

Nachhaltige Trinkwasseraufbereitung von fluoridhaltigen Wässern im Norden von Tansania

Abschlussbericht

Mai 2016

**Projektstart: 01/10/2014
Projektende: 31/03/2016**

Dauer: 18 Monate

**Verfasser: Martin Eller (Mörk Water Solutions) / Jan Hoinkis (Hochschule
Karlsruhe – Technik und Wirtschaft)**

Kurzfassung des Gesamtvorhabens

Die Aufgabe des Projekts war es eine Pilotanlage zur Fluoridentfernung aus Grundwasser aufzubauen, zu testen und vor Ort im HAI Institute of Technologie, Moshi, Tansania in Betrieb zu nehmen. Die Anlage nutzt das Prinzip der Nanofiltration und wird komplett autonom mittels Photovoltaik betrieben (siehe Abb.1). Die Anlage wurde erfolgreich aufgebaut und in Betrieb genommen und produziert seit Juli 2015 problemlos täglich etwa 200 L Trinkwasser, welches vollständig den Trinkwasseranforderungen von Tansania genügt. Insbesondere ist der Fluoridgehalt des behandelten Wasser stets $< 1 \text{ mg/L}$ (Grenzwert: $1,5 \text{ mg/L}$). Der Großteil des Konzentrats der Nanofiltration wird zum Waschen und zur Toilettenspülung genutzt und anschließend über eine Sickergrube entsorgt. Das Personal am HAI Institut wurde für an der Anlage geschult und sorgt für einen problemlosen Betrieb der Pilotanlage.

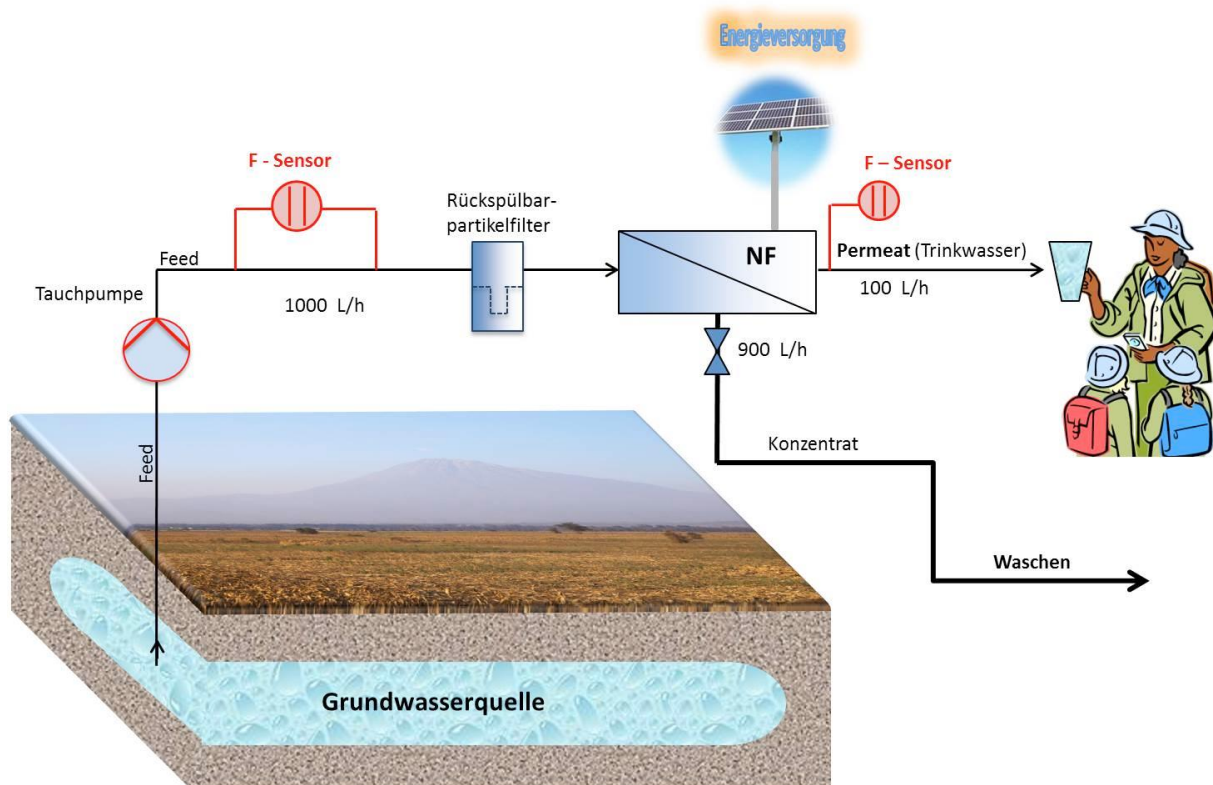
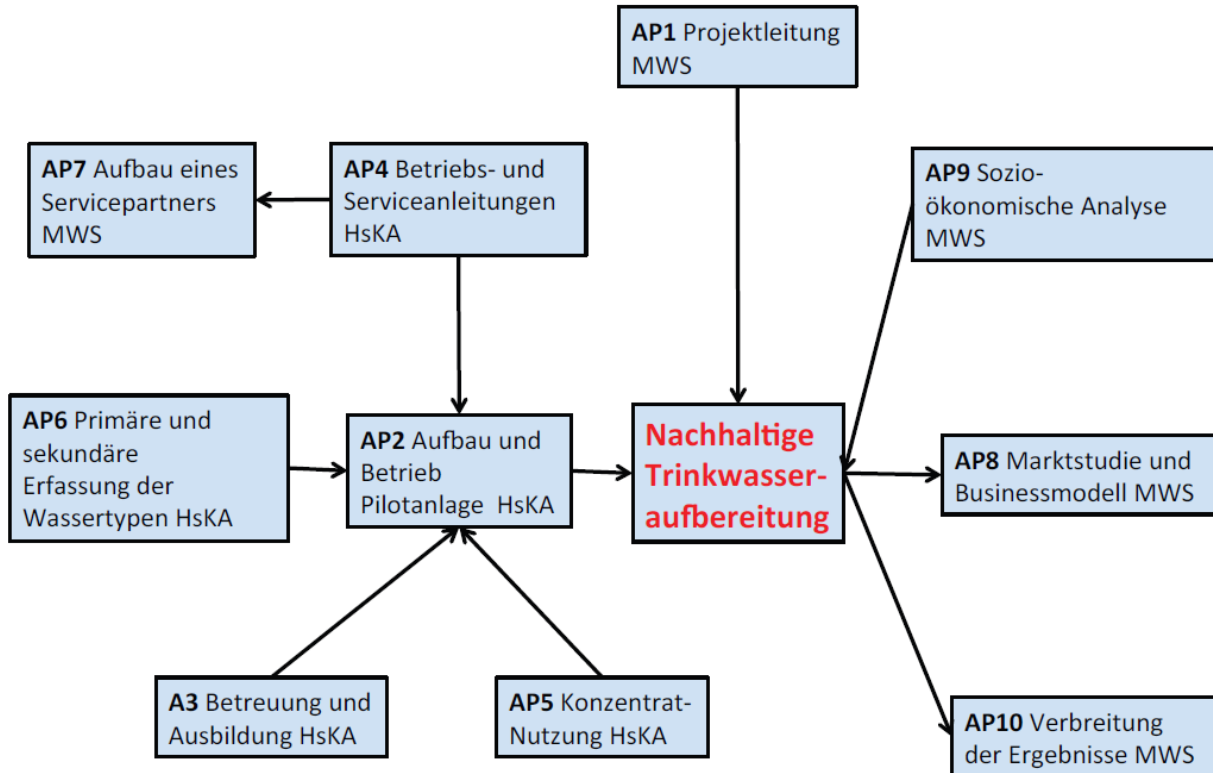


Abb. 1: Schematische Darstellung des Konzepts zur Fluorid Entfernung aus Grundwasser mittels Nanofiltration

Projektnummer: AZ31566

1. Übersicht Arbeitspakete und Zeitplan

Übersicht Arbeitspakete:



Projektzeitplan:

Förderperiode - 18 Monate																		
Quartal	4 / 2014			1 / 2015			2 / 2015			3 / 2015			4 / 2015			1 / 2016		
Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
AP1 / MWS																		
AP2 a / HsKA																		
AP2 b / HsKA																		
AP3 / HsKA																		
AP4 / HsKA																		
AP5 / HsKA																		
AP6 / HsKA																		
AP7 / MWS																		
AP8 / MWS																		
AP9 / MWS																		
AP10 / MWS																		
Schlussbericht MWS + HSKA																		

Projektnummer: AZ31566

2. Projektergebnisse nach Arbeitspaketen

Inhalt:

Aufteilung der Aufgaben an die beteiligten Parteien erfolgte in Arbeitspaketen (AP's).

Material und Methoden:

In den AP's werden alle relevanten Unterlagen beschrieben und ausgewiesen.

AP1: Projektleitung

Koordination des Gesamtprojekts:

Mörk GmbH & Co. KG
BU Mörk Water Solutions (MWS)
Mollenbachstr. 33-35
71229 Leonberg

Projektleitung:

Dipl. Ing Martin Eller
Mitarbeiter:
Dipl. Ing. Johannes Puy

Umsetzung und Ausführung:

Hochschule Karlsruhe (HaKA)
Institut für Angewandte Forschung
Moltkestr. 30
76133 Karlsruhe/Baden Württemberg

Verantwortlicher der HsKA:

Prof. Dr. Jan Hoinkis

Organisation der Projekttreffen:

In Absprache wurden innerhalb der Projektphase Treffen einberufen, sowohl an der Hochschule Karlsruhe als auch bei der Mörk GmbH & Co. KG in Leonberg.

Sicherstellung der Zielerreichung

Ergebnisprotokolle der Treffen, sowie die Freigabe der Teilergebnisse und To-do-Listen wurden entsprechen bekannt gegeben und verteilt.

Projektnummer: AZ31566

AP2: Aufbau und Inbetriebnahme der Pilotanlage

Inhalt:

- a) **Materialeinkauf:**
Vorlauftest in Deutschland

- b) **Versand und Aufbau vor Ort:**
Inbetriebnahme
1 Jähriger Betriebsbetreuung (Reparatur- und Wartungsarbeiten)

Material und Methoden:

Vorlauftest der Anlage wurde bei Fa. MFT in Zusammenarbeit mit HSKA durchgeführt. Inbetriebnahme erfolgte über HSKA in Tansania. 1 jährige Betriebsbetreuung erfolgte durch HSKA, teilweise vor Ort in Tansania.

Ergebnis:

a) **Materialeinkauf:**

Der Materialeinkauf und Vorlauftest bei Fa. MFT/Köln ist abgeschlossen. Die Arbeiten wurden durch eine Masterarbeit der Hochschule Karlsruhe unterstützt (Michael Wartha, Design of an autonomous pilot plant for drinking water treatment of fluoride-containing water, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Februar 2015). Folgende Dokumente wurden in Zusammenarbeit mit Fa. MFT/Köln erarbeitet.

Dokumente im Anhang:

- R&I Fließschema (Anlage 1)
- Anlagenkomponenten (Anlage 2)

b) **Versand und Aufbau vor Ort:**

Die Anlage wurde nach Tansania versandt und am 2.Juli 2015 in Betrieb genommen. Diese Arbeiten wurden durch eine Bachelorarbeit der Hochschule Karlsruhe unterstützt (Pia Britsch: Installation and start-up of an autonomous pilot plant for drinking water treatment of fluoride-containing groundwater, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, August 2015). Die Anlage lief von Beginn an stabil und das Permeat hat stets alle relevanten Parameter für Trinkwasser erfüllt (Tab.2), insbesondere liegt die Fluoridkonzentration unter deutlich unter dem von der WHO geforderten Grenzwert von 1,5 mg/l. Die Anlage wurde täglich für 2-3 h betrieben und produziert etwa 180-190 l/h Permeat bei einer Ausbeute von ca. 9%. Eine detaillierte Beschreibung der Anlage in der Phase der Inbetriebnahme erfolgte in der Abschlussarbeit von Frau Britsch.

Eine Probe des Permeats wurde am 23.06.2015 vom Institut „Moshi Urban Water Supply And Sanitation Authority“ analysiert. Der Laborbericht über die Wasserqualität

Projektnummer: AZ31566

bescheinigt, dass alle Grenzwerte eingehalten werden und dass das Wasser zum Trinken geeignet ist. Der Bericht liegt dem Anhang bei (Anlage 3).

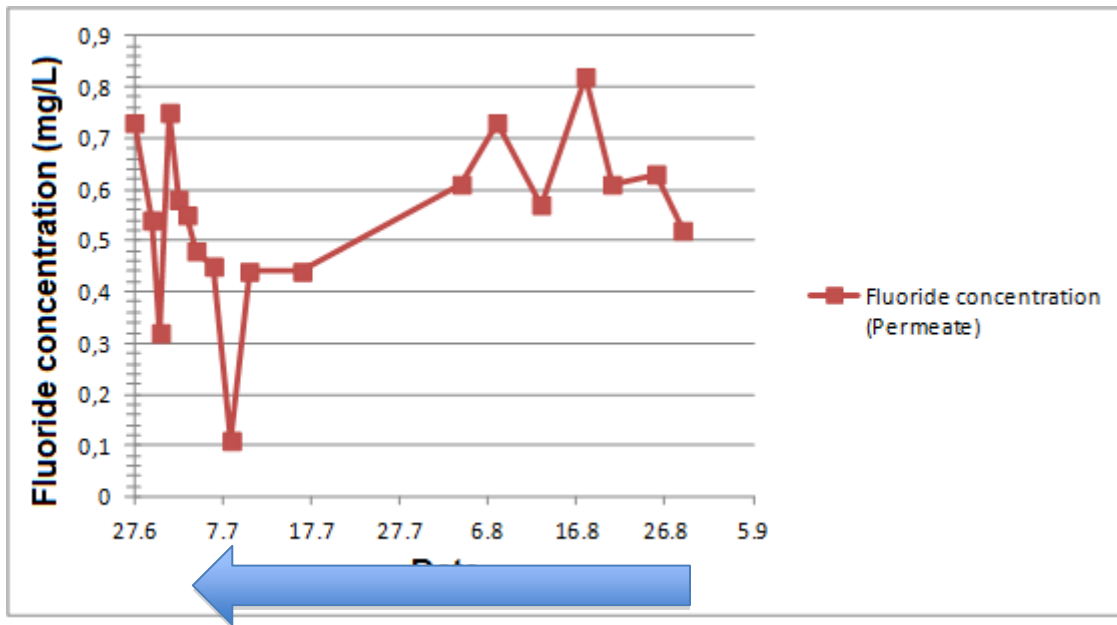


Abb. 3: Fluoridgehalt im Permeat



a)



b)

Abb.4 Ansicht der Pilotanlage a) mit PV Modulen, b) Nanofiltrationsanlage

Projektnummer: AZ31566

AP3: Betreuung und Ausbildung

Inhalt:

- Begleitung des Personals vor Ort
- Begleitende Analytik
- Messdatenauswertung
- Wissenstransfer zu lokalen Betreibern („Train the Trainer“)

Material und Methoden:

Durch Koordination des zuständigen Projektingenieurs Dr. Shamim Deowan (wissenschaftlicher Mitarbeiter der HSKA) wurden zwei Studenten der Hochschule Karlsruhe nach Tansania entsandt (Frau Pia Britsch, Herr Holger Kopp). Seit 2. Juli 2015 erfolgte eine Vor-Ort Schulung des lokalen Personals und Erstellung von Schulungsunterlagen zum eigenständigen Betrieb der Anlage und Durchführung der Analytik durch Schnelltests. Die Messdatenauswertung wurde im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeiten an der Hochschule Karlsruhe durchgeführt.

Neben den Vor-Ort Analysen mittels Schnelltest wurde auch zahlreiche Wasserproben im Labor der HSKA durchgeführt. Vor Einsatz der Vor-Ort Analytik wurden die eingesetzten Schnelltestverfahren an der HSKA validiert. Die Konzentration des Fluorids (Abb. 4) wurde bestimmt mittels Küvettentest 1.14598.0001 und 1.14598.0002 von Merck Millipore sowie dem Spektrometer Spectroquant® NOVA 60 von Merck KGaA.

Ergebnis:

Das Vor-Ort-Personal wurde erfolgreich in den Betrieb der Anlage integriert. Dadurch wurde ein eigenständiger Betrieb durch das lokale Personal seit August 2015 ermöglicht (siehe Abb.4). Die Schulungsunterlagen (Anlage 4) liegen lokal vor und eignen sich zu weiteren Ausbildungszwecken.



Abb.4 Mitarbeiter des Hai Instituts bei der Analyse von Wasserproben und Bedienung der Nanofiltrationsanlage

Projektnummer: AZ31566

Die Messdatenauswertung erfolgte im Rahmen der Masterarbeit von Holger Kopp an der Hochschule Karlsruhe („Concept for drinking-water treatment from fluoride contaminated ground and surface water using a nanofiltration plant for communities in Tanzania“, Juni 2016). Die Anlage lief über den gesamten Zeitraum stabil. Das Permeat hat stets alle relevanten Parameter für Trinkwasser erfüllt (Abb. 4), insbesondere liegt die Fluoridkonzentration unter deutlich unter dem von der WHO geforderten Grenzwert von 1,5 mg/l, trotzdem der Fluoridgehalt im Grundwasser mit 50-60 mg/l vergleichsweise hoch ist. Die Anlage wurde täglich im Durchschnitt für 2,5 Stunden betrieben und produziert im Durchschnitt etwa 232 l/h bei einer Ausbeute von durchschnittlich 12 %.

Eine Probe des *Permeat* wurde am 11.12.2015 vom Institut „Moshi Urban Water Supply And Sanitation Authority“ analysiert. Der Laborbericht über die Wasserqualität bescheinigt, dass alle Grenzwerte eingehalten werden und dass das Wasser zum Trinken geeignet ist. Der Bericht liegt dem Anhang bei (Anlage 5).

Eine Probe des *Konzentrates* wurde ebenfalls am 11.12.2015 vom Institut „Moshi Urban Water Supply And Sanitation Authority“ analysiert. Der Laborbericht über die Wasserqualität bescheinigt, dass alle Grenzwerte eingehalten werden, außer der Fluoridkonzentration. Diese überschreitet mit über 40 mg/L den WHO Standard und ist daher zum Trinken ungeeignet. Der Bericht liegt dem Anhang (Anlage 5) bei. Die Qualität des Grundwassers hat sich gemäß den Untersuchungen von Pia Britsch über die Jahreszeiten (Regen- Trockenzeit) nur geringfügig geändert (Pia Britsch: Installation and start-up of an autonomous pilot plant for drinking water treatment of fluoride-containing groundwater, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, August 2015).

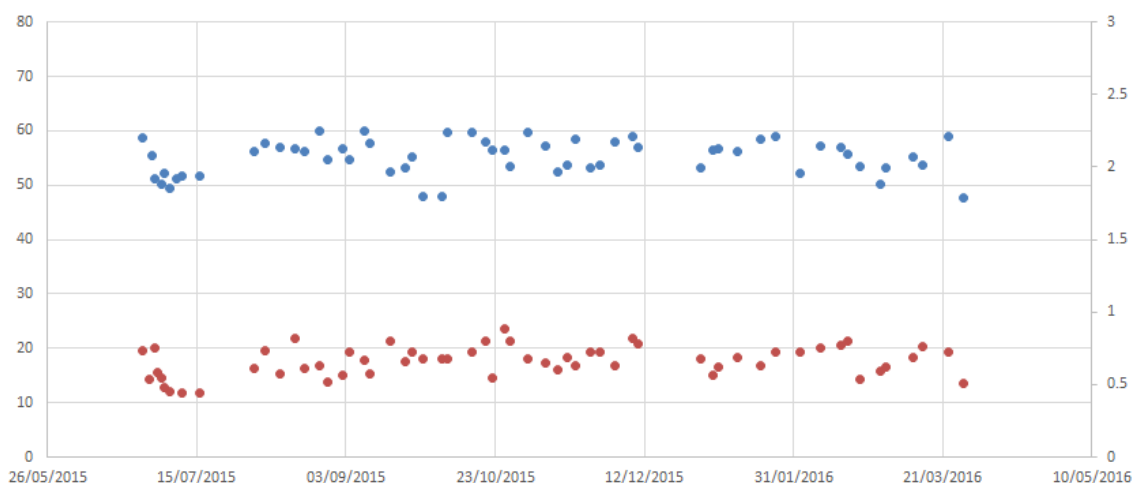


Abb. 5 (a): Fluoridgehalt in Permeat (rote Punkte, rechte Y-Achse) und Konzentrat (blaue Punkte, linke Y-Achse), bestimmt mittels Küvettentest 1.14598.0001 und 1.14598.0002 von Merck Millipore

Projektnummer: AZ31566

Der Flux war über den gesamten Zeitraum stabil. Die Membran wurde wöchentlich lediglich mit Permeat gespült. Eine chemische Reinigung der Membran war im gesamten Zeitraum nicht notwendig. Dies zeigt, dass kein signifikantes Scaling oder Fouling der Membran aufgetreten ist.

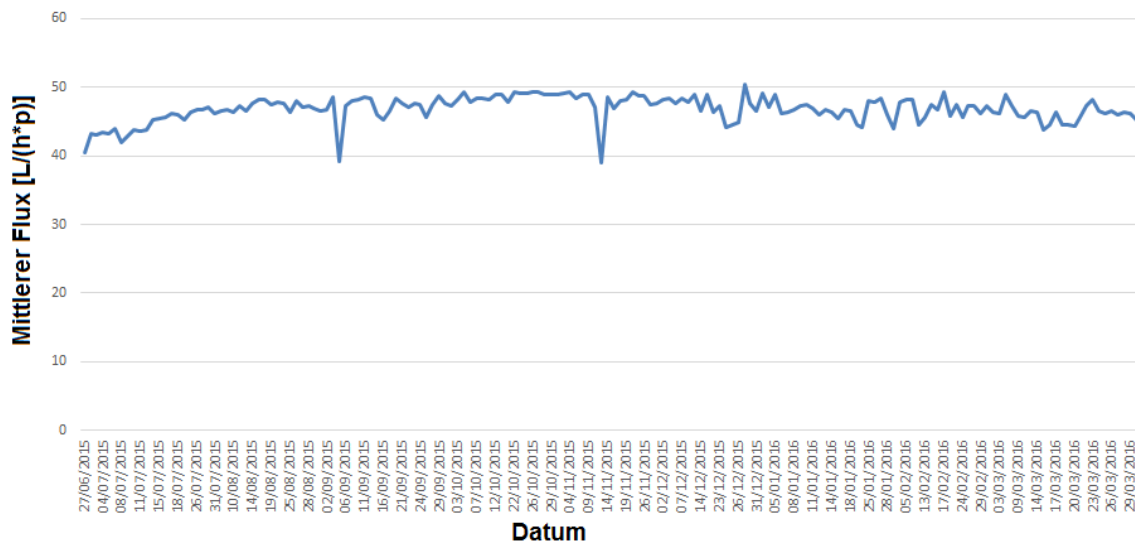


Abb. 4 (b): Mittlerer Flux [L/(h*m²)] über die gesamte Pilotierungsphase

Projektnummer: AZ31566

AP4: Betriebs- und Serviceanleitungen

Inhalt:

- Erstellung eines Trainingsmodules
- Erstellung eines Servicemodules

Material und Methoden:

Ein Service-Handbuch zur Durchführung des Anlagenservices und zur Anlagenfehlerbehebung wurde in Zusammenarbeit zwischen Fa. MFT und der Hochschule Karlsruhe erarbeitet. Des Weiteren wurde ein Trainingshandbuch erstellt.

Ergebnis:

Ein Trainingshandbuch (Anlage 4) und Systemhandbuch (Anlage 6) wurden erstellt und liegen der Anlage bei.

Projektnummer: AZ31566

AP5 Nachhaltige Nutzung des Konzentrats

Inhalt:

- Erstellung eines Nutzungskonzeptes für Waschw Zwecke und Bewässerung von Nutzpflanzen
- Datenanalyse der Nutzpflanzen
- Dokumentation der Ergebnisse

Material und Methoden:

Ein Nutzungskonzept wurde in Zusammenarbeit mit der lokalen Wassernutzergruppe erarbeitet sowie eine Bewertung der Eignung des Konzentrates zur Nutzpflanzenbewässerung durchgeführt.

Ergebnis:

Nutzungskonzept:

Studien in Tansania zeigen, dass der mittlere tägliche Pro-Kopf-Wasserbedarf für Trink- und Kochwasser bei 4 Liter liegt. Der Trink- und Kochwasseranteil am Gesamtwasserbedarf liegt zwischen 6,5 und 17,4 %.¹

Die Permeatausbeute (Trinkwasser) der NF Anlage konnte problemlos flexibel zwischen 6 % und 20 % eingestellt werden und entsprach der in der Studie ermittelten Relation aus Trink-/Kochwasser zum Gesamtwasserbedarf (Abb. 5 (a)).

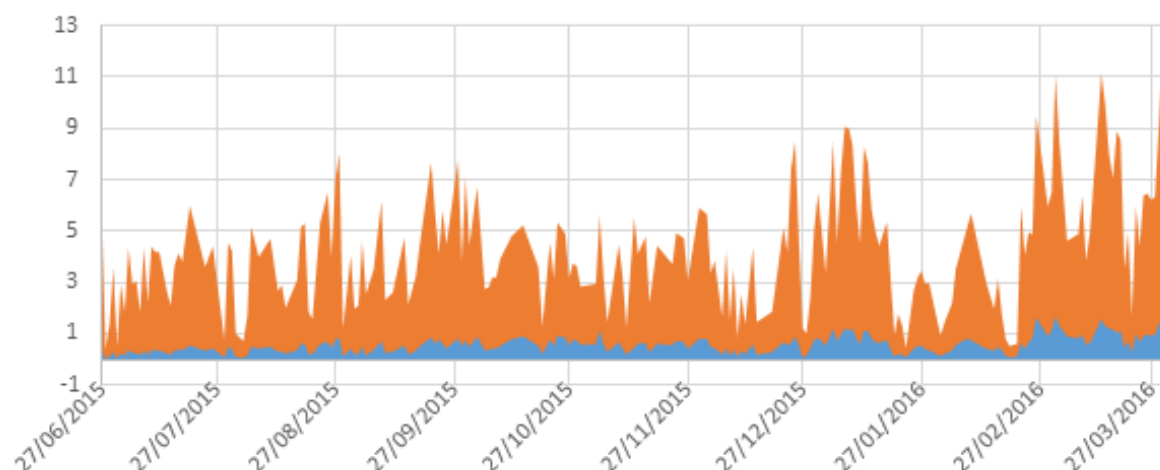


Abb. 5 (a): Produzierte Menge an Permeat (blaue Fläche) und Konzentrat (rote Fläche) in Kubikmeter pro Tag

¹ Thompson J., Porrás I. T., Tumwine J. K., Mujwahuzi M. R., Katui-Katura M., Johnstone N., Wood L., Drawers of Water II, 30 years of change in domestic water use & environmental health in East Africa, International Institute for Environment and Development (IIED), 2001.

Projektnummer: AZ31566

Das Permeat und das Konzentrat wurden getrennt voneinander aufbewahrt (Abb. 5 (b)). Ein Großteil des Konzentrates wurde zur Toilettenspülung sowie als Waschwasser verwendet und wurde über eine Sickergrube in den Erdboden zurückgeführt.

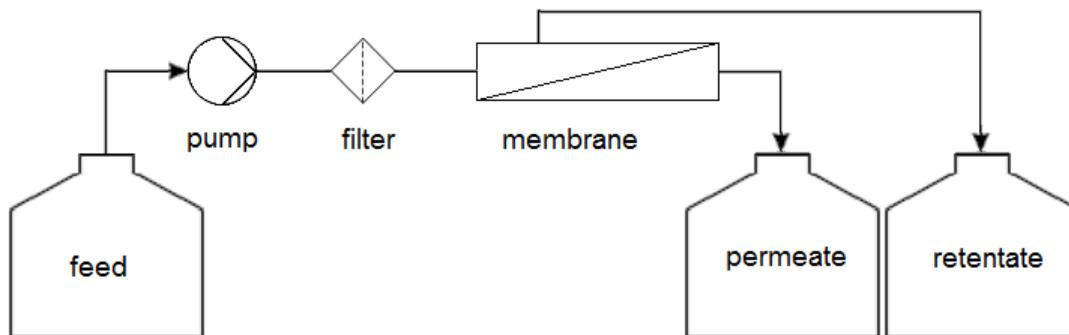


Abb. 5 (a): Konzept der Wasserversorgung aus Trink- und Nutzwasser

Nutzpflanzenbewässerung:

Fluorid kann über Luft, Nahrung und Wasser in den menschlichen Körper gelangen. Studien zeigen, dass die Hauptaufnahmequellen Trink- und Kochwasser sind. Die Aufnahme von Fluorid durch den Verzehr von Nutzpflanzen hat eine nachrangige Bedeutung (Abb. 6). Die Studie zeigt auch, dass die Aufnahme von Fluorid durch den Verzehr von Pflanzen vom Fluoridgehalt im Grundwasser unabhängig ist (Abb. 6).

Projektnummer: AZ31566

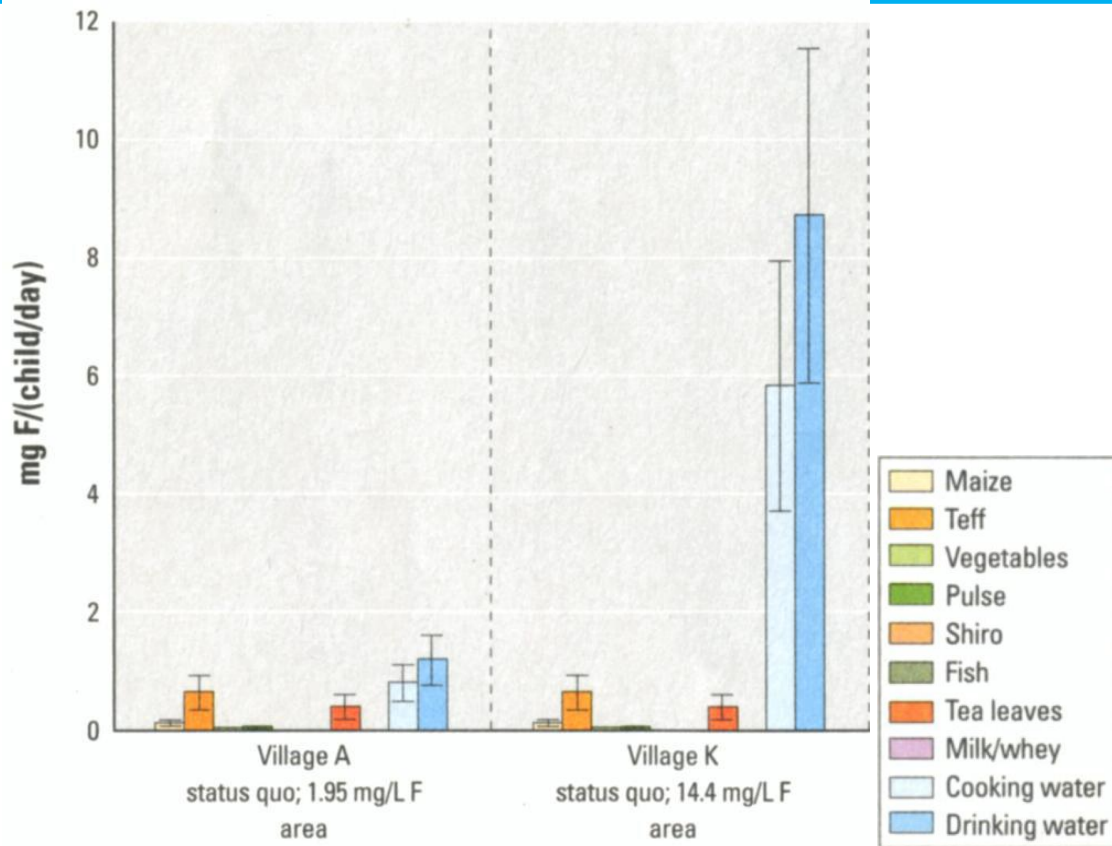


Abb. 6: Aufnahmequellen von Fluorid am Beispiel zweier Dörfer mit unterschiedlicher Fluoridbelastung im Grundwasser²

Eine eigene experimentelle Untersuchung der Fluoridaufnahme durch und deren Auswirkung auf Pflanzen war im Rahmen des Projektes nicht notwendig. Sowohl die die Fluoridaufnahme durch sowie die Auswirkung auf Pflanzen ist in veröffentlichten Studien ausführlich dokumentiert. Diese zeigen, dass Pflanzen Fluorid aus Bewässerungswasser speichern und dass Fluorid eine schädigende Wirkung auf Nutzpflanzen haben können. Die Untersuchungen zeigen daher ferner, dass auf die Bewässerung durch stark fluoridhaltigem Wasser verzichtet werden sollte.³

² Marian Kjellevoid Malde, Ruth Scheidegger, Kåre Julshamn and Hans-Peter Bader
Source: Environmental Health Perspectives, Vol. 119, No. 4 (APRIL 2011), pp. 579-584.

³ S. F. Yang And G. W. Miller, Biochemical Studies on the Effect of Fluoride on Higher Plants, Biochem. J., 88, 505, 1963.

Arnesen A.K.M., Department of Soil and Water Sciences, Agricultural University of Norway, N-1432 Aas, Norway, Availability of fluoride to plants grown in contaminated soils, Plant and Soil 191: 13–25, 1997.

Munna Singh, Krishan Kumar Verma, Influence of fluoride-contaminated irrigation water on physiological responses of poplar seedlings (populous deltoids L. clone-S7C15), Research report Fluoride 46(2)83–89, April-June 2013.

Projektnummer: AZ31566

AP6 Screening und Clustering

Inhalt:

- Primäre und Sekundäre Datenerfassung der Wasserqualitäten
- Bildung von Clustern verschiedener Wassertypen und deren Aufarbeitungsempfehlungen

Material und Methoden:

Eine primäre und sekundäre Datenerfassung der Wasserqualitäten vor Ort unter Zusammenarbeit mit lokalen Ministerien in der Region Arusha wurde durchgeführt.

Ergebnis:

Die Wasserproben in der Region Arusha zeigen, dass insbesondere Fluorid den Grenzwert der WHO überschreitet (Tabelle 1) und einer Behandlung bedarf. Eine Bildung von Clustern verschiedener Wassertypen ist hinsichtlich der Behandlung nicht notwendig.

Source	Depth (m)	No.	EC [µS / cm]	TDS [mg / L]	TH [mg / L]	F- [mg / L]	Ca [mg / L]	Mg [mg / L]	Cl [mg / L]	SO4 [mg / L]	NO3 [mg / L]	PO4 [mg / L]
Borehole	87	52	1052	556	114	3.3	69	11	78	75	3.1	0.1
Shalloww.	9	20	907	823	85	16.3	62	5	37	56	14.0	0.1
Spring		164	918	585	60	3.3	35	6	169	30	3.6	0.1
River		21	463	262	54	3.8	31	6	13	17	1.5	0.1
Dam		24	446	271	88	5.2	42	11	16	301	1.2	0.3
Lake		2	32478	16245	58	91.7	26	8	12	45	0.6	0.7
Tap ⁴		3	1344	672	46	4.4	41	1	33	29	6.9	0.1
All ARUSHA		286	1094	656	73	5.0	43	7	116	62	3.9	0.1
WHO Standard				1000	400	1.5	200	150	250	250	50.0	6.0

Tabelle 1: Wasserqualität der verschiedenen Wasserquellen in der Region Arusha⁵

⁴ Tap is not near explained if the tap water is groundwater or water from other water sources

⁵ Source Ngurdoto Defluoridation Research Station, Arusha, December, 2015.

Projektnummer: AZ31566

AP 7: Aufbau eines Servicepartners vor Ort

Inhalt:

- Identifizierung eines geeigneten Partners
- Einarbeitung in die Technologie und das Geschäftsmodell

Material und Methoden:

Alle Unterlagen wurden dem HAI Institute of Technology zur weiteren Verwendung und Entwicklung entsprechend AP3 & AP4 übergeben.

Ergebnis:

Der Servicepartner wurden ausgewählt und in Zusammenarbeit mit dem Servicepartner auf Sansibar und der Hochschule Karlsruhe trainiert.

Das HAI Institute of Technology hat die Anlage übernommen und wird die Betreuung und Überwachung sicher stellen.

Unter Leitung vom Ingenieurbüro Panil Shali werden weitere Schritte abgestimmt, um auch in Zukunft die Funktionalität zu gewährleisten.

Nutzungskonzept:

Durch die Verantwortlichen ist auch sicher gestellt, dass genug Rekursen erwirtschaftet werden um die Anlage nachhaltig zu betreiben.

Sowohl die Versorgung mit sicherem Trinkwasser für Schüler und Lehrkräfte im Institut als auch die Versorgung der umliegenden Häuser und Dörfer ist somit sicher gestellt.

Projektnummer: AZ31566

AP 8: Marktstudie und Business-Model

Inhalt:

- Erstellung einer Marktstudie für Tansania (Anlage 7)
- Erarbeitung eines nachhaltigen Business-Models für Social Entrepreneurs

Material und Methoden:

Grundlage für die Studien waren u.a. Befragungen und Statements von beteiligten Personen.

Anhand einer S.W.O.T und PEST Analyse wurden die Fakten gebündelt und beschrieben.

Ergebnis:

Erste Recherchen zur Marktanalyse haben in Moshi und Umgebung stattgefunden. Mit einzelnen Organisationen wurden bereits Potentiale für weiterführende Projekte ermittelt.

Im November 2015 gab es eine umfangreiche Reise von MWS Mitarbeiter Markus Drotleff, Student an der Nehemiah Gateway University, nach Moshi.

Ergebnis und Ausarbeitung wurde in Form einer Praxis-Semesterarbeit beschrieben. (Anlage 7)

AP 9: Sozio-ökonomische Analyse

Inhalt:

- Erfassung des Ist-Zustandes vor dem Projektstart
- Regelmäßige Datenerhebung
- Techno-ökonomische Analyse
- Bericht über Veränderungen und Kosten-Nutzen-Analyse

Material und Methoden:

In Zusammenarbeit mit einem unabhängigen Gutachter der Ardhi Universität in Dar Es Salaam wurde eine Impact Studie verfasst, um aktuelle Bedingungen und Auswirkungen des Projekts aufzunehmen. (Anlage 8)

Analyse anhand einer „Environmental & Social Impact“ zeigen die positiven und negativen Auswirkungen auf.

Ergebnis:

Die Studie von Herrn Nyamboge Chacha als unabhängiger Gutachter der Ardhi University stellt noch mal den ganzen Komplex der Pilotanlage dar.

Projektnummer: AZ31566

AP10: Verbreitung der Ergebnisse

Inhalt:

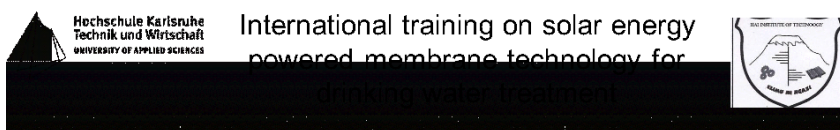
- Kick-off Veranstaltung an der Projektanlage
- Workshop mit allen relevanten Stakeholdern zum Thema Fluoridentfernung
- Projektbericht und Abschlussbericht
- Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journals durch die HsKA

Ergebnis:

Eine Kick-off Veranstaltung sowie eine Workshop „Solar energy powered membrane technology for drinking water treatment“ mit relevanten Stakeholdern wurde am 29. Juli 2015 durchgeführt (S.A. Deowan, J. Hoinkis); siehe auch Zwischenbericht vom September 2015.



Abb.7 Teilnehmer der Kick-off Veranstaltung und des Training Workshops am 29.7.2015



Certificate of Participation

This is to certify that

Ms./Mr.....
 participated in the membrane training workshop held at
 Hai Institute of Technology, Hai-Kilimanjaro, Tanzania
 on July 29, 2015

.....
 Eng. Peniel T. Shali
 Program co-ordinator

.....
 Prof. Dr. Jan Hoinkis
 Program chair

