18% der Bevölkerung waschen die Hände regelmässig. Die Mehrheit nutzt den Lake Victoria oder Lake Kyoga als Trinkwasserquelle. In den seltensten Fällen wird das Seewasser vor dem Konsum behandelt. Den schwierigen hygienischen Bedingungen entsprechend sind diese Gegenden regelmässig von Choleraepidemien betroffen.

Um die prekäre Trinkwassersituation vor Ort zu verbessern, installierte und evaluierte das Schweizerische Wasserforschungsinstitut Eawag in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz Trinkwasserbehandlungssysteme in fünf Schulen am Lake Victoria. Die Trinkwasserbehandlungssysteme wurden in Wasserkioske integriert (Fig. 1). Das Wasser wird

* Kontakt: maryna.peter@fhnw.ch; regula.meierhofer@eawag.ch

aus dem Lake Victoria bezogen und für die rund 2750 Schüler und die lokale Bevölkerung im Einzugsgebiet der Schulen aufbereitet.

Ziel des Projektes war die Evaluation der schwerkraftgetriebenen Membranfiltration (GDM) zur Behandlung von Oberflächenwasser. Im Fokus standen dabei das Systemdesign und die technische Performance der Anlagen sowie die Nachhaltigkeit von Betrieb und Unterhalt durch die lokalen Betreiber.

Ein Managementteam der Schule betreibt die Wasserkioske. Die Schulen erhalten das behandelte Wasser gratis, während die lokale Bevölkerung das Wasser zu einem von den Gemeinden festgelegten Preis beziehen kann. Über das dadurch generierte Einkommen sollen die Betriebs- und Unterhaltskosten für die Anlagen langfristig gedeckt werden. Aus diesem Grund ist auch die wirtschaftliche Evaluation des Businessmodells in die Studie integriert.

WASSERKIOSKE

GDM-TECHNOLOGIE

Die schwerkraftgetriebene Membranfiltration (GDM) ist eine Technologie, die in den letzten acht Jahren an der Eawag entwickelt wurde. Im Gegensatz zu konventionellen, für die Trinkwasserbehandlung verwendeten Membransysteme, die

mit einem Wasserdruck von über 100 mbar bis 1 bar betrieben werden, verwendet GDM neben Ultrafiltrationsmembranen mit einer Porengröße von 20 bis 40 nm nur den statischen Druck des Wassers von 10 bis 100 mbar. Für den Betrieb der Systeme werden keine Pumpen benötigt, die Membranen müssen nicht täglich rückgespült werden. Weiter braucht es keine Chemikalien, um die Membranen zu reinigen. Dies ist möglich, weil sich aufgrund des niedrigen Wasserdrucks ein poröser Biofilm auf den Membranen bildet. Ein stabiles Gleichgewicht entsteht zwischen der Deposition von organischem Material und biologischer Aktivität, das zu einem stabilen Durchfluss von Wasser durch die Membranen von ca. 2 bis 10 Liter pro Stunde und Quadratmeter der Membrane führt [3, 4]. Mittels der Systeme werden Protozoen, Bakterien und Viren aus dem Wasser entfernt [5].

DESIGN

Die Systeme haben die Kapazität, 6000 Liter Wasser pro Tag zu behandeln. Wie *Figur 2* zeigt, besteht das Design des Systems aus zwei Komponenten. Die Wasserfassung am Ufer des Lake Victoria enthält eine Infiltrationsquelle und eine Supportkonstruktion für die Panels mit den Photovoltaikzellen. Die Solarpumpe (*Ennos*, Schweiz) transportiert das Wasser über eine Strecke von rund 1,5 bis 2 km vom See bis zum Wasserkiosk. Beim angepassten Design in den zwei neueren Schulen wird das Wasser im Rohwasser-



Fig. 1 Wasserkiosk in Uganda. Das aus dem Lake Victoria stammende Wasser wird mit der schwerkraftgetriebenen Membranfiltration, kurz GDM, behandelt. Kiosque à eau en Ouganda. Eau provenant du lac Victoria traitée par filtration par membrane gravitaire (ou GDM).

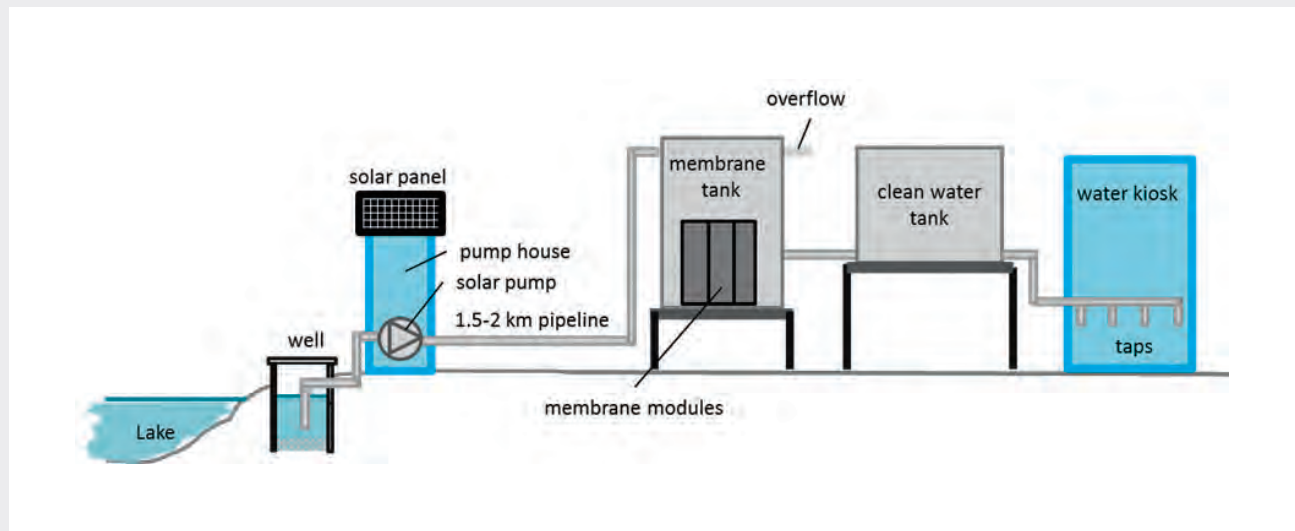


Fig. 2 Design des GDM-Trinkwasserbehandlungssystems / Conception du système de traitement de l'eau potable GDM

tank mit einem Volumen von 10 000 Liter gesammelt. Der Rohwassertank enthält das Membranmodul mit einer Membranfläche von 80 m² (*Microdyn-Nadir Biocell 25*, Deutschland, oder *Martin Membrane Sytems, Filter Cube FM1041*, Deutschland). Durch den Gravitationsdruck zwischen dem Wasserniveau im Rohwassertank und im zweiten Tank wird das Wasser durch die Membrane gefiltert. Das gefilterte Wasser wird im zweiten Tank mit einem Volumen von 6000 Liter aufbewahrt. Beide Tanks sind erhöht, um genügend Wasserdruck an den Wasserhähnen im Kioskgebäude zu erzeugen.

BETRIEB UND UNTERHALT

Der regelmässige Unterhalt der Systeme umfasst folgende Schritte:

- monatliches Rückspülen des Membrantanks
- monatliche Schockchlorierung des zweiten Tanks mit sauberem Wasser
- Säuberung der Photovoltaikzellen
- Unterhalt der Solarpumpe
- Überprüfung der kritischen Kontrollpunkte im System und in der Leitung zwischen See und Wasseriosk

BUSINESS SET-UP

Betrieben werden die Wasserioske von einem Management-Komitee. Dieses wird von der Schule geleitet und besteht aus Vertretern der betroffenen Gemeinden sowie der für die Projektumsetzung zuständigen NGO. Das Komitee stellt den Betreiber der Wasserioske an und definiert, zu welchem Preis das Wasser an die lokale Bevölkerung verkauft wird. Die Schulen erhalten das Wasser kostenlos, während die privaten Kunden einen Preis von 50

bis 100 Uganda-Schilling (USh) für 20 Liter Wasser bezahlen – dies entspricht 0.0125 bis 0.025 Franken. An einzelnen Standorten können täglich bis zu 100 Liter Wasser für einen monatlichen Pauschalpreis von 3000 USh (0.75 Fr.) bezogen werden. Ein zusätzliches Einkommen erzielen die Kioske mit dem Verkauf von Gesundheitsartikeln und täglichen Gebrauchsgütern.

EVALUATIONSMETHODEN

Mikrobiologische Wasserqualität

Zur Analyse der Wasserqualität wurden an fünf Kontrollpunkten im System sowie an den Wasserhähnen beim Kiosk während des ersten Jahres in wöchentlichen, später in monatlichen Abständen Wasserproben genommen. Die Präsenz von *E. coli* und Gesamtkoliformen in den Wasserproben wurde mittels Membranfiltration analysiert. 100 ml Wasser wurde gefiltert und die Filterpapiere (*Merck*, 0,47 µm) auf *Nissui Compact Dry EC*-Platten bei 36 °C inkubiert.

Business Performance

Zur Evaluation des Wasserverkaufs wurden Daten aus der Buchhaltung der Kioske verwendet. Einerseits wird der Verbrauch des Wassers über die installierten Wassermeter aufgezeichnet, andererseits notieren die Kioskbetreiber täglich die Menge des verkauften Wassers und den damit erzielten Ertrag.

Fragebogen

Um zu evaluieren, welche Wirkung das Projekt auf die lokale Bevölkerung hat, wurden 338 Haushalte vor und 317 Haus-

halte zwei Jahre nach Projektumsetzung mit einem strukturierten Fragebogen befragt. Die Haushalte wurden über ein randomisiertes Verfahren ausgewählt.

RESULTATE

MIKROBIOLOGISCHE WASSERQUALITÄT

Die gemessene Qualität der Wasserproben wurde in die von der Weltgesundheitsorganisation WHO definierten Risikokategorien eingeteilt. Dabei entsprechen die *E. coli*-Kolonien folgenden Kategorien [6]:

- 0 CFU/100 ml = in Konformität mit den Guidelines
- 1-10 CFU/100 ml = niedriges Risiko
- 11-100 CFU/100 ml = mittleres Risiko
- 101-1000 CFU/100 ml = hohes bis sehr hohes Risiko

Figur 3 zeigt die Wasserqualität im System gemessen zwischen November 2015 und Dezember 2016. Alle Proben aus dem See wurden der mittleren oder hohen Risikokategorie zugeordnet. 97,3% der Proben nach der Membrane, 9,8% der Proben aus dem Tank für das saubere Wasser und 95% der Proben vom Wasserhahn am Kiosk lagen in der niedrigen Risikokategorie. Die meisten dieser Proben enthielten 0 oder 1 *E. coli* CFU/100 ml. Einige Proben mit einer höheren Verschmutzung wurden kurz nach Inbetriebnahme der Systeme gemessen und waren zurückzuführen auf undichte Verbindungen. Seit Mai 2016 waren alle Proben im sauberen Wassertank und an den Wasserhähnen frei von *E. coli*. Die

¹ CFU = Colony Forming Unit, englisch für koloniebildende Einheit

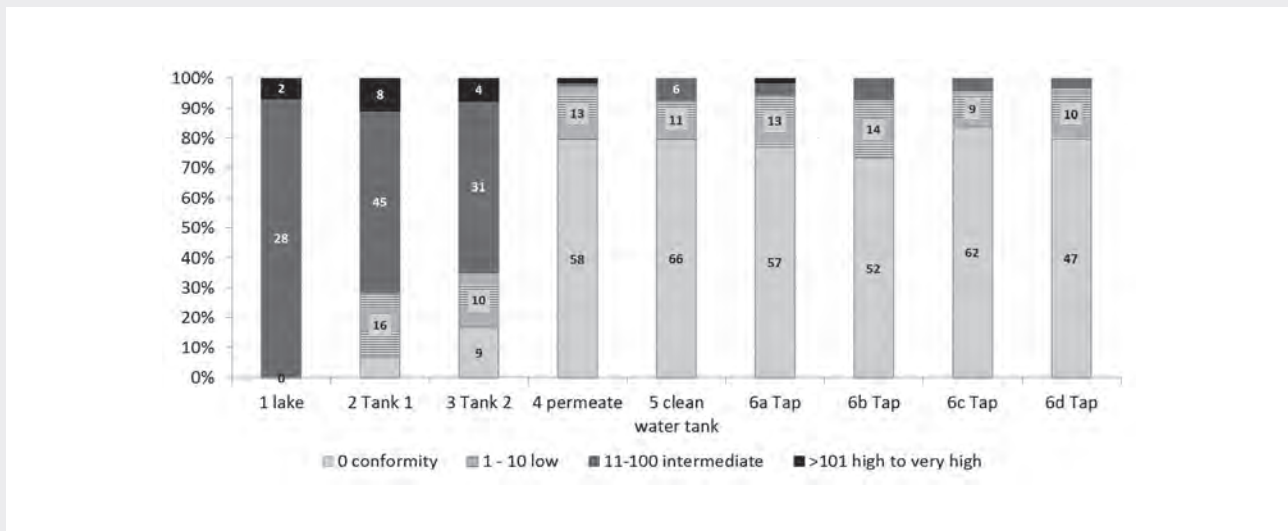


Fig. 3 Anzahl der Wasserproben in WHO-Risikokategorien für Trinkwasser

Nombre d'échantillons d'eau dans les catégories de risques de l'OMS pour l'eau potable

Messung der Durchflussraten zeigte einen stabilen Durchfluss von 2 bis 6 Liter pro Stunde und pro Quadratmeter Membranfläche, trotz relativ trüber Rohwasserqualität mit hohem Anteil an organischem Material.

VERKAUF VON WASSER

Der Wasserbedarf liegt bei etwa 10 m³ pro Monat und Schule. Der Wasserverkauf an den Kiosken ist abhängig vom Standort. In Lugala, wo die Bevölkerung das Wasser zu einem niedrigeren Preis für eine monatliche Pauschalrate beziehen kann, wurden von Mai 2016 bis April 2017 854 m³ Wasser verkauft. In Bulwande und Busime lag das verkaufte Wasservolumen in der gleichen Periode bei 163 resp. 269 m³.

Vom Mai 2016 bis April 2017 haben die drei Kioske zusammen 558 Franken erwirtschaftet (207 Fr. in Lugala, 208 Fr. in Busime und 143 Fr. in Bulwande) – durchschnittlich 46.5 Fr. pro Kiosk und Monat. Die Betriebskosten der Kioske lagen bei durchschnittlich 10.5 Franken pro Monat und setzten sich zusammen aus dem Lohn des Betreibers und Ausgaben für kleinere Reparaturen. Einen zusätzlichen Profit von durchschnittlich 42 Franken pro Kiosk und Monat erzielten die Betreiber über den Verkauf von Gesundheitsprodukten und anderen Verbrauchsartikeln.

Seit Inbetriebnahme der drei Kioske (Juli 2015, November 2015 und Januar 2016) konnten mit dem Verkauf von Wasser 684 Franken und mit dem Verkauf von anderen Produkten (seit November 2016) 246 Franken erspart werden. Damit sind die Kioskbetreiber in der Lage, auch grössere Reparaturen wie zum Beispiel den Ersatz einer Solarpumpe (ca. 400 Fr.) zu finanzieren.

NUTZUNG DURCH DIE BEVÖLKERUNG

Der Befragung der lokalen Bevölkerung zeigte, dass der Konsum von unbehandeltem Wasser von ursprünglich 73 auf 41% gesunken ist. Nach der Intervention konsumieren 65% der Haushalte Trinkwasser aus sauberen Quellen, 58% kaufen ihr Wasser am Kiosk. Die Interviews ergaben weiter, dass Durchfallerkrankungen bei Erwachsenen um 78% zurückgegangen sind (von 19% bei Projektbeginn gegenüber 6% bei der Evaluation). Die Durchfallerkrankungen bei Kindern unter fünf Jahren wurden um 69% reduziert (von 34% gegenüber 14%).

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Evaluation zeigte, dass die GDM-Systeme zuverlässig Wasser aus dem Lake Victoria behandeln können, und dass die Systeme gut von lokalen Management-Komitees aus den ländlichen Gebieten betrieben werden können. Wiederverkeimung im sauberem Wassertank und an den Wasserhähnen beim Kiosk stellt ein gewisses Risiko dar, deshalb wird eine monatliche Schockchlorierung des zweiten Tanks und der Leitungen zu den Wasserhähnen empfohlen.

Die Anzahl der Haushalte, die sauberes Wasser konsumieren, ist stark angestiegen. Dies schlägt sich in der reduzierten Anzahl Durchfallerkrankungen nieder. Aber noch immer konsumieren mehr als 30% der Bevölkerung unbehandeltes Wasser. Umfassende Promotions- und Verhaltensänderungskampagnen sollten umgesetzt werden, um diesen Anteil weiter zu reduzieren.

Die vom Kioskmanagement realisierten Einnahmen genügen, um den täglichen Betrieb und Unterhalt der Systeme zu sichern. Sie sind aber ungenügend, um langfristige Investitionen für eine Expansion der Technologie oder den Ersatz der Membranmodule in zehn Jahren zu decken.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] WHO (2014): *Investigating in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities. UN-Water global analysis and assessment of sanitation and drinking water. GLAAS Report. In, World Health Organization, Geneva*
- [2] Onda, K.; Lobuglio, J.; Bartram, J. (2012): *Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. International Journal of Environmental Research and Public Health 9(3), 880–94*
- [3] Peter-Varbanets, M.; Hammes, F.; Vital, M.; Pronk, W. (2010): *Stabilization of flux during dead-end ultra-low pressure ultrafiltration. Water Research 44(12), 3607–16*
- [4] Peter-Varbanets, M.; Margot, J.; Traber, J.; Pronk, W. (2011): *Mechanisms of membrane fouling during ultra-low pressure ultrafiltration. Journal of Membrane Science 377(1), 42–53*
- [5] Peter-Varbanets, M. (2015): *Gravity-driven membrane disinfection for household water treatment. Eawag, Dübendorf*
- [6] WHO (2004): *Guidelines for Drinking-Water Quality, 3rd Edition. Vol. 1: Recommendations. WHO, Geneva*