

# Dokumentation der Entwicklung einer Bio- Langsamsandfiltration als dezentrale Wasseraufbereitungstechnik in Entwicklungsländern

Crailsheim 2016

Land:	Uganda
Bezirk:	Mpigi district
Stadt:	Kammengo
Aufenthaltsdauer:	21.08.2014 - 20.09.2014
Projekt:	Engineers without Borders, Projekt Ssama School 2014

## Inhalt

1. Projektbeschreibung .....	2
1.1 Kooperation mit Engineers without Borders (KIT) .....	2
1.2 MEVA Projekt, Port-au-Prince (Haiti) .....	2
1.3 St. Mary's Ssama Primary School, Kammengo (Uganda) .....	2
2. Systembeschreibung .....	4
2.1 Funktionsprinzip Sandfilter .....	4
2.2 Dimensionierung der Filterschichten .....	4
2.3 Dimensionierung Speichertank .....	7
3. Qualitätsmanagement.....	9
4. Beurteilung .....	10

## 1. Projektbeschreibung

### 1.1 Kooperation mit Engineers without Borders (KIT)

Im Jahr 2014 wurden von der Hochschulgruppe Engineers without Borders zwei Hilfsprojekte in Port-au-Prince (Haiti) und Kammengo (Uganda) durchgeführt. Ziel war es jeweils, zwei Schulgebäude mit autarken Wasseraufbereitungs- und Speichersystemen auszurüsten. Ein IWAO Mitglied war bei beiden Projekten vor Ort tätig und unterstützte die EWB mit Knowhow und Engineering. Die Stadtwerke Karlsruhe stellten die wissenschaftliche Infrastruktur in Form des Heinrich-Sontheimer-Laboratoriums (HSL) am Wasserwerk Durlacher Wald zur Verfügung. Die Engineers without Borders sind eine interdisziplinäre, projektorientierte Hochschulgruppe am Karlsruhe Institut für Technologie. Die Mitglieder engagieren sich ehrenamtlich, unentgeltlich und tragen ihre persönlichen Auslagen (Reisekosten, Impfungen etc.) selbst. Die Projekte werden über Fundraising finanziert.

Nachfolgender Bericht soll die gewonnenen Erfahrungswerte dokumentieren und für Folgeprojekte nutzbar machen.

### 1.2 MEVA Projekt, Port-au-Prince (Haiti)

Die Schule MEVA – La Maison des Enfants du Village de l’Avenir“ liegt im Stadtviertel Carrefour-Feullies/Caridad und wird von dem Berliner Verein HaitiCare e.V. getragen. Hinter diesem Verein steht das Ehepaar Michael und Barbara Kaasch. Nachdem sie vor etwa 30 Jahren Natacha Marseille, ein haitianisches Waisenkind, adoptiert hatten und zum ersten Mal nach Haiti reisten, entschlossen sie sich in Haiti aktiv zu werden. Natacha ist heute die Schulleiterin in der von Familie Kaasch gegründeten Schule, die von 300 Kindern besucht wird.

Durch das schwere Erdbeben im Januar 2010 wurde das gesamte Schulgebäude zerstört. Beim Wiederaufbau wurde, wohl auch aufgrund zahlreicher weiterer Schwierigkeiten, nicht an eine Trinkwasserversorgung gedacht. Durch den Kontakt mit Haiti Care e.V. wurde die Hochschulgruppe EWB auf das Problem aufmerksam. Neben einer Wasserspeichermöglichkeit in Form einer 100m<sup>3</sup> großen Zisterne wurde ein Filtersystem zur Sicherstellung einer ausreichenden Trinkwasserqualität entwickelt, vor Ort installiert und in Betrieb genommen.

### 1.3 St. Mary’s Ssama Primary School, Kammengo (Uganda)

Die St Marys Ssama Primary School liegt in Ssama im Mpigi-District, etwa 20 km entfernt von der nächstgrößeren Siedlung Kamengo und etwa 50 km südwestlich der Hauptstadt Kampala.

Die Schule wurde 1970 gegründet und die Infrastruktur entwickelte sich über lange Zeit kaum weiter, bis Father Edward Ssonko die Patenschaft für die Schule übernahm. Mit seiner Organisation NAYOFA hat er eins der Schulgebäude, sowie eine mittlerweile unbrauchbare Solaranlage gestiftet. Das Gebiet, auf dem sich die Schule heute befindet, war früher nur eine Brachfläche. Während des Krieges in Ruanda kamen viele Flüchtlinge in diese Gegend und siedelten sich dort an. Aufgrund der Nähe zum Victoriasee waren viele von ihnen Fischer, von denen die wenigsten eine Schulbildung genossen hatten. Deshalb wurde an dieser Stelle die Ssama Primary School aufgebaut.

Zurzeit besuchen fast 300 Kinder die Schule, was zur absoluten Auslastung der räumlichen Gegebenheiten führt. Während der ersten Projektphase waren allerdings weniger als 100 Schüler anwesend, da sie in ihren Dörfern bei Aufräumarbeiten helfen mussten, die durch eine überdurchschnittlich stark ausgeprägte Regenzeit nötig wurden.

Der Schulleiter Gerald Kabanda setzt sich dafür ein, dass die Kinder bei denen abzusehen ist, dass sie zu Hause zur Arbeit gezwungen und nicht mehr in die Schule geschickt werden würden, in der Schule übernachten können und dort gepflegt und betreut werden.

Die ausschließliche Versorgung der Lehrkräfte und Schüler mit dem günstigen Porridge führt zu vielfacher Mangelernährung. Weitere Probleme ergeben sich aus der zu geringen Anzahl an Latrinen, wodurch Wartezeiten von bis zu 30 Minuten entstehen können. In der Eile spielt Hygiene oftmals keine Rolle mehr und wichtige Unterrichtszeit geht dadurch verloren. Des Weiteren haben die in der Schule untergebrachten Kinder oftmals keine Privatsphäre und mussten bisher morgens bis zu 2 Stunden damit verbringen, das Trinkwasser für den Tag am mehrere Kilometer entfernten Brunnen zu besorgen.

Nichtsdestotrotz gibt Herr Kabanda zu verstehen, gehe es der Schule seit der Zusammenarbeit mit NAYOFA merklich besser und man kann die Aufgaben mit größerer Zuversicht angehen. Momentan schaffen es 20% der Kinder auf eine weiterführende Schule, was eine Verdopplung in den letzten fünf Jahren bedeutet.

Die Engineers without Borders unterstützten die Anstrengungen der NAYOFA im Jahr 2014 mit dem Aufbau einer autarken Wasseraufbereitungs- und Speicheranlage. Hierzu wurden eine kleine Solaranlage sowie ein eigenes, abschließbares Gebäude errichtet.

## 2. Systembeschreibung

### 2.1 Funktionsprinzip Sandfilter

Ein technischer Sandfilter in Wasserwerksausführung besteht aus einer 0,4 - 1,2 m dicken Filterschicht aus Quarzsand mit einem Korndurchmesser von 0,3 - 0,6 mm. Die Filterschicht liegt auf mehreren Stüttschichten auf. Die Stüttschichten erhöhen den Korndurchmesser schrittweise von 2 auf bis zu 35 mm. Es gilt dabei die Regel, dass die darunterliegende Schicht maximal den 3-fachen Korndurchmesser der darüber liegenden Schicht aufweisen darf. Dadurch wird vermieden, dass Teilchen der feineren Schicht in die Poren der darunter liegenden Schicht eindringen können und diese verstopfen.

Über die Betriebszeit nimmt die Filterleistung des Sandfilters kontinuierlich ab. Wird ein vorher definierter Durchgangswert unterschritten, muss der Filter gereinigt werden. Bei offenen Sandfiltern wird hierzu der obere Teil der Filterschicht abgehoben und ersetzt. Da bei einem Biosandfilter die Reinigungswirkung nicht allein auf mechanisch/physikalischen Prozessen beruht, benötigt der Filter nach der Reinigung eine Einlaufzeit von mehreren Tagen, bis die biologische Reinigungswirkung durch erneuten Aufwuchs der Reinigungsbakterien wiederhergestellt ist. Während dieser Zeit muss das Filtrat abgeschlagen werden, wobei es in den Zulauf zurück gefördert werden kann.

### 2.2 Dimensionierung der Filterschichten

Der Filterschicht des Sandfiltermodells „Haiti“ wurde weitgehend empirisch mit vor Ort verfügbarem Siebmaterial hergestellt. Die genaue Kornzusammensetzung ist bis heute unbekannt. Die Durchlässigkeit wurde in Feldversuchen durch Mischung unterschiedlicher Kornqualitäten eingestellt.

Am Modell „Uganda“ wurden diese Erfahrungswerte genutzt. Aus Port-au-Prince war bekannt, dass Körnungen unter 0,25 mm vor Ort nicht in größeren Mengen zu gewinnen sind. Da die kleinste Körnung den Durchgangsbeiwert  $k_f$  bestimmt, wurden Laborversuche am Heinrich-Sontheimer-Laboratorium durchgeführt, um zu ermitteln ob die benötigte Filtergeschwindigkeit von  $200 \frac{l}{m^2 \cdot h}$  durch Regulierung der Überstauhöhe mit der gewählten Korngrößenverteilung zu erreichen ist.



Abb. 1: Durchlässigkeitsversuche, HSL Karlsruhe 13.08.2014



Durchlässigkeitsbeiwert nach HAZEN (1893):

$$k_f = 0,0116 \cdot d_w^2 = 0,0116 \cdot d_{10}^2$$

$d_w$  = wirksamer Korndurchmesser [mm]  
 $d_{10}$  = Korndurchmesser für den Gewichtsanteil  $m = 10\%$  der Sieblinie

Vorraussetzung: Ungleichförmigkeitsgrad nach DIN EN ISO 14866-2:2004  $C_u = d_{10} / d_{60} < 5$

Durchlässigkeitsbeiwert nach BEYER:

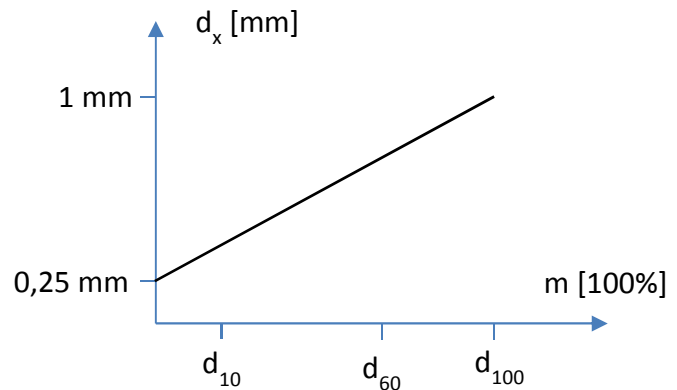
$$k_f = C \cdot d_{10}^2$$

$$C = f(C_u)$$

Bestimmung von C:

U	C	Mittelwert C
1-1.9	0.0120 -0.0105	0.0110
2-2.9	0.0105 -0.0095	0.0100
3-4.9	0.0095 -0.0085	0.0090
5-9.9	0.0085 -0.0075	0.0080
10-19.9	0.0075 -0.0065	0.0070
>20	0.0065	0.0065

Sieblinie der Filterschicht (Annahme):



Bestimmung der Ungleichförmigkeitszahl  $C_u$  nach DIN EN ISO 14866-2:2004:

ungünstigster Fall:  $d_{10} = 0,25 \text{ mm}$   $C_u > 15$  sehr ungleichförmig  
 $d_{60} = 1,00 \text{ mm}$   $5 > C_u > 15$  ungleichförmig  
 $C_u < 5$  gleichförmig

$$C_u = \frac{d_{10}}{d_{60}} = \frac{1,00}{0,25} = 4 \rightarrow \text{gleichförmiger Boden}$$

Abschätzung des Durchlässigkeitsbeiwertes nach HAZEN:

$$k_f = 0,0116 \cdot d_{10}^2 = 0,0116 \cdot 0,25^2 = 0,00072 \text{ [m/s]}$$

Abschätzung des Durchlässigkeitsbeiwertes nach BEYER:

$$k_f = C \cdot d_{10}^2 = 0,009 \cdot 0,25^2 = 0,00056 \text{ [m/s]} \quad \text{mit } C_u = 4$$

Einstellung der Filtergeschwindigkeit:

Die Durchlässigkeit der Filterschicht soll  $200 \frac{l}{m^2 \cdot h}$  betragen. Zur Einstellung der Filtergeschwindigkeit wurden die Gesetzmäßigkeiten des Durchlässigkeitsversuchs [vgl. Geotechnik; Prof. Dr.-Ing. Katzenbach; TU Darmstadt] herangezogen.

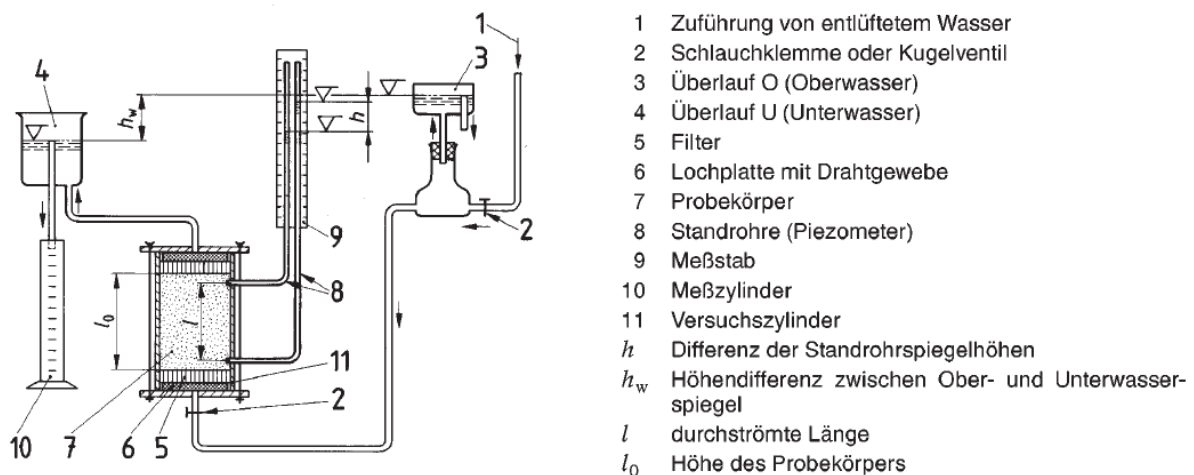


Abb. 2: Durchlässigkeitsversuch

Die Formel zur Berechnung von  $k_f$  aus dem Durchlässigkeitsversuch wurde so umgestellt, dass damit bei bekanntem  $k_f$  und vorgegebener Filtergeschwindigkeit der benötigte Filterüberstau  $h$ [m] ermittelt werden konnte.

Die gewünschte Filtergeschwindigkeit ermittelt sich aus:

$$\text{Filterfläche: } \frac{(0,7\text{m})^2 \cdot \pi}{4} = 0,38\text{m}^2$$

$$\text{Filtergeschwindigkeit: } 200 \frac{l}{m^2 \cdot h} \cdot 0,38\text{m}^2 = 76 \frac{l}{h} \cdot \frac{1 h}{3600s} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} = 0,00002111 \frac{m^3}{s}$$

Die Durchlässigkeit der Bodenprobe ermittelt sich aus:

$$k = \frac{v}{i} = \frac{Q \cdot l}{A \cdot h} \quad [\text{m/s}]$$

mit: Q Durchfluss [m<sup>3</sup>/s]  
l Fließweg [m]  
h Potentialunterschied [m]  
A Querschnittsfläche der Probe [m<sup>2</sup>]

Nach Umstellung der Gleichung ermittelt sich der Potentialunterschied h [m] aus:

$$h \text{ [m]} = \frac{Q \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \cdot l \text{ [m]}}{A \text{ [m}^2\text{]} \cdot kf \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]} = \frac{0,00002111 \cdot 0,4}{0,38 \cdot 0,00072} = 0,03 \text{ m}$$

Bei einem Filterüberstand von ca. 3 cm stellt sich also die gewünschte Filtergeschwindigkeit ein.

### 2.3 Dimensionierung Speichertank

Die niederschlagsärmste Zeit liegt in den Sommermonaten von Juni bis September. Planungsziel war es, die Wasserversorgung für alle 300 Schüler ganzjährig zu gewährleisten. Im trockensten Monat Juli fallen nur ca. 65 mm Niederschlag.

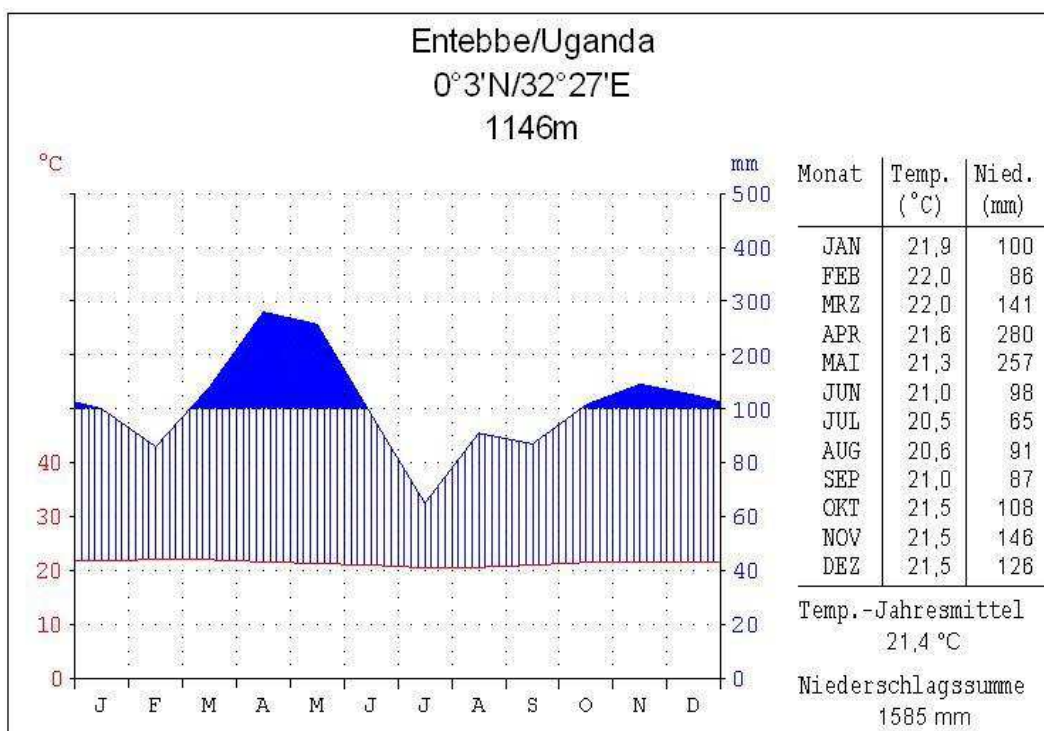


Abb. 3: Niederschlagsmengen Entebbe/Uganda 2014

Der monatliche Wasserbedarf der Schüler beträgt:

$$300 \text{ Schüler} \cdot 1,5 \frac{\text{l}}{\text{d}} \cdot 30 \text{ Tage} = 13.500 \text{ l}$$

Zur Wassergewinnung stehen ca. 230m<sup>2</sup> Dachfläche zur Verfügung. Wird die Dachfläche komplett genutzt, können im trockensten Monat Juni noch ca. 65 l/m<sup>2</sup> · 230m<sup>2</sup> = 14.950l Rohwasser gewonnen werden. Durch den Fallrohrfilter ist mit einem Rohwasserverlust von 10% zu rechnen. Mit den verbleibenden 13.445l Reinwasser wäre der Bedarf der Schule zu decken; falls das Regenwasser vollständig gespeichert werden kann.

Niederschläge fallen in der Trockenzeit an 2-3 Tagen im Monat. Für den Monat Juni wurden zwei Niederschlagsereignisse mit 32 mm Niederschlag angenommen. Pro Niederschlag ist dann mit einem Rohwasseraufkommen von 7400 l zu rechnen. Um das Regenwasser in der Trockenzeit vollständig aufzunehmen, wurde daher ein 10.000l Speichertank angeschafft.

Das vollständige System ist in Abbildung 3 dargestellt.

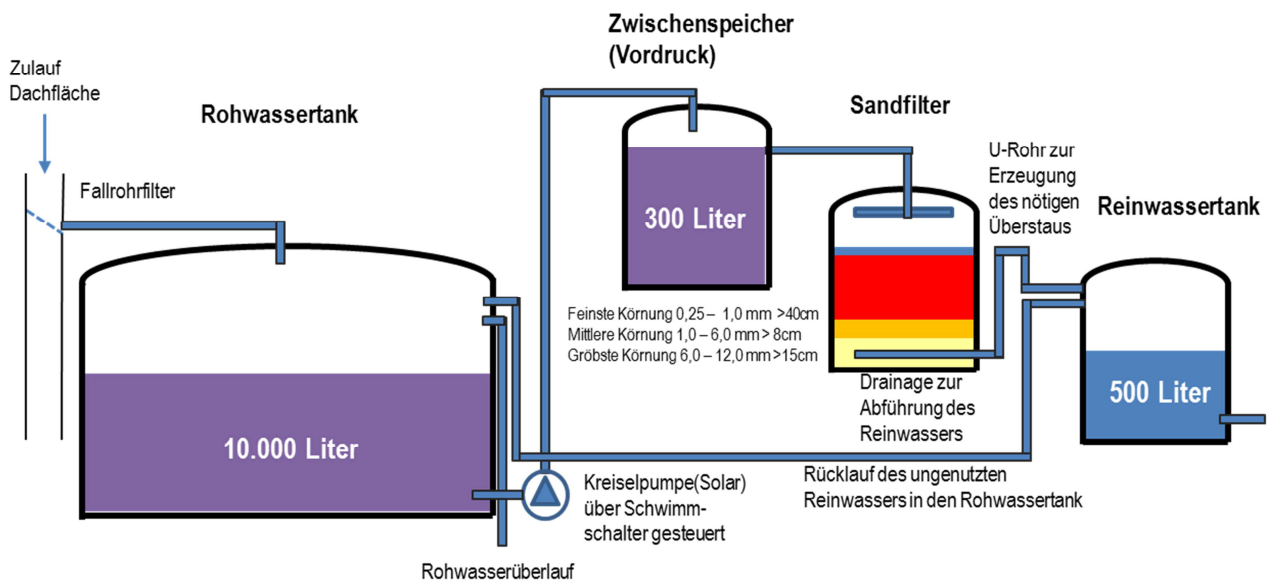


Abb. 4: Schemazeichnung Wasseraufbereitung Ssama School





ENGINEERS  
WITHOUT BORDERS  
KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

### 3. Qualitätsmanagement

Die Wasserqualität der Anlage in Kammengo (Uganda) wurde im Central Laboratory der National Water and Sewerage Corporation in Kampala in Zeitabständen von zwei Wochen in insgesamt drei Probenchargen überprüft und für trinkbar erklärt. Die Anlage wurde daraufhin für den täglichen Gebrauch freigegeben. Nachfolgende Projektteams nehmen einmal im Jahr einen Revisionsbesuch an der Anlage vor, wofür sie vorher in Deutschland geschult und eingewiesen wurden. Die Engineers without Borders Karlsruhe pflegen ein Wissensmanagementsystem, welches sicherstellen soll, dass bestehendes Knowhow nicht wieder Verloren geht. Ehemalige Mitglieder bleiben auch nach dem Studienabschluss für die Organisation über ein Alumni Netzwerk erreichbar.



#### NATIONAL WATER AND SEWERAGE CORPORATION

CENTRAL LABORATORY - BUGOLOBI.

P.O.BOX 7053 KAMPALA.

E-mail: [waterquality@nWSC.co.ug](mailto:waterquality@nWSC.co.ug)

#### **CERTIFICATE OF ANALYSIS**

CLIENT: **MR. KLAUS BUCHHOLZ**

Ref No: LS 343275/INV/2014/558

Sample Source: Filtered rain water

Sampled by: Client staff

Date Sample Received: 16-Oct-2014

Date of Report: 22-Oct-2014

Table of Analytical Results

Parameters	Units	Filtered rain water	National Standards for potable water. (Un-treated water)
WS Sample Nr	--	K1907/14/B	
Bacteriological: Escherichia coli	CFU/100mL	0	0
Total bacterial count at 22°C	CFU/mL	80	100

Remarks:

APPROVED BY:

Christopher Kanyesigye

MANAGER- CENTRAL LABORATORY SERVICES

Abb. 5: Laborbericht der National Water und Sewerage Corporation, Kampala

#### 4. Beurteilung

Das entwickelte Wasseraufbereitungs- und Speichersystem der Engineers without Borders Karlsruhe birgt das Potenzial, über mehrere Jahre hinweg autark und nahezu wartungsfrei eine größeren Anzahl von Menschen Wasser von gesundheitlich unbedenklicher Qualität zur Verfügung stellen zu können.

Es wird empfohlen, die Arbeit der Engineers without Borders e.V. auch weiterhin zu unterstützen.

02.09.2016  
Ort, Datum

Christof Doppler M.Eng.  
Projektleiter

Prof. Dr. Peter Kunz  
Präsident