

Umschlagdeckel

Bewilligungsempfänger:

Martin Systems AG
Werkringstraße 10
96515 Sonneberg

„Erprobung und Optimierung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Personengruppen in Notsitua- tionen ohne Fremdenergie (3. Phase) mit dem Ziel der Serienreife“

Abschlussbericht zum 31.01.2014

- gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) -
AZ 23860/04

Verfasser:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen, Dr.-Ing. W. Schier, Dipl.-Ing. J. Romaker,
Chr. Fortenbacher M.Sc., J.A. Ordonez M.Sc., Dipl.-Ing. M. Grigo

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

Martin Systems AG

31.01.2014

Umschlagdeckel Innenseite

Angabe der Bezugsmöglichkeit des Abschlussberichtes

Bewilligungsempfänger:

Martin Systems AG
Werkringstraße 10
96515 Sonneberg

**„Erprobung und Optimierung eines einfachen
Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser
aus Oberflächengewässern für kleine Personengruppen in Notsitua-
tionen ohne Fremdenergie (3. Phase) mit dem Ziel der Serienreife“**

Abschlussbericht zum 31.01.2014

- gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) -
AZ 23860/04

Verfasser:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen, Dr.-Ing. W. Schier, Dipl.-Ing. J. Romaker, Chr.
Fortenbacher M.Sc., J.A. Ordonez M.Sc., Dipl.-Ing. M. Grigo

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



AZ	23860/04	Referat	23	Fördersumme	261.786 €
-----------	-----------------	----------------	-----------	--------------------	------------------

Antragstitel **Erprobung und Optimierung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie (3. Phase) mit dem Ziel der Serienreife**

Stichworte Wasser, Filtration

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
18 Monate	11.08.2011	10.02.2013	1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger Martin Systems AG
Werkringstr. 10
96515 Sonneberg

Tel 03675-7335-31
Fax 03675-7335-15

Projektleitung

Mark Grigo

Bearbeiter

Kooperationspartner Universität Kassel
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Kurt-Wolters-Straße 3
34125 Kassel

Tel 0561/804-3642
Fax 0561/804-2795

Projektverantwortlicher

Prof. Franz-Bernd Frechen

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die bisher in der mobilen Notfallversorgung eingesetzten Trinkwasseraufbereitungsanlagen zeichnen sich meist durch einen hohen Technisierungsgrad aus, unterliegen Transportrestriktionen und erfordern einen hohen Personal-, Energie und Zusatzstoffbedarf. Im Vorgängerprojekt AZ 23860/02 war ein Prototyp eines leistungsfähigen, energieautarken, leicht transportierbaren und einfach zu bedienenden Membranfiltrationsgerätes entwickelt und in einer Kleinserie realisiert worden. Zielsetzung dieses Projektes ist es, den Entwicklungsschritt von der Kleinserie zur Serienreife zu vollziehen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Konstruktive Aspekte zu Gehäuseaufbau, Gehäusematerial, Gewicht, Transportvorrichtungen, Vorsieb, Entleerungsmöglichkeit, Membrandämmung, Membranschutz und die Untersuchung von Minimierungsmöglichkeiten einer möglichen Verkeimung der Reinwasserseite sind zu bearbeiten. Zu beachten sind Gehäusemodifikationen durch Werkzeugüberarbeitung und Veränderung der Einsatzgewichte, Überarbeitung der Vorsiebung, die Montage verschiedener Tragegurte und Optimierung der Aufhängung. Es erfolgt eine technologische Optimierung des Filtermoduls durch Modifikation der Zuschlagstoffe zur Stabilisierung der Membranplatten. Gegenstand der Untersuchungen sind weiterhin Verarbeitungstests mit neuen Membranmaterialien in verschiedenen Schichtdicken auf unterschiedlichen Membranstützgeweben zur Verbesserung der Standfestigkeit bei verbesserten Permeabilitäten, Erarbeitung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Prüfung. Es wird unter Beteiligung des Umweltbundesamtes (UBA) ein Langzeittestprogramm zur Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, des dauerhaften Rückhaltes von Bakterien und Viren, ein Testprogramm unterschiedlicher Betriebsweisen, (Teilfüllung/Vollfüllung, kontinuierlicher Betrieb, Betrieb nur tagsüber, Filtrationspausen), notwendiger Reinigungs- und Wartungsintervalle, der Prozessstabilität in Bezug auf Aspekte wie Rohwasserqualität, von extremen Witterungseinflüssen durchgeführt. Membran-Fouling und -Scaling, Lagerung, diskontinuierlicher Betrieb und längerer Nichtbetrieb, Trockenfallen der Membran und Fehlbetrieb sind ebenfalls im Focus. Feldtests unter realen Einsatzbedingungen an verschiedenen Standorten mit verschieden langer Einsatzdauer bei unterschiedlichen klimatischen, technischen, situativen, soziologischen und kulturellen Rahmenbedingungen werden unternommen. Untersuchungen hinsichtlich der stofflichen Leistungsfähigkeit (hygienische Parameter) der Anlage, der Weiterentwicklung der Piktogramme und Kurzanleitungen werden umgesetzt. Die Feldtests werden in Südamerika, Afrika und Südostasien durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die wesentlichen in diesem Projekt entwickelten und umgesetzten konstruktiven Verbesserungen betreffen das Gehäuse (Absenken des oberen Gehäuserandes) und die Anpassung der Dämmung auf die inneren Konturen des Gehäuses des Wasserrucksacks. Bezüglich des Membranmoduls wurde durch die Wahl eines neuen Kunststoffes für die Membranplatten die Ebenheit dieser Platten erhöht und durch Optimierung der Stützschilddicke die Verschweißbarkeit verbessert.

Die Langzeittests haben gezeigt, dass die Wasserrucksäcke über einen sehr langen Zeitraum störungsfrei betrieben werden können. Im Rahmen dieses Projektes lag der Untersuchungszeitraum für einen kontinuierlichen Betrieb bei 340 Tagen. Ein kontinuierlicher Betrieb (24h / 7d) wirkt sich positiv auf den bakteriellen Rückhalt aus und führte in nahezu allen Proben für E.coli und I.E. zu Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze. Für Viren wurde mit Trinkwasser eine durchschnittliche Reduktion um 4 Log₁₀-Stufen über eine lange Betriebszeit festgestellt (Untersuchungsteil des UBA). Ist ein kontinuierlicher Betrieb nicht möglich, so kann eine Spülung mit Permeat vor der Stillstandzeit über Nacht die Qualität des Permeats bei Wiederinbetriebnahme verbessern und einer eventuellen Verkeimung der Reinwasserseite entgegenwirken. Das als Konservierungsmittel für die Membran verwendete Glycerin hat einen großen Einfluss auf das Bakterienwachstum auf der Roh- und Reinwasserseite und muss vor Verwendung des Permeats als trinkbares Wasser ausgespült werden. Die Rohwasserqualität wurde in den Untersuchungen in einem weiten Spektrum (E.coli: bis zu 470.000 cfu/100 mL, I.E.: bis zu 3.200.000 cfu/100 mL) variiert, zeitweise wurde auch 5 % Abwasser zugegeben. E.coli konnten dabei nicht nachgewiesen werden, I.E. auf geringstem Niveau in zwei Proben. Gebrauchte Wasserrucksäcke, welche für einen längeren Zeitraum außer Betrieb genommen werden, sollten nach Möglichkeit chemisch gereinigt und mit sauberem Wasser gefüllt gelagert werden. Nicht mit Wasser befüllt gelagerte Wasserrucksäcke können austrocknen. Dieses Trockenfallen der Membranmodule macht die Wasserrucksäcke unbrauchbar. Die Wasserrucksäcke können unter bestimmten Randbedingungen (Fällung, Adsorption an Feststoffe) ebenfalls Schwermetalle und andere problematische Stoffe zurückhalten. Aufgrund der möglichen Aufkonzentrierung problematischer Inhaltsstoffe und nicht auszuschließender hoher Bakterienkonzentrationen im Retentat, sollte der Wasserrucksack regelmäßig entleert werden. Aus den Langzeittests ergaben sich ergänzende Betriebshinweise, die in die Kurzanleitung eingearbeitet wurden. Die vorhandenen Piktogramme blieben unverändert und wurden um die Darstellung der auf/zu-Stellung des Ablaufhahns ergänzt.

Die Feldtests in den Ländern Pakistan, Peru, Bénin, Myanmar, Kolumbien und Nepal zeigten nach zum Teil mehrjährigem Betrieb eine hohe mikrobiologische Leistungsfähigkeit und an einigen Standorten eine unerwartet hohe hydraulische Leistungsfähigkeit von täglichen Filtrationsmengen bis zu 5.000 L/d.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Um den Wasserrucksack PAUL gegenüber der Bevölkerung sowie humanitären Organisationen bzw. Organisationen zur Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz, Unternehmen und Regierungen vorzustellen, wurden verschiedene Marketingmaßnahmen durchgeführt. Dazu gehörten neben der Aufbereitung der Marketingmaterialien auch die Medienberichterstattung, wie bspw. das Verfassen von Informationsschreiben, Artikeln und Pressemitteilungen. Persönliche Gespräche sowie die Präsentation des Wasserrucksacks PAUL auf Messen, Ausstellungen und vergleichbaren Veranstaltungen sowie Radiointerviews und TV-Auftritte sorgten dabei für eine deutliche Zunahme des Bekanntheitsgrades.

Folgende Tätigkeiten wurden durchgeführt:

Messeauftritte:

IFAT ENTSORGA 2012 in München, Ideenpark 2012 in Essen, THW-Hausmesse 2012 in Hoya, WASSER BERLIN 2013, IFAT India in Mumbai 2013, AidEx 2013 in Brüssel.

Auftritte auf öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen:

Weltwassertag in Jena 2012, Umwelttag der Stadt Jena 2012, Engagementbörse der Stadt Jena 2012, Weltwassertag in Jena 2013, Lions-MDV in Kassel 2013, 1.Deutscher Entwicklungstag 2013 in Berlin.

Internetaktivitäten unter wordpress.com., betterplace.org., youtube.com., facebook

diverse TV-Auftritte: W wie WISSEN (ARD), Galileo (PRO7), Abgefahren-PAUL in Malta (ZDFneo), RTL-Spendenmarathon 2013.

diverse Präsentationen an Schulen sowie bei Service-Clubs (Rotary, Lions, Soroptimist).

Vorbereitung von Broschüren sowie Artikeln zur Veröffentlichung in Fachzeitschriften.

Kontaktaufnahme zu humanitären Organisationen in Mosambik, Österreich, Indien.

Erstellung einer Datenbank als Informationspool und Betreuung der Kontakte und Sponsoring.

Fazit

Insgesamt zeigen die Ergebnisse das sehr hohe Leistungspotenzial des Wasserrucksacks PAUL, um notleidenden Bevölkerungsgruppen im Katastrophenfall in der Zeit der Nachsorge nach Katastrophen, aber auch im dauerhaften Einsatz in dezentralen Regionen weltweit einen Zugang zu trinkbarem Wasser zu ermöglichen. Die Möglichkeit, dieses humanitäre Ziel unter Berücksichtigung umweltrelevanter Aspekte wie „kein Energieeinsatz“ und „keine zusätzliche Verwendung von Chemikalien“ zu erreichen, ist in hohem Maße innovativ. Bereits über 1.000 Geräte sind weltweit im Einsatz.

Vorwort

Der vorliegende Abschlussbericht zum DBU-Vorhaben

„Erprobung und Optimierung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie (3. Phase) mit dem Ziel der Serienreife“

wurde gemeinsam von der Fa. Martin Systems und dem Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft (FG SWW) der Universität Kassel erstellt.

Er gliedert sich in den Hauptteil sowie drei Anlagen, nämlich

- ➔ den Bericht über die Einsatzerfahrungen in Kolumbien,
- ➔ den Bericht des Umweltbundesamtes sowie
- ➔ den Bericht von Germanconect

zu diesem Projekt.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung.....	3
3	Konstruktive und technische Optimierung.....	5
3.1	Gehäuseaufbau	5
3.1.1	Vorbemerkungen und Übersicht	5
3.1.2	Veränderung der Einsatzgewichte	7
3.1.3	Gehäuseoberteil und Vorsieb	8
3.1.4	Transportvorrichtungen.....	11
3.1.5	Bodenablass bzw. Entleerungsmöglichkeit.....	14
3.2	Anbauten und Verbindungen	15
3.2.1	Innere Verbindung Kugelhahn und Membranmodul.....	15
3.2.2	Kugelhahn.....	16
3.2.3	Maßnahmen zur Erhöhung des filtrationswirksamen Wasserdrucks	17
3.2.4	Konstruktive Umsetzung von Einbauten zur Verhinderung einer möglichen Verkeimung der Reinwasserseite	18
3.3	Dämmung Membranmodul	20
3.4	Membranmodul.....	27
3.4.1	Membranwahl	27
3.4.2	Modifikation der Zuschlagstoffe zur Stabilisierung der Membranplatten	28
3.4.3	Variation von Membranstützgeweben zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften	35
3.4.4	Variation der Membranschichtdicke zur Verbesserung der Permeabilitäten	36
3.4.5	Konstruktive Umsetzung von Einbauten zur Verhinderung einer möglichen Verkeimung der Reinwasserseite	36
3.5	Erarbeitung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Prüfung	37
3.5.1	Modulherstellung.....	37
3.5.2	Zusammenbau des Wasserrucksacks	40
3.6	Fazit.....	41
4	Versuchsreihen der Kleinserie	42
4.1	Infrastruktur und Anlagenbetrieb	42
4.1.1	Aufbau Versuchsfeld.....	42
4.1.2	Betriebsweisen.....	44
4.1.3	Membranmodule	48
4.2	Methodik.....	49

4.2.1	Durchflussmessung	49
4.2.2	Mikrobiologie.....	49
4.3	Langzeittests Hydraulik und Mikrobiologie.....	51
4.3.1	Vorbemerkungen	51
4.3.2	Rohwasserqualität und Temperatur	52
4.3.3	Kontinuierlicher Betrieb 24 h / 7 d (Betriebsweise 1)	54
4.3.4	Betrieb tagsüber mit Filtrationspausen (Betriebsweise 2)	57
4.3.5	Betrieb tagsüber kontinuierlich, Spülung mit Permeat vor Stillstand über Nacht (Betriebsweise 3)	60
4.3.6	Betrieb tagsüber kontinuierlich (Betriebsweise 4)	62
4.3.7	Vergleich der Betriebsweisen	69
4.3.8	Bakterienrückhalt bei erhöhter Rohwasserbelastung.....	76
4.4	Erhöhung des Transmembrandrucks	77
4.5	Alternativ untersuchte Membran.....	79
4.6	Lagerung und längerer Nichtbetrieb	80
4.6.1	Vorbemerkungen	80
4.6.2	Lagerung Membranmodule.....	81
4.6.3	Lagerung Wasserrucksack	83
4.6.4	Trockenfallen	85
4.6.5	Extreme Witterungseinflüsse	87
4.7	Reinigung und Wartung.....	89
4.8	Verkeimung der Reinwasserseite	93
4.8.1	Inbetriebnahme.....	93
4.8.2	Mechanische Schäden.....	96
4.8.3	Bakterienwachstum bzw. Deckschichtbildung innerhalb des Membranmoduls oder der Armaturen	97
4.8.4	Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Beseitigung einer Verkeimung der Reinwasserseite	101
4.8.4.1	Inbetriebnahme	101
4.8.4.2	Chlorung	101
4.8.4.3	Silbergewebe	102
4.9	Rückhalt problematischer Inhaltsstoffe; feedseitige Aufkonzentrierung von Inhaltsstoffen und Entsorgung des Retentats	104
4.10	Fazit.....	106
4.10.1	Hydraulik Langzeit	106
4.10.2	Mikrobiologie Langzeit	108
4.10.3	Verkeimung der Reinwasserseite	108
4.10.4	Alternativ untersuchte Membran	109
4.10.5	Schwankungen in der Rohwasserbelastung	109
4.10.6	Lagerung.....	109

4.10.7	Reinigung.....	110
4.10.8	Rückhalt problematischer Inhaltsstoffe/Aufkonzentrierung/Entsorgung	110
5	Feldtests unter realen Einsatzbedingungen.....	112
5.1	Übersicht	112
5.1.1	Vorgeschichte zum Wasserrucksack-Einsatz und zur Entwicklung der Gehäuseformen.....	112
5.1.2	Ziele	115
5.1.3	Länder.....	116
5.1.4	Umfang der Untersuchungen.....	116
5.1.5	Feldlabor	117
5.2	Peru.....	118
5.2.1	Situation im Untersuchungsgebiet	118
5.2.2	Erläuterungen zu den Einsatzorten der Wasserrucksäcke	119
5.2.3	Messergebnisse.....	123
5.2.4	Bewertung der Messergebnisse.....	127
5.3	Bénin	129
5.3.1	Situation im Untersuchungsgebiet	129
5.3.2	Erläuterungen zu den Einsatzorten der Wasserrucksäcke	130
5.3.3	Messergebnisse.....	134
5.3.4	Bewertung der Messergebnisse.....	137
5.4	Pakistan.....	141
5.4.1	Situation im Untersuchungsgebiet	141
5.4.2	Erläuterungen zu den Einsatzorten der Wasserrucksäcke	144
5.4.2.1	Übersicht.....	144
5.4.2.2	Ort 1 – Schule in Tarnab (Nord)	145
5.4.2.3	Ort 2 – Schule in Tarnab (Süd)	146
5.4.2.4	Ort 3 – Privatanwesen.....	147
5.4.2.5	Ort 4 – Sanger.....	147
5.4.2.6	Ort 5 – Tarlandi	149
5.4.2.7	Ort 6 – Azizabad	151
5.4.3	Messergebnisse.....	151
5.4.4	Bewertung der Messergebnisse.....	154
5.5	Myanmar.....	156
5.5.1	Situation im Untersuchungsgebiet	156
5.5.2	Erläuterungen zum Einsatz, Messergebnis.....	157
5.5.3	Bewertung des Messergebnisses	161
5.6	Nepal.....	161
5.6.1	Örtliche Situation.....	161

5.6.2	Erläuterungen zum Einsatz, Messergebnisse	163
5.7	Kolumbien.....	164
6	Zusammenfassende Gegenüberstellung der Ergebnisse der Vor-Ort-Messungen und der Versuche in Kassel	165
6.1	Rohwasserqualität und hydraulische Leistungsfähigkeit	165
6.2	Hygienische Parameter	168
7	Weiterentwicklung Anleitungen.....	169
7.1	Piktogramme	169
7.2	Kurzanleitung.....	171
8	Abschließende Risikoabschätzung und Bedarfsanalyse	177
9	Fazit.....	178
9.1	Ergebnisse des Projekts	178
9.2	Zukünftig notwendige Arbeiten	179
10	Literatur	181

Verzeichnis der Anlagen

- ➔ Bericht über den Praxiseinsatz in Kolumbien
- ➔ Abschlussbericht des Umweltbundesamtes
- ➔ Abschlussbericht von Germanconnect

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Im Vorgängerprojekt AZ23860_02 entwickeltes Muster (Variante 1) des Wasserrucksackgehäuses (rechts), Entwurf des Gehäuses (Variante 2) für die Kleinserie (links) mit zusätzlich integriertem Bodenablass	6
Abbildung 2:	Bodenablass an der Unterseite des Gehäuses der Kleinserie	6
Abbildung 3:	Beulung des Gehäuses mit Wasserfüllung	8
Abbildung 4:	Oberteil mit Lochbohrungen als Vorsieb der Kleinserie (links), Oberteil mit integriertem Langlochsieb der in diesem Projekt bereits umgesetzten Version 1.0 (rechts).....	8
Abbildung 5:	Befüllung des Wasserrucksacks durch das integrierte Langlochsieb.....	9
Abbildung 6:	Anpassung des Gehäuseoberteils in der finalen Version 2.0 im Vergleich zur Ausführung der Version 1.0.....	10
Abbildung 7:	Geändertes Werkzeug (Gehäuseoberteil) mit abgesenktem Rand (links)	10
Abbildung 8:	Transport des Wasserrucksacks mit Hilfe der an den Seiten des Wasserrucksacks integrierten Griffschalen	11
Abbildung 9:	Einfaches Gurtsystem aus PES-Gurtband (rechts), gepolstertes Gurtsystem für weitere Strecken (links)	12
Abbildung 10:	Gehäusewerkzeug mit zusätzlicher Quersicke	12
Abbildung 11:	Geplante zusätzliche Quersicke (rot markiert, zur Verschiebung der oberen Gurtaufhängung in Richtung Deckel für die finale Version 2.0.....	13
Abbildung 12:	Dreidimensionale Gehäuseansichten.....	13
Abbildung 13:	Bodenablass an der Unterseite des Gehäuses.....	14
Abbildung 14:	Seitenablass zur einfacheren Entleerung des Wasserrucksacks.....	14
Abbildung 15:	Anschlusset mit steifem Trinkwasserschlauch aus dem Vorgängerprojekt (links), aktuelles Anschlusset mit flexiblem Silikonschlauch (rechts)	15
Abbildung 16:	Kugelhahn aus Vorgängerprojekt (links), aktueller Kugelhahn mit verändertem Griff und veränderter Schaltstellung (rechts).....	16
Abbildung 17:	Neu entwickelter Kugelhahn mit vier Schrauben (links), Kugelhahn aus dem Vorgängerprojekt mit drei Schrauben (rechts).....	16
Abbildung 18:	Durchfluss Trinkwasserschlauch 13 mm (links), Durchfluss Trinkwasserschlauch 10 mm (rechts).....	17
Abbildung 19:	Anlagenerweiterung um eine längere Permeatsaugleitung; Höhenunterschied zwischen Kugelhahn und Ende Ablaufschlauch ca. 130 cm	18

Abbildung 20:	Im Vorgängerprojekt entwickelte und umgesetzte Membrandämmung	20
Abbildung 21:	Dämmung parallel zur Vorder- und Hinterseite des Moduls, Version 1	21
Abbildung 22:	Obere Dämmung zur Verhinderung einer Bewegung des Moduls nach oben, Version 1	21
Abbildung 23:	Eingebautes Membranmodul mit gekürzter oberer Dämmung (links), eingebaute PE-Platte zur Absicherung der Dämmung gegen ein Verrutschen nach oben, Version 2	22
Abbildung 24:	PE-Platte zur Abstützung nach oben, Version 2	22
Abbildung 25:	Schadenbilder nach einem Sturz aus 2 m Höhe auf die Kopfseite des Wasserrucksacks, Version 2	23
Abbildung 26:	Prototyp der neuen Dämmung (Version 3) inkl. Änderungen (rot markiert) zur besseren Anpassung an das Gehäuse des Wasserrucksacks	24
Abbildung 27:	Falltest mit der Dämmung Version 3, Fall aus ca. 2 m auf die Kopfseite, Untergrund Beton	25
Abbildung 28:	Schadensfall nach Falltest aus Abbildung 27 (Version 3)	25
Abbildung 29:	Zeichnung der in diesem Projekt entwickelten Dämmung für den Wasserrucksack, Endversion	26
Abbildung 30:	3D-Abbildung (links) und Foto (rechts) der Endversion des Wasserrucksack inklusive Dämmung	27
Abbildung 31:	MicroPES® 1FM (0,04 µm) Membran von Membrana	28
Abbildung 32:	Schweißversuch Mischung PP Gf 20 / Tecnoprene	30
Abbildung 33:	Schweißversuch PP Gf 20	30
Abbildung 34:	Schweißversuch Preprop	31
Abbildung 35:	Schweißversuch Tecnoprene	31
Abbildung 36:	Ebenheit der Platten aus PP TV 20 (links), Ebenheit der Platten aus PP GF 20	32
Abbildung 37:	Quadratische Gittergeometrie der Filterplatte	33
Abbildung 38:	Fließverlauf des Kunststoffes	33
Abbildung 39:	Unvollständig gefüllte Platte im Spritzgusswerkzeug	34
Abbildung 40:	Vierfachanguss der Filterplatte	34
Abbildung 41:	Stanzvorrichtung zur Abtrennung des Angusses	35
Abbildung 42:	Ungleichmäßige Schweißkante (links), Fehlstelle Schweißkannte (rechts)	36
Abbildung 43:	Schweißkontur	36
Abbildung 44:	Stoffbahn aus Silber, die zwischen Membran und Membranplatte eingearbeitet ist	37

Abbildung 45:	Plattenprüfgerät	39
Abbildung 46:	Blockschweißwerkzeug.....	39
Abbildung 47:	Modulprüfung.....	40
Abbildung 48:	Schema der Versuchsanlage zur Durchführung der Langzeittests ..	43
Abbildung 49:	Ansicht der Versuchsanlage zur Durchführung des Testprogramms in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Wasserbau und Umwelttechnik der Universität Kassel.....	44
Abbildung 50:	Für Betriebsweise 1 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands (repräsentativer Auszug)	45
Abbildung 51:	Für Betriebsweise 2 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands (repräsentativer Auszug)	46
Abbildung 52:	Für Betriebsweise 3 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands(repräsentativer Auszug)	47
Abbildung 53:	Für Betriebsweise 4 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands(repräsentativer Auszug)	48
Abbildung 54:	Schwankungen der Temperatur und der Trübung des Rohwassers	53
Abbildung 55:	Betriebsweise 1: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P 1.1, P 1.2.....	54
Abbildung 56:	Flux und Temperatur in Tagesmittelwerten über den gesamten Betriebszeitraum des Wasserrucksacks P 1.1 in Betriebsweise 1 ...	56
Abbildung 57:	Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 1, Wasserrucksack P 1.1	56
Abbildung 58:	Betriebsweise 2: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P 2.1, P 2.2.....	58
Abbildung 59:	Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 2, Wasserrucksack P 2.1	59
Abbildung 60:	Ges.Col.-Belastung 0 Minuten und 10 Minuten nach der Stillstandzeit.....	60
Abbildung 61:	Betriebsweise 3: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P 3.1, P 3.2.....	61
Abbildung 62:	Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 3, Wasserrucksack P 3.1	62
Abbildung 63:	Betriebsweise 4: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P4.1 und P 4.2.....	63
Abbildung 64:	Flux und Temperatur in Tagesmittelwerten über den gesamten Betriebszeitraum des Wasserrucksack P 4.2 in Betriebsweise 4.....	64
Abbildung 65:	Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 4, P 4.1.....	65
Abbildung 66:	E.coli-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Wiederinbetriebnahme in Betriebsphase 4	67

Abbildung 67:	I.E.-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Wiederinbetriebnahme in Betriebsphase 4	67
Abbildung 68:	Ges.Col.-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Wiederinbetriebnahme in Betriebsphase 4	68
Abbildung 69:	Tagesmittelwerte Flux der verschiedenen Betriebsweisen; die zwei pro Betriebsweise verwendeten Wasserrucksäcke wurden gemittelt	69
Abbildung 70:	Vergleich von Filtrationsdauer und kumuliertem Wasservolumen der unterschiedlichen Betriebsphasen als Tagesmittelwerte	70
Abbildung 71:	Flux (Tagesmittelwerte) bezogen auf das kumulierte Wasservolumen	71
Abbildung 72:	Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 1	74
Abbildung 73:	Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 2	74
Abbildung 74:	Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 3	75
Abbildung 75:	Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 4	75
Abbildung 76:	Gegenüberstellung des Ablaufverhaltens zweier Trinkwasserschläuche mit Innendurchmessern von 10 mm und 13 mm.	78
Abbildung 77:	Einfluss einer längeren Permeatsaugleitung zur Erhöhung des Transmembrandrucks (TMD) auf den Durchfluss (dargestellt als Mittelwerte beider untersuchten Wasserrucksäcke, 10 min Mittelwerte)	79
Abbildung 78:	Vergleich einer Nadir- und einer Membrana-Membran in Bezug auf Flux und kumuliertes gefiltertes Wasservolumen	80
Abbildung 79:	Flux (Tagesmittelwerte) eines neuen und trocken gelagerten Moduls sowie eines gebrauchten und nach Chlorung nass gelagerten Moduls	82
Abbildung 80:	Fluxvergleich (Tagesmittelwerte) bei unterschiedlicher Lagerungs- und Betriebshistorie	83
Abbildung 81:	E.coli-LRV für unterschiedlich gelagerte Membranmodule	84
Abbildung 82:	I.E.-LRV für unterschiedlich gelagerte Membranmodule	85
Abbildung 83:	Flux (Tagesmittelwerte) eines zwischenzeitlich eingefrorenen Wasserrucksacks	88
Abbildung 84:	LRV der eingefrorenen und danach aufgetauten Membran	89
Abbildung 85:	Auswaschung des Glycerins (dargestellt als TOC) aus zwei Wasserrucksäcken (V 001 und V 002)	94
Abbildung 86:	Membran mit deutlich sichtbarem Schnitt	97
Abbildung 87:	Permeate der Wasserrucksäcke mit Schnitt (links), ohne Dichtring (mittig), klares Permeat (rechts)	97
Abbildung 88:	Ablagerungen im Ablaufschlauch (10 mm)	98

Abbildung 89:	Innenseite des Winkelstücks zur Verbindung von Schlauch und Modul	99
Abbildung 90:	Innenseite des Silikonschlauches zur Verbindung von Kugelhahn und Membranmodul	100
Abbildung 91:	Bakterienreduktion mit (1,2) und ohne (3,4,5) Primärchlorung wenige Minuten bzw. Stunden nach der ersten Inbetriebnahme....	102
Abbildung 92:	Bakterienreduktion einer Membran mit Silberfäden	103
Abbildung 93:	Vergleich eines Standardmoduls mit einem Modul, in welches ein Silbergewebe zwischen Membran und Membranplatte eingearbeitet ist.....	104
Abbildung 94:	Überschwemmungsgebiete in Pakistan August 2010	112
Abbildung 95:	Verschiedenen Bauformen des Wasserrucksacks, Erläuterungen siehe Text	114
Abbildung 96:	Feldlabor für mikrobiologische und weitere Analysen	117
Abbildung 97:	Bergdorf Cusibamba - Kinderheim	120
Abbildung 98:	Bergdorf Punacancha – kirchliche Mission	121
Abbildung 99:	Bergdorf Quiquijana – Gewächshausplantage Chacra	122
Abbildung 100:	Bergdorf Quiquijana - Kinderheim	123
Abbildung 101:	Standorte der Wasserrucksäcke in der Bergregion Cusco/Peru	123
Abbildung 102:	Ergebnisse der Trübungsmessungen – Peru.....	125
Abbildung 103:	Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen - Peru.....	126
Abbildung 104:	mikrobiologische Analysen in Peru: Bakterienrückhalt (LRV)	126
Abbildung 105:	Bewohner der Kinderheime in Cusibamba und Quiquijana.....	129
Abbildung 106:	Einsatzgebiet in der Region Lokossa im Südwesten Bénins.....	130
Abbildung 107:	Awacou - links: unbenutzter Tiefbrunnen mit Handpumpe, mitte/rechts: offener Schachtbrunnen	131
Abbildung 108:	Awacou – Inbetriebnahme	131
Abbildung 109:	Djonougoui – Vorführung und Installation	132
Abbildung 110:	Akplenou - links: offener Schachtbrunnen, rechts: installierte Wasserrucksäcke.....	132
Abbildung 111:	Kladjémé – oben: offener Schachtbrunnen, unten: Installation und Vorführung des Wasserrucksacks.....	133
Abbildung 112:	Standorte der Wasserrucksäcke in der Region Lokossa/Bénin	134
Abbildung 113:	Ergebnisse der Trübungsmessungen – Bénin	136
Abbildung 114:	Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen - Bénin	136
Abbildung 115:	Mikrobiologische Analysen in Bénin: Bakterienrückhalt (LRV).....	137

Abbildung 116: Bewohner der Dörfer Akplenou und Kladjémé (und FG SWW – Delegation).....	140
Abbildung 117: Kontrollpunkt in Islamabad.....	141
Abbildung 118: Übersicht über die Lage des Untersuchungsgebietes in Pakistan (rot gestrichelt umrandet).....	142
Abbildung 119: Übersicht über die Provinz Khyber Pakhtunkhwa und die Federally Administered Tribal Areas (FATA).....	143
Abbildung 120: Ortslage der untersuchten Wasserrucksäcke in Pakistan.....	144
Abbildung 121: Wasserrucksack Nr. 319 in der Schule in Tarnab (Nord).....	145
Abbildung 122: Verhältnisse in der Schule in Tamab (Süd) – oben :Toilettenhaus mit Wasser-Hochbehälter (links); Wasserkühler (rechts) – unten: Schulkinder am Wasserrucksack Nr. 356 (links); Toilette (rechts) .	146
Abbildung 123: Nr. 88 (links) und Nr. 177 (rechts) in Dildar Ghari	147
Abbildung 124: Wasserrucksack in Sanger – oben: Ansichten; – unten: Brunnenhaus mit geöffnetem Brunnen (links); Blick in den (am Besuchstag nicht in Betrieb befindlichen) Brunnen (rechts).....	148
Abbildung 125: Tarlandi – oben: Celler Dike. Im linken Bild recht vorne der Dorfälteste von Tarlandi – unten: Blick auf das Swat-Vorland mit Feldern; im Hintergrund fließt der Swat.....	149
Abbildung 126: Tarlandi – oben: Wasserrucksack Nr. 83 mit Handpumpe (links); Probenahme und Feldmessung (rechts) – unten: dörfliches Anwesen (links); Zaungäste bei der Vor-Ort-Messung (rechts)	150
Abbildung 127: Azizabad – Wasserrucksäcke 453 (hinten) und 320 (vorne).....	151
Abbildung 128: Analytik im Hotelzimmer.....	151
Abbildung 129: Ergebnisse der Trübungsmessungen – Pakistan.....	153
Abbildung 130: Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen – Pakistan	153
Abbildung 131: Myanmar – Wassertümpel zur Versorgung der Bevölkerung.....	157
Abbildung 132: Myanmar – Abgabestelle für mit Pumpen geförderten Flusswasser	158
Abbildung 133: Myanmar – Wassertransport.....	158
Abbildung 134: Myanmar – Wasserbecken zur Trinkwasserversorgung, leer	159
Abbildung 135: Myanmar – Wasserbecken zur Trinkwasserversorgung, teilgefüllt; im Hintergrund das Zulaufbauwerk	159
Abbildung 136: Myanmar – Vorführung des Wasserrucksacks.....	160
Abbildung 137: Kathmandu – Versiegte Wasserquelle (links), Wasserquelle mit geringer Schüttung (rechts).....	161
Abbildung 138: Kathmandu – Wassertransport	162
Abbildung 139: Kathmandu – „Achtung – der Nachbar bohrt einen Brunnen“ (links), Brunnen mit Pumpe (rechts).....	162

Abbildung 140: Kathmandu – Analysenergebnisse	163
Abbildung 141: Kathmandu – Vorführung des Wasserrucksacks	164
Abbildung 142: Entwicklung des Flux (temperaturkompensiert 20 °C) für alle Versuche (Exler, Frechen, Telgmann 2013)	165
Abbildung 143: Hydraulische Leistungsfähigkeit – Gegenüberstellung der Werte aus der Versuchsanlage in Kassel, betrieben mit Ahna-Wasser, und der Werte der Feldtests.....	167
Abbildung 144: Hygieneparameter – Gegenüberstellung der Werte aus der Versuchsanlage in Kassel, betrieben mit Ahna-Wasser, und der Werte der Feldtests.....	168
Abbildung 145: Erste Version der Piktogramme	169
Abbildung 146: Zweite Version der Piktogramme	169
Abbildung 147: Finale Version der Piktogramme inkl. flachem Deckel	170
Abbildung 148: Neu entwickeltes Piktogramm zur Bedienung des Kugelhahns	170
Abbildung 149: Entwurf für ein zusätzliches Piktogramm zur Entleerung über den Bodenablass bei Nichtbetrieb über Nacht	171
Abbildung 150: Kurzanleitung, Stand 10.11.2010.....	172
Abbildung 151: Kurzanleitung, Stand 21.01.2013.....	173
Abbildung 152: Kurzanleitung, Stand 31.01.2014.....	176

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Übersicht der Gehäuseversionen aus dem aktuellen und dem vorherigen Projekt.....	7
Tabelle 2:	Übersicht der Betriebsweisen in den Langzeittests.....	44
Tabelle 3:	Kenndaten der verwendeten Membranmaterialien	49
Tabelle 4:	Schwankungsbereich der bakteriellen Rohwasserbelastung	53
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Betriebsweisem (BW).....	72
Tabelle 6:	Vergleich der unterschiedlichen Betriebsphasen; Mittelwerte und Mediane aller durchgeführten Bakterienuntersuchungen.....	73
Tabelle 7:	Vergleich der Ergebnisse der 4 Betriebsweisen mit den Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie (2006)	76
Tabelle 8:	Ergebnisse der Versuche mit 5 % Abwasserzugabe (Probe zwei Minuten nach der Zugabe)	77
Tabelle 9:	<i>Filtrationsqualität eines im Trockenschrank getrockneten, fabrikneuen Membranmoduls.....</i>	86
Tabelle 10:	Durchgeführte Reinigungsarten (die Reinigungen 4 und 5 wurden vom UBA durchgeführt).....	90
Tabelle 11:	Ergebnisse der durchgeführten Reinigungen bezogen auf den Durchfluss (Mittelwert aus 20 Tagen) und die GKZ	91
Tabelle 12:	Versuchsergebnisse zur Wirkung des Glycerins auf die Bakterienreduktion; die Membranen V 001 und V 002 sind glycerinfrei; die Membranen V 003 und V 004 sind mit Glycerin beschichtet.....	95
Tabelle 13:	Ergebnisse der bakteriellen Untersuchung einer beschädigten und intakten Membran	96
Tabelle 14:	Bakterielle Verkeimung der Schläuche bezogen auf 1 cm ² Schlauchfläche und 10 mL „kontaminiertes Wasser“	98
Tabelle 15:	Bakterielle Verkeimung im Kugelhahn und in den Winkelstücken....	99
Tabelle 16:	Bakterielle Verkeimung des Ablaufschlauches (Gewebeschlauch, neuer TW-Schlauch) und des innenliegenden Silikonschlauches..	100
Tabelle 17:	Ergebnisse zum Schwermetallrückhalt von zwei Wasserrucksäcken.....	105
Tabelle 18:	Vergleich der Eisen- und Arsenkonzentration im Rohwasser und den Retentaten der verschiedenen Betriebsweisen	106
Tabelle 19:	Bakterielle Belastung Retentatproben aus verschiedenen Betriebsweisen, Mittelwerte	106
Tabelle 20:	Messausstattung des Feldlabors	118
Tabelle 21:	Ergebnisprotokoll der Beprobungen in Peru	124

Tabelle 22:	Hydraulische Ergebnisse - Peru.....	127
Tabelle 23:	Ergebnisprotokoll der Beprobungen in Bénin.....	135
Tabelle 24:	Hydraulische Ergebnisse - Bénin	137
Tabelle 25:	Ergebnisse der Beprobungen in Pakistan	152
Tabelle 26:	Hydraulische Ergebnisse – Pakistan.....	154

Abkürzungsverzeichnis

ATP	Adenosintriphosphat
cfu	Colony Forming Unit
DNS	Desoxyribonukleinsäure
E.coli	Escherichia coli
I.E.	Intestinale Enterokokken
FNU	Formazine Nephelometric Units
Ges.Col.	Gesamtcoliforme Bakterien
GKZ	Gesamtkeimzahl
LRV	logarithmic reduction value
ROS	reactive oxygen species
TMD	Transmembrandruck
UV	Ultraviolett

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Erprobung und Optimierung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie (3. Phase) mit dem Ziel der Serienreife“ wurde der Wasserrucksack PAUL technisch und konstruktiv ausgehend von dem Stadium der Kleinserie zur Serienreife entwickelt. Der Abschlussbericht wird hiermit vorgelegt. Gefördert wurde dieses Projekt von der Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück unter dem Aktenzeichen AZ 23860/04.

Kernelemente dieses Projektes bzw. dieses Entwicklungsschrittes waren

- ➔ detaillierte technische und konstruktive Untersuchungen zur Optimierung der einzelnen Bauelemente des Wasserrucksacks. Als wichtigste Aspekte sind dabei zu nennen: Gehäuseaufbau und Gehäusemodifikationen durch Werkzeugüberarbeitung, Gehäusematerial, Gewicht, Transportvorrichtungen, Vorsieb, Entleerungsmöglichkeit, Membrandämmung, Membranschutz.
- ➔ sowie ein umfassender Versuchsbetrieb, in welchem die mikrobiologische und die hydraulische Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks unter unterschiedlichsten Betriebsweisen im Langzeitbetrieb untersucht wurden. Diese Untersuchungen wurden an einem Versuchstand in den Räumlichkeiten der Universität Kassel durchgeführt. Hierbei sind als wichtigste Untersuchungsaspekte zu nennen: dauerhafter Rückhalt von Bakterien und Viren, Testprogramm unterschiedlicher Betriebsweisen, Teilfüllung/Vollfüllung, kontinuierlicher Betrieb, Betrieb nur tagsüber, Filtrationspausen, notwendige Reinigungs- und Wartungsintervalle, Prozessstabilität versus Rohwasserqualität, Lagerung, diskontinuierlicher Betrieb und längerer Nichtbetrieb, Trockenfallen der Membran und Fehlbetrieb. Die Untersuchungen zum Virenrückhalt wurden vom Umweltbundesamt (UBA), Berlin durchgeführt.

Neben diesen „Laboruntersuchungen“ wurden umfangreiche Feldtests von Prototypen des Wasserrucksacks, die mittlerweile seit 2010 weltweit im Einsatz sind, durchgeführt, in denen unter Einsatz eines zu diesem Zweck zusammengestellten Feldlabors die mikrobiologische und die hydraulische Leistungsfähigkeit dieser Aggregate unter realitätsnahen Einsatzbedingungen ermittelt wurde. Zu diesem Zweck wurden Einsatzorte in Pakistan, Peru, Bénin, Kolumbien, Myanmar und Nepal besucht und Untersuchungen unterschiedlichen Umfangs, je nach den gegebenen Möglichkeiten, durchgeführt. Diese Einsatzorte repräsentieren dabei eine Vielfalt an klimatischen, technischen, situativen, soziologischen und kulturellen Rahmenbedingungen. Zusätzlich sollten die gewonnenen Praxiserfahrungen dafür genutzt werden, die Eignung der zur Beschreibung des Wasserrucksacks entwickelten Piktogramme und Kurzanleitungen zu überprüfen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse das sehr hohe Leistungspotenzial des Wasser-rucksacks PAUL, um unterversorgten Personengruppen im Katastrophenfall, in der Zeit der Nachsorge nach Katastrophen, aber auch im dauerhaften Einsatz in dezentralen Regionen weltweit einen Zugang zu trinkbarem Wasser zu ermöglichen. Die Möglichkeit, dieses humanitäre Ziel unter Berücksichtigung umweltrelevanter Aspekte wie „kein Energieeinsatz“ und „keine zusätzliche Verwendung von Chemikalien“ zu erreichen, ist in hohem Maße innovativ.

Gleichzeitig werden für das weitere Vorgehen weitere Untersuchungen empfohlen, um weitere Aspekte des Verfahrens (neu) zu beleuchten bzw. bekannte Aspekte des Verfahrens zu vertiefen.

2 Einleitung

Schwere Naturkatastrophen wie Erdbeben, Überflutungen und Wirbelstürme fordern häufig nicht nur viele Menschenleben, sondern führen vielfach auch zu einer vollständigen Zerstörung der vorhandenen Infrastruktur. Die Beeinträchtigung der Daseinsvorsorge oder deren gänzliche Aussetzung kostet nach einer Naturkatastrophe meist weitere Menschenleben und erschwert das Schicksal der Überlebenden zusätzlich.

Eine der dringlichsten Aufgabe der Nothilfe nach Naturkatastrophen besteht somit in der schnellstmöglichen Wiederherstellung der Grundversorgung mit Trinkwasser, um die Ausbreitung von Krankheiten zu verhindern. Verunreinigtes Trinkwasser führt zu Durchfallerkrankungen, fieberhaften Infekten bis hin zu Epidemien. Hierauf wird auch in den „Guidelines for Drinking-water Quality“ der WHO (2011) und im sog. „Sphere-Handbuch“ (The Sphere Project, 2011) eindringlich hingewiesen.

In beiden Werken wird die Verunreinigung der im Katastrophenfall noch verfügbaren Wasserressourcen mit Krankheitserregern als wesentliche Belastung identifiziert, und es wird zudem darauf hingewiesen, dass die Zurverfügungstellung einer Mindest-Wassermenge oberste Priorität hat und die Qualität des zur Verfügung gestellten Wassers die zweite Priorität darstellt.

Die bisher in der mobilen Notfallversorgung eingesetzten Trinkwasseraufbereitungsanlagen zeichnen sich meist durch einen hohen Technisierungsgrad aus und erfordern einen hohen Personal-, Energie und Zusatzstoffbedarf aus. Sie sind gut geeignet, um die Wasserversorgung in großen Städten zu übernehmen.

Diese an sich gute und nicht zu verändernde Nothilfe weist allerdings zwei Nachteile auf:

- ➔ Zum einen vergehen vom Eintreten eines Notfalls bis zur Inbetriebnahme dieser Anlagen üblicherweise mehrere Tage.
- ➔ Zum Zweiten können entlegene Gebiete damit nur sehr schwer (Wassertransport von den zentralen Anlagen in das Umfeld) oder gar nicht versorgt werden, da oben beschriebene Anlagen mangels Auslastung oder schlechter Zugänglichkeit (Flughafen und ausreichende Straßen) der betroffenen Gebiete nicht aufgestellt werden können. Wenn in diesen Fällen ein Wassertransport in das Umland logistisch nur schwer zu organisieren oder gar nicht zu realisieren ist, wird für das betroffene Umfeld zu wenig oder gar keine Hilfe gegeben sein.

Dies führt dazu, dass den Menschen in entlegenen Gebieten (Streusiedlungen etc.) nicht gezielt / gar nicht geholfen werden kann. Die vorhandenen Hilfsmöglichkeiten

(oben beschriebene mobile Trinkwasserwerke) müssen also strukturell durch ein neuartiges Hilfsmittel ergänzt werden. Die heute auf dem Markt befindlichen kleinen mobilen Anlagen, die grundsätzlich zur Versorgung entlegener Gebiete geeignet wären, können jedoch nur kleine Gruppen bis maximal 20 Personen versorgen (Reise-/Expeditionsfilter, Tropffilter) (Frechen und Waldhoff 2006).

Daher wurde im Zuge der Vorläuferprojekte ein neuartiges Gerät entwickelt und bis zum Prototyp realisiert, das den spezifischen Anforderungen im Katastrophenfall genügen kann. Ein solches Szenario im Katastrophenfall lässt sich durch folgende Charakteristika beschreiben, denen das entwickelte Gerät Rechnung trägt:

- ➔ Kein Chemikalienbedarf
- ➔ Kein Energiebedarf
- ➔ Kein Personalbedarf
- ➔ Keine Wartung nötig
- ➔ Absolut robust
- ➔ Sofort einsetzbar
- ➔ Leicht zu transportieren

Dass ein solches Gerät technisch machbar ist, wurde in den Vorgängerprojekten belegt.

Ziel dieses Projektes ist es daher, den in den vorangegangenen Projektphasen entwickelten Prototyp dieses „Wasserrucksacks“, mittlerweile bekannt unter seinem Pseudonym **PAUL**, der im Projekt AZ 23860/02 in einer Kleinserie realisiert wurde, zur Serienreife zu bringen und seine Leistungsfähigkeit zu überprüfen.

3 Konstruktive und technische Optimierung

3.1 Gehäuseaufbau

3.1.1 Vorbemerkungen und Übersicht

Bei der Entwicklung des Wasserrucksacks zum serienreifen Produkt ergaben sich spezifische Anforderungen an das Gehäuse. Es sollte ein Gehäuse entwickelt werden, welches sich möglichst durch kleine Abmessungen, geringes Gewicht und größtmögliche Robustheit auszeichnet, dabei jedoch gleichzeitig eine ausreichende hydrostatische Druckhöhe gewährleistet.

Die Ahnengalerie der im Laufe der Gesamtentwicklung des Wasserrucksacks erstellten Gehäusevarianten, beginnend ab 2006, ist in Abbildung 95 zu sehen

Das im Rahmen des Vorgängerprojektes AZ23860_02 im Rotomoulding-Verfahren hergestellte Mustergehäuse (Variante 1) mit verschiedenen Quer- und Längssicken zeichnet sich durch eine hohe Steifigkeit aus, d.h. es ist auch im vollgefüllten Zustand trotz leichter Ausbeulung ausreichend formstabil. Zudem wurde ein zweigeteilter Aufbau gewählt, bei dem das Sieb fester Bestandteil des abnehmbaren Behälterdeckels ist. Dies ermöglicht einen einfachen und sicheren Einbau des Membranmoduls. Ein Bild dieses Musters ist in Abbildung 1 (rechts) dargestellt.

Auf Grundlages dieses Musters wurde als Ergebnis des Vorgängerprojekts ein Entwurf erarbeitet, welcher zur einfachen Entleerung des Gehäuses und Entfernung des sich angesammelten Retentats an der Unterseite einen Bodenablass besitzt, wie in Abbildung 1 (links) dargestellt. Zu Beendigung des Vorgängerprojekts war die darauf basierende Kleinserie bereits in Auftrag gegeben und ist inzwischen produziert wurden. Der Bodenablass im Gehäuse der produzierten Kleinserie ist in Abbildung 2 zu sehen.

An Polyethylen (PE) als Gehäusewerkstoff wird aufgrund seiner Eigenschaften bezüglich der Eignung in Verbindung mit Trinkwasser und seiner einfachen und kostengünstigen Verarbeitungsmöglichkeiten festgehalten. Ein Umstieg auf eventuell leichtere Materialien wäre mit enormen Investitionskosten verbunden, welche in keinem Verhältnis zum eventuellen Nutzen stünden und im Rahmen dieses Projektes keinesfalls finanzierbar gewesen wären.

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit den sich bereits im Einsatz befindenden Wasserrucksäcken wurde die Grundkonzeption der Gehäuseaufbaus beibehalten. Optimierungen auf Basis der Erfahrungen mit den ersten Varianten wurden jedoch durchgeführt und werden in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

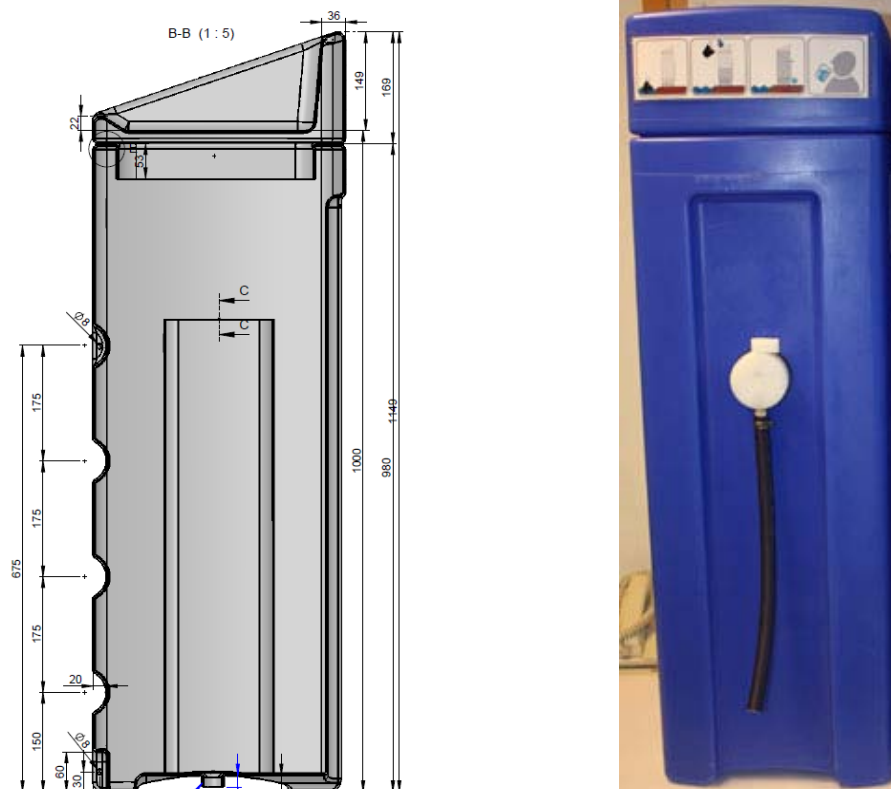


Abbildung 1: Im Vorgängerprojekt AZ23860_02 entwickeltes Muster (Variante 1) des Wasserrucksackgehäuses (rechts), Entwurf des Gehäuses (Variante 2) für die Kleinserie (links) mit zusätzlich integriertem Bodenablass



Abbildung 2: Bodenablass an der Unterseite des Gehäuses der Kleinserie

So entstand aus den Erfahrungen während der internationalen Feldeinsätze der Bedarf, den Tragekomfort zu erhöhen, die Stapelbarkeit zu verbessern und die Anzahl der eingesetzten Bauteile nach Möglichkeit zu reduzieren. Unter Beibehaltung des Grundkonzepts des Gehäuses wurden im Rahmen des aktuellen Projektes AZ 23860_04 einige Details verbessert. Dabei wurde auch das Werkzeug zur Herstellung der Gehäuse angepasst.

Auf die Änderungen und Verbesserungen des Gehäuses wird im Detail in den folgenden Kapiteln eingegangen.

Im Zuge der Entwicklung des Wasserrucksacks bis zur Serienreife sind mehrere Versionen des Gehäuses umgesetzt worden bzw. werden noch umgesetzt. Neben dem Muster und der Kleinserie, beide aus dem Vorgängerprojekt, wurde zu Beginn des aktuellen Projektes noch eine verbesserte Version entwickelt und produziert. Diese Version des Wasserrucksacks wird im Folgenden als Version 1.0 bezeichnet. Zudem wurde eine aus Sicht dieses Projektes finale Version 2.0 mit weiteren Verbesserungen, welche sich aus den Erfahrungen der gesamten Projektlaufzeit ergeben haben, konzipiert. Ein Prototyp der finalen Version wird zeitnah produziert.

Zur besseren Übersicht sind die Versionen und deren Bezeichnungen in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht der Gehäuseversionen aus dem aktuellen und dem vorherigen Projekt

Bezeichnung	aus Projekt	Spezifikation / Merkmale
Muster	AZ23860_02	Kein Bodenablass, Lochbohrungen im Deckel
Kleinserie	AZ23860_02	Bodenablass, Lochbohrungen im Deckel
Version 1.0	AZ 23860_04	Bodenablass, Einlegesieb mit Langlöchern
Version 2.0	AZ 23860_04	Noch nicht produziert, veränderte Gurtaufhängung, flacher Deckel

3.1.2 Veränderung der Einsatzgewichte

Zur Ermittlung des Optimums zwischen Kosten, Tragegewicht und Stabilität des Gehäuses wurden Versuchsgehäuse mit unterschiedlichen Materialstärken hergestellt. Das Gewicht variierte zwischen 9 kg und 13 kg. Es zeigte sich, dass die Varianten mit bis 10 kg Einsatzgewicht zwar einen guten Tragekomfort hatten, jedoch wiesen die Gehäuse bei der Befüllung mit Wasser eine Beulung des Gehäuses im unteren Bereich auf. Die Beulung ist in Abbildung 3 zu erkennen.

Die Variante mit 13 kg beulte bei Wasserfüllung nicht, erhöhte jedoch das Leer- bzw. Transportgewicht um ca. 10 %.

Gewählt wurde schließlich ein Einsatzgewicht von 11 kg. Dadurch ergab sich für das komplett montierte Gerät (Filtermodul 9,3 kg und Kleinteile) ein Leergewicht von 23 kg. Nach Befüllung mit Wasser beträgt das Gewicht ca. 127 kg.



Abbildung 3: *Beulung des Gehäuses mit Wasserfüllung*

3.1.3 Gehäuseoberteil und Vorsieb

Das Vorsieb wurde im Muster und in der Kleinserie des Vorgängerprojekts durch Lochbohrungen im Gehäuseoberteil (Deckel) umgesetzt, siehe Abbildung 4 (links). Es hat sich jedoch in Versuchen gezeigt, dass ein Befüllen durch dieses Sieb nicht zweckmäßig ist, da der Durchfluss zu gering ist und es zum Überlaufen kommen kann.



Abbildung 4: *Oberteil mit Lochbohrungen als Vorsieb der Kleinserie (links), Oberteil mit integriertem Langlochsieb der in diesem Projekt bereits umgesetzten Version 1.0 (rechts)*

Daher wurde in der Version 1.0 ein Langlochsieb als zusätzliches Bauteil integriert. In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass der Durchfluss auch bei schneller Befüllung mit einem Eimer groß genug ist, so dass es nicht zum Überlaufen kommt.



Abbildung 5: Befüllung des Wasserrucksacks durch das integrierte Langlochsieb

Um die Integration des Langlochsiebs baulich umsetzen zu können, wurde das Werkzeug für Version 1 entsprechend angepasst. Der Deckel von Version 1.0 ist in Abbildung 4 (rechts) zu sehen. Das Sieb wird mittels 2 Schrauben am Deckel fixiert.

Aufgrund der dadurch erreichten besseren Befüllcharakteristik, kommt es nicht mehr zum Überlaufen, und der hohe Kragen, der den Kugelhahn beim Befüllvorgang vor Verunreinigungen mit Rohwasser schützen soll, ist daher nicht mehr nötig.

In der finalen Variante (Version 2.0, Erstproduktion voraussichtlich Februar 2014) wird der Deckel abgeflacht, so dass alle Seiten des Deckels gleich hoch sind. Dadurch wird zum einen das Werkzeug für das Rotomoulding vereinfacht, zum anderen reduziert sich die Gesamthöhe. Durch das Absenken des oberen Gehäuserandes auf ein einheitliches Niveau wird die Stapelbarkeit wesentlich verbessert. Transportkapazitäten werden damit besser ausgenutzt und die Kosten für den Transport perspektivisch gesenkt. Darüber hinaus sind die Schraubenlängen zur Verbindung des Gehäuseunterteils mit dem Gehäuseoberteil vereinheitlicht worden. Dadurch wird auch eine vorteilhafte Bauteilreduzierung erzielt.

Die Änderungen des Deckels für die finale Version 2.0 sind in Abbildung 6 dargestellt. Der deutlich flachere Deckel im Vergleich zur Version 1.0 ist rot markiert.

Die zur Umsetzung dieser Maßnahme erforderlichen Änderungen wurden bereits realisiert. Das dabei entstandene Werkzeug für den Gehäuseoberteil bzw. Deckel zeigt Abbildung 7

Die Produktion des Musters wird im Februar 2014 erfolgen.

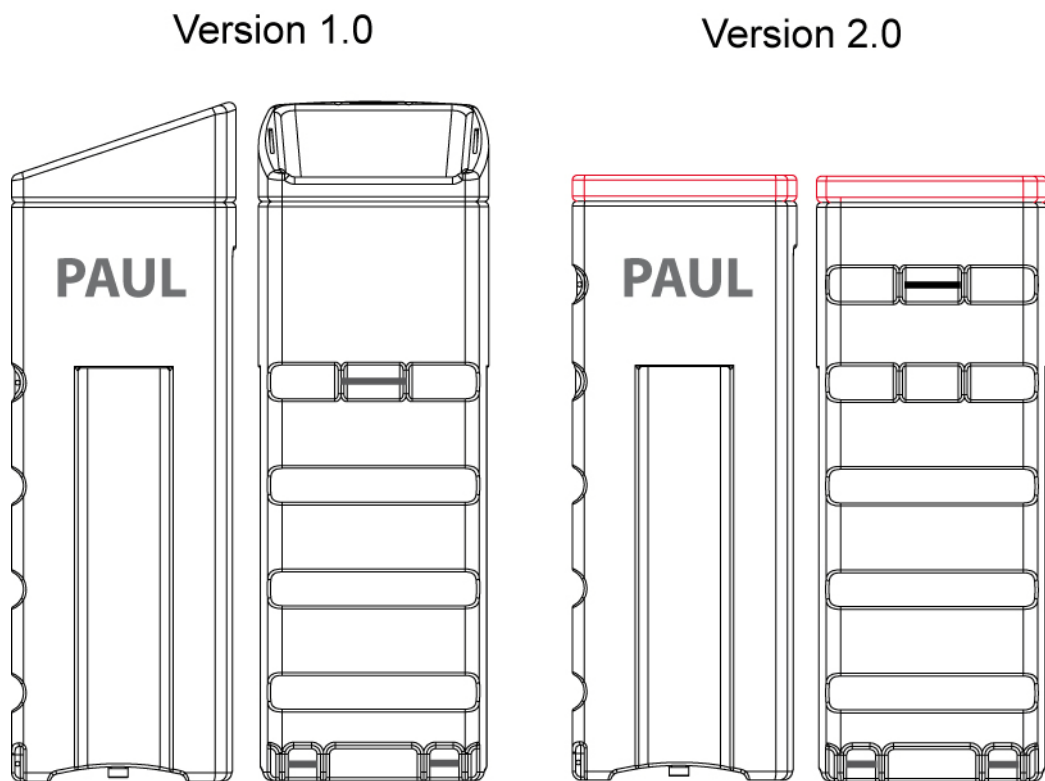


Abbildung 6: Anpassung des Gehäuseoberteils in der finalen Version 2.0 im Vergleich zur Ausführung der Version 1.0



Abbildung 7: Geändertes Werkzeug (Gehäuseoberteil) mit abgesenktem Rand (links)

3.1.4 Transportvorrichtungen

Die in der Kleinserie eingearbeiteten Griffschalen haben sich im Einsatz bewährt. Abbildung 8 zeigt ein Bild der Griffschalen während des Transportes. Es hat sich gezeigt, dass der Wasserrucksack auch von einer Person transportiert werden kann. Mit zwei Personen ist auch ein Transport im gefüllten Zustand über einige Meter möglich. Eine Modifikation der Tragegriffe wird daher vorerst nicht vorgesehen.



Abbildung 8: *Transport des Wasserrucksacks mit Hilfe der an den Seiten des Wasserrucksacks integrierten Griffschalen*

Um den leeren Wasserrucksack auch über längere Strecken zum Einsatzort transportieren zu können, dient das an der Hinterseite des Gehäuses angebrachte Gurtsystem, welches in Abbildung 9 (rechts) dargestellt ist. Dieses im Vorgängerprojekt entwickelte kostengünstige Gurtsystem, bestehend aus ca. 4 m Gurtband (Polyester, Breite 30 mm, Dicke 1,45 mm, Anfangsfestigkeit 1.600 dang (=kg), Gewicht 37,0 g/kfm.) und zwei Verbindungsschnallen, ist für die meisten Transportzwecke ausreichend.

Für einen Transport über sehr weite und auch schwierige Strecken kann bei Bedarf ein gepolstertes Gurtsystem verwendet werden (siehe Abbildung 9, links).



Abbildung 9: Einfaches Gurtsystem aus PES-Gurtband (rechts), gepolstertes Gurtsystem für weitere Strecken (links)

Das Gehäuseunterteil wurde so modifiziert, dass durch das Einbringen einer zusätzlichen oberen Quersicke mit Gurtaufnahme der Schwerpunkt für den Träger deutlich gesenkt werden konnte. Dieses verbessert den Tragekomfort in Verbindung mit dem komfortableren neuen Gurtsystem deutlich und vereinfacht das Auf- bzw. Absetzen des Wasserrucksacks. Abbildung 10 zeigt das hintere Teil des geänderten Werkzeugs. Die zusätzliche Quersicke ist in Abbildung 11 und Abbildung 12 (3D) dargestellt,.



Abbildung 10: Gehäusewerkzeug mit zusätzlicher Quersicke

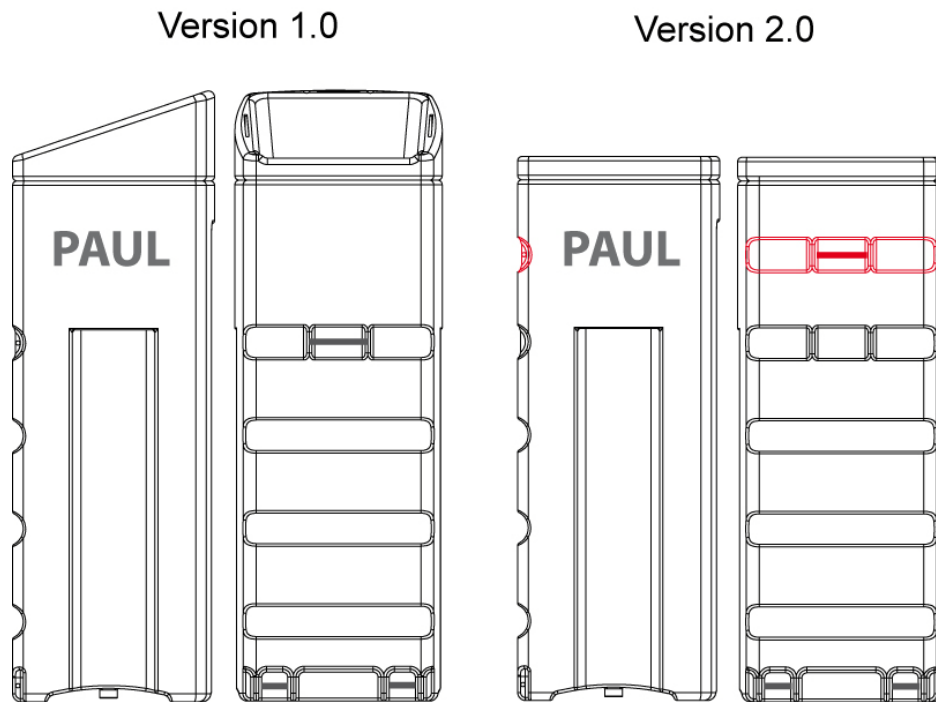


Abbildung 11: Geplante zusätzliche Quersicke (rot markiert, zur Verschiebung der oberen Gurtaufhängung in Richtung Deckel für die finale Version 2.0

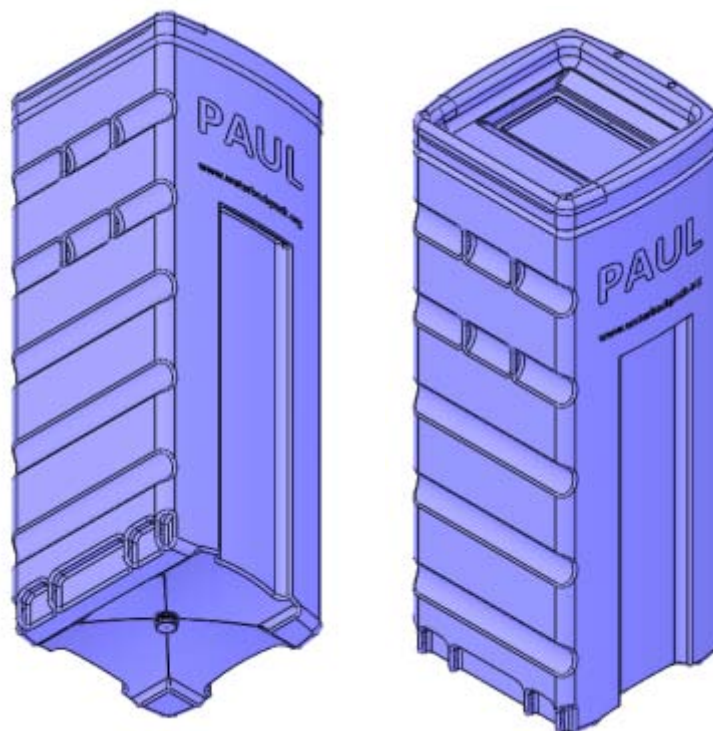


Abbildung 12: Dreidimensionale Gehäuseansichten

3.1.5 Bodenablass bzw. Entleerungsmöglichkeit

Wie bereits erwähnt, wurde der im Vorgängerprojekt entwickelte Bodenablass inzwischen umgesetzt. Der Bodenablass, siehe Abbildung 13, ermöglicht ein Entleeren des Gerätes und somit auch eine Entfernung des angesammelten Schlammes.



Abbildung 13: Bodenablass an der Unterseite des Gehäuses

Da das Gerät im gefüllten Zustand leicht angehoben werden muss, um den Bodenablass zu öffnen, ist eine Entleerung zwar möglich, aber im Handling noch verbesserungswürdig. Daher wurde zunächst geplant, den Ablass vom Boden des Gehäuses an die Seite zu versetzen und diesen somit besser erreichbar zu machen. Ein Entwurf dieser Umsetzung ist in Abbildung 14 umgesetzt.

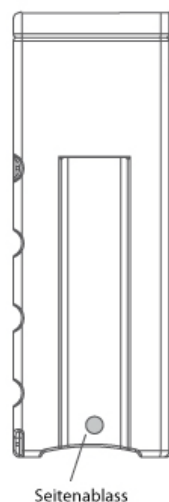


Abbildung 14: Seitenablass zur einfacheren Entleerung des Wasserrucksacks

Konstruktiv ist diese Version im Rotomouldingverfahren nicht umzusetzen und erforderte eine komplette Neukonstruktion des gesamten Gehäuses. Daher wird von der Änderung zurzeit abgesehen.

3.2 Anbauten und Verbindungen

3.2.1 Innere Verbindung Kugelhahn und Membranmodul

Das im Vorgängerprojekt entwickelte Anschlussset zur Verbindung zwischen Membranmodul ist in Abbildung 15 auf dem linken Bild zu sehen.



Abbildung 15: Anschlussset mit steifem Trinkwasserschlauch aus dem Vorgängerprojekt (links), aktuelles Anschlussset mit flexiblem Silikonschlauch (rechts)

Kernstück der Verbindung ist ein Trinkwasserschlauch mit einem Innendurchmesser von 13 mm. In den Fallversuchen hat sich gezeigt, dass der Schlauch aufgrund seiner Steifigkeit die Kräfte bei Bewegungen des Membranmoduls auf die Anschlüsse am Modul und am Kugelhahn überträgt. Um dies zu verhindern und in Verbindung mit der neu entwickelten Dämmung eine zusätzliche Sicherheit bei Stürzen zu erhalten, wurde als Verbindung der Anschlüsse zwischen Membranmodul und Kugelhahn ein lebensmittelechter Silikonschlauch gewählt. Diese Ausführung ist im rechten Bild von Abbildung 15 zu sehen.

3.2.2 Kugelhahn



Abbildung 16: Kugelhahn aus Vorgängerprojekt (links), aktueller Kugelhahn mit verändertem Griff und veränderter Schaltstellung (rechts)

Aufgrund der kurzen Griffausführung in der Variante aus dem Vorgängerprojekt, welche in Abbildung 16 (links) dargestellt ist, ist der Kugelhahn schwer zu öffnen. Zudem war der Kugelhahn in Mittelstellung geöffnet und bei Stellung links sowie rechts geschlossen. Um das Handling zu verbessern, wurde der Griff des aktuellen Kugelhahns verlängert und zur besseren Erkennung in Schwarz ausgeführt. Der Kugelhahn ist nur in Rechtsstellung geschlossen und in Linksstellung, siehe Abbildung 16 (rechts), geöffnet. Dies wurde auch in einem zusätzlichen Piktogramm-Paar, siehe Abbildung 148, bildlich verdeutlicht. Zusätzlich wird die aktuelle Version zur Sicherstellung der Dichtigkeit nicht mehr von drei, sondern von vier Schrauben fixiert, wie in Abbildung 17 zu sehen ist.

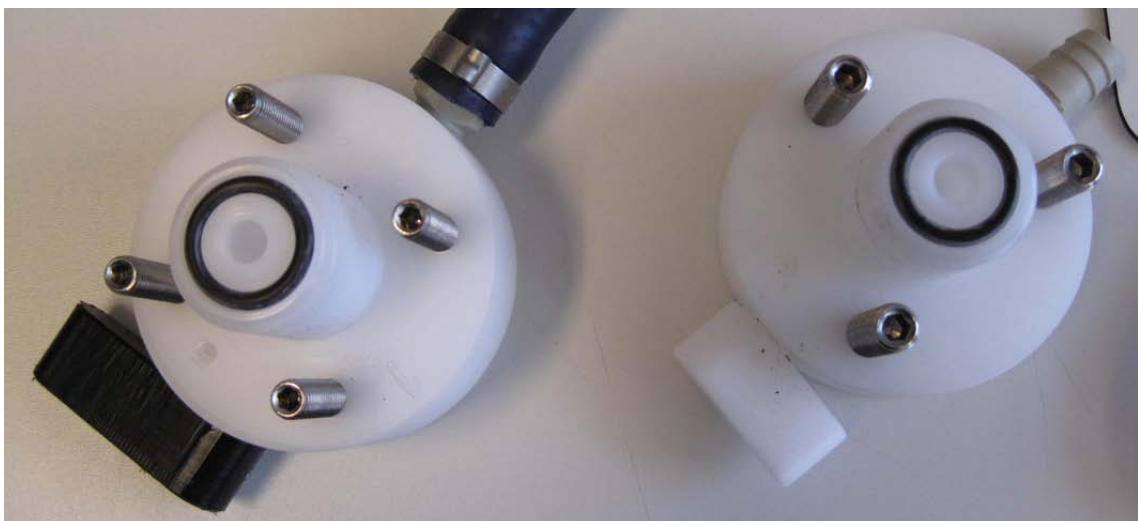


Abbildung 17: Neu entwickelter Kugelhahn mit vier Schrauben (links), Kugelhahn aus dem Vorgängerprojekt mit drei Schrauben (rechts)

3.2.3 Maßnahmen zur Erhöhung des filtrationswirksamen Wasserdrucks

Die für die Filtration notwendige Energie wird vom Wasserdruck erzeugt. Der beim Wasserrucksack maximal hydrostatisch zur Verfügung stehende Wasserdruck liegt bei ca. 80 mbar (entspricht 8 kPa) und wird durch den Höhenunterschied zwischen Wasserstand und Ende des Ablaufschlauches bestimmt.

Damit dieser Höhenunterschied drucktechnisch auch wirksam wird und als Transmembrandruck (TMD) zur Verfügung steht, darf die Wassersäule von der Wasseroberfläche im Gehäuse bis zum Ende des Ablaufschlauches nicht unterbrochen sein. In Versuchen hat sich gezeigt, dass der bisher als Ablaufschlauch verwendete Trinkwasserschlauch mit einem Innendurchmesser von 13 mm beim Betrieb des Wasserrucksacks nicht immer vollgefüllt ist und sich der für den Wasserdruck nötige Saugheber nicht immer ausbildet. Der nicht vollständig mit Wasser gefüllte Schlauchquerschnitt beim 13 mm Schlauch ist deutlich im linken Bild von Abbildung 18 zu sehen.

Um den für die Filtration wirksamen Wasserdruck zu erhöhen, wurde der Innendurchmesser des Ablaufschlauchs auf 10 mm verringert. Im rechten Bild von Abbildung 18 zeigt sich der vollgefüllte Schlauchquerschnitt und der damit einhergehende höhere Durchfluss.

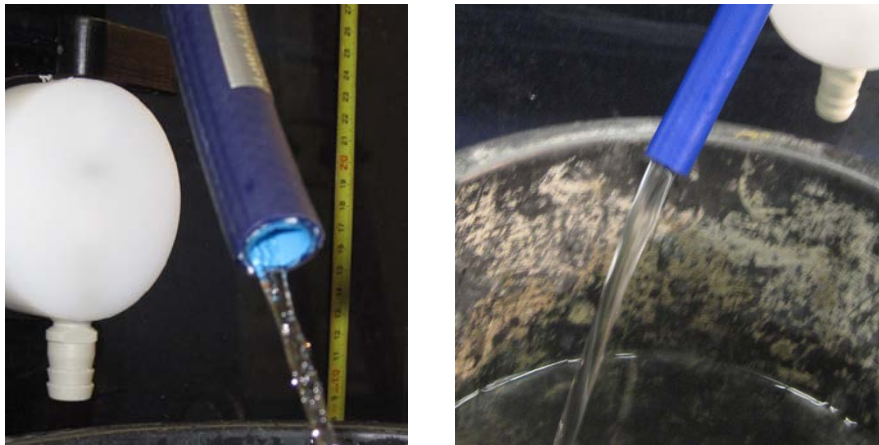


Abbildung 18: Durchfluss Trinkwasserschlauch 13 mm (links), Durchfluss Trinkwasserschlauch 10 mm (rechts)

Die Ergebnisse der Vergleichsmessung sind in Kapitel 4.4 aufgeführt.

Zusätzlich wurde der Einfluss einer längeren Permeatsaugleitung zur Erhöhung des Wasserdrucks untersucht. Dazu wurden zwei Wasserrucksäcke mit einer solchen ausgestattet. Ein Bild des Versuchsaufbaus zeigt Abbildung 19. Die Ergebnisse der Versuchsreihen zur Erhöhung des Transmembrandrucks werden in Kapitel 4.4 erläutert.



Abbildung 19: Anlagenerweiterung um eine längere Permeatsaugleitung; Höhenunterschied zwischen Kugelhahn und Ende Ablaufschlauch ca. 130 cm

3.2.4 Konstruktive Umsetzung von Einbauten zur Verhinderung einer möglichen Verkeimung der Reinwasserseite

Chlorschleusen (siehe Vorgängerprojekt) und andere Dosiergeräte für Desinfektionsmittel, die in den Wasserrucksack integriert werden könnten, kommen aufgrund der geringen Durchflüsse, des geringen Wasserdrucks und der Grundidee, die auf einen stromlosen, wartungsfreien und einfachen Betrieb basiert, nicht in Frage.

Als eine mögliche integrierbare und effektive Lösung könnte eine UV-Behandlung interessant sein, welche über eine Photovoltaikanlage gespeist wird. Die Entwicklung einer derartigen und auf den Einsatzfall des Wasserrucksackes passenden Lösung, war im Rahmen dieses Projekts nicht möglich und wäre in einem Nachfolgeprojekt zu untersuchen.

Neben der Integration von Dosiergeräten bzw. UV-Nachbehandlung ist auch die Verwendung von Materialien geprüft worden. Im Rahmen dieses Projekts wurde auf die Integration von Silber auf der Reinwasserseite zurückgegriffen.

Mittlerweile ist die Wirkungsweise von Silber als antibakterielle Substanz zum größten Teil geklärt. Es ist bewiesen, dass Silberionen, welche von Silberpartikeln oder Silberoberflächen abgegeben werden, den größten Schaden am Bakterium verursachen. Sie werden vom Bakterium aufgenommen und verhindern die ATP (Adenosintriphosphat) Synthese und die Erbgut (DNS = Desoxyribonukleinsäure) Replikation. Das ATP gilt als universelle Form verfügbarer Energie in einer Zelle und wird daher für die meisten intrazellulären Prozesse benötigt. Des Weiteren fördern sie die Bildung von ROS (reactive oxygen species), wodurch im Bakterium ein Überangebot von ROS und damit oxidativer Stress erzeugt wird. Als oxidativer Stress wird eine Stoffwechselsituation bezeichnet, bei der eine für die Ausmaße der Zelle zu große Menge ROS gebildet wird. Dieser führt wiederum zu einer oxidativen Degradation von Lipiden in der Zellwand, zu Proteinoxidationen und auch zur Schädigung des Erbguts. Alle diese Prozesse zusammen führen letztendlich zum Absterben der Zelle. (Marambio-Jones, C., 2010; ITA, 2009)

Durch den oligodynamischen Effekt gilt Silber als sehr gutes Desinfektionsmittel und besitzt zudem noch eine lange konservierende Wirkung, wodurch ein mögliches Wiederverkeimen des gereinigten Wassers verhindert wird. Es werden beim Einsatz keine externe Stromquelle oder bewegliche Teile (Mechanik) benötigt und die Handhabung ist leicht und birgt keine Gefahren für den Anwender, wie sie z.B. durch eine ätzende Wirkung eines Desinfektionsmittels auf die Haut oder durch Bildung toxischer Gase entstehen können.

Silber hat besonders im medizinischen Bereich eine lange Einsatzgeschichte. Aus diesem Grund bietet sich der Einsatz von Silber in der dezentralen Trinkwasseraufbereitung an (Utikal, J., Kersten, N., 2006). Neben der möglichen positiven Wirkung als Desinfektionsmittel sind auch negative Auswirkungen bekannt. Silber ist ein Schwermetall und kann im menschlichen Körper akkumulieren und kann aber nicht abgebaut werden. Daher kann es zu Krankheiten wie Argyrie und Argyrose kommen (Utikal, J., Kersten, N., 2006).

Die Tests mit Silber in diesem Projekt sollen in erster Linie zeigen, ob Silber grundsätzlich geeignet ist, durch seine antibakterielle Wirkung die Reinigungsleistung des Wasserrucksacks zu verbessern und einer möglichen Verkeimung der Reinwasserseite entgegenzuwirken. Eine Abwägung von positiven und negativen Folgen von Silber bezüglich des Einsatzes im Wasserrucksack wäre Gegenstand zukünftiger Befassungen.

Die Umsetzung der Integration von Silbergewebe ist in Kapitel 3.4.5 erläutert.

3.3 Dämmung Membranmodul

Das Membranmodul als verfahrenstechnischer Kern des Wasserrucksacks muss vor Beschädigungen infolge von Stürzen, Stößen und Vibrationen im Gehäuse durch eine Dämmung / Dämpfung geschützt werden. In der Praxis bringen es der Ferntransport mit Speditionsdienstleistern sowie die Verladung und der Transport am Einsatzort per LKW nahezu zwangsläufig mit sich, dass auch Stürze mit einer Fallhöhe von 2 m oder mehr entsprechend den üblichen Höhen von LKW-Ladeflächen auftreten können. Dies muss der Wasserrucksack sicher und unbeschadet überstehen können.

Abbildung 20 zeigt die im Vorgängerprojekt umgesetzte Variante aus gefrästem und laminiertem PE-Schaum (Plastazote® LD 33 LC).



Abbildung 20: Im Vorgängerprojekt entwickelte und umgesetzte Membrandämmung

In dieser Variante ist die Dämmung parallel zu den Modulseiten platziert. Diese Anordnung resultierte noch auch der Tatsache, dass bei den Vorgängervarianten des entwickelten Gehäuses, welches dann in einer Kleinserie umgesetzt wurde, die nach innen geformten Griffschalen an den Seiten des Gehäuses als Widerlager für die Dämmung dienten. Damit sollte ein Aufschwimmen des Membranmoduls verhindert werden. Im Gegensatz zu den Vorgängervarianten ist die Griffschale des Seriengehäuses bis auf den Boden ausgebildet und kann daher nicht als Widerlager dienen. Außerdem wurde festgestellt, dass es bei Transporten der älteren Versionen gelegentlich zum Verrutschen der Dämmung innerhalb des Gehäuses gekommen war.

Aus diesen Gründen wurde die Dämmung in mehreren Schritten überarbeitet.

Im **ersten Schritt** (Version 1) wurde die Dämmung so umkonstruiert, dass sie parallel zur Vorder- und Hinterseite des Membranmoduls angebracht werden kann. In Abbildung 21 ist gezeigt, wie das Modul in die untere Dämmung eingesetzt ist.



Abbildung 21: Dämmung parallel zur Vorder- und Hinterseite des Moduls, Version 1

Um eine Bewegung des Moduls nach oben, z.B. durch Aufschwimmen oder Fall des Wasserrucksacks kopfüber, zu verhindern, wurde die obere Dämmung verlängert und der Kragen des Gehäuses als Widerlager verwendet, siehe Abbildung 22. Durch Aufsetzen des Deckels wird die obere Dämmung zwischen Deckel und Gehäusewand eingeklemmt.

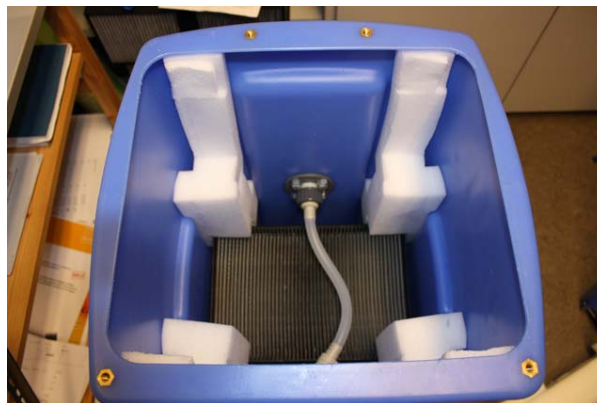


Abbildung 22: Obere Dämmung zur Verhinderung einer Bewegung des Moduls nach oben, Version 1

Bei dieser Ausführung hat sich gezeigt, dass das Material der oberen Dämmung den Kräften bei Stürzen des Wasserrucksacks nicht standhält und sich während der Belastung verformt. Dadurch kann die Dämmung verrutschen und ihre Funktion verlieren, was im Extremfall die Verbindung zwischen Kugelhahn und Membranmodul beschädigen und so zum Versagen des Systems führen kann.

Daher wurde die obere Dämmung im **zweiten Schritt** (Version 2) gekürzt, wie in Abbildung 23 gezeigt.

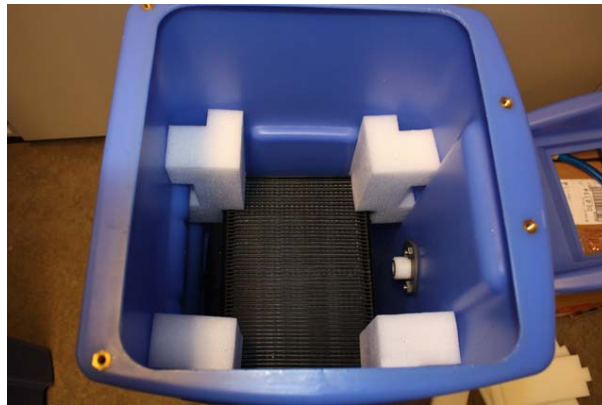


Abbildung 23: Eingebautes Membranmodul mit gekürzter oberer Dämmung (links), eingebaute PE-Platte zur Absicherung der Dämmung gegen ein Verrutschen nach oben, Version 2

Als Sicherung gegen ein Aufschwimmen der Membran bei der Befüllung mit Wasser und gegen das Verrutschen beim Transport sowie bei Stürzen wurde eine PE-Platte auf die Dämmung gelegt, welche mit zwei trapezförmigen Stützen nach oben gesichert wird. Abbildung 24 zeigt die aufgesetzte PE-Platte mit der Stütze.



Abbildung 24: PE-Platte zur Abstützung nach oben, Version 2

Um sicherzustellen, dass diese Ausführung den Belastungen standhält, wurden in der Wasserbauhalle der Universität Kassel Sturzversuche durchgeführt.

Dabei wurden sowohl ein Umfallen des Wasserrucksacks als auch Stürze aus unterschiedlichen Höhen nachgestellt. Es hat sich gezeigt, dass sich die Dämmung beim einfachen Umfallen nicht verschiebt und der Wasserrucksack nicht beschädigt wird. Auch Stürze aus etwa einem Meter auf die Seite oder den Boden des Wasserrucksacks können schadlos überstanden werden.

Da besonders die Abstützung des Moduls nach oben als kritisch eingeschätzt wird, wurden auch Fallversuche aus Höhen von bis zu zwei Metern durchgeführt. Dadurch sollte z.B. ein Sturz von einer LKW-Laderampe simuliert werden, bei dem der Wasserrucksack direkt auf die Kopfseite fällt.

In Abbildung 25 ist deutlich zu erkennen, dass die Dämmung den Belastungen nicht standgehalten hat. Durch das Verrutschen der Dämmung und die damit verbundene Bewegung des Membranmoduls sind Beschädigungen am Gehäuse des Membranmoduls sowie Beschädigungen am Schlauch, der das Modul mit dem Kugelhahn verbindet, entstanden. Käme es zu diesem Schadensfall, wäre der Wasserrucksack nicht mehr funktionsfähig.



Abbildung 25: Schadenbilder nach einem Sturz aus 2 m Höhe auf die Kopfseite des Wasserrucksacks, Version 2

Die Fallversuche hatten gezeigt, dass die Dämmung in ihrer Form an die inneren Konturen des Gehäuses angepasst werden muss.

Daher wurde im **dritten Schritt** (Version 3) die Dämmung komplett neu konstruiert. Hierfür wurde zunächst ein Prototyp entwickelt.

Der Prototyp der Dämmung besteht aus zwei Schalen (Modulschalen), welche das Modul umfassen, sowie einem Auflagerahmen, zwei Steckbalken zur Absicherung gegen den Gehäusedeckel und einem weiteren Steckbalken zur Stabilisierung. In Abbildung 26 ist eine Zeichnung des Prototypen dargestellt. Die rot markierten Änderungen resultieren aus Vorlauf-Tests bezüglich der Passform der Dämmung im Gehäuse und bewirken eine noch bessere Anpassung der Dämmung an die inneren Konturen des Gehäuses.

Die Dämmung der Version 3 besteht aus LDPE-Schaum (Plastazote LD 45) mit einer Raumdichte von 45 kg/m^3 .

Auch diese Dämmung wurde zur Eignungsprüfung einigen Falltests aus einer Höhe von ca. zwei Metern auf einen Betonboden unterzogen, siehe Abbildung 27.

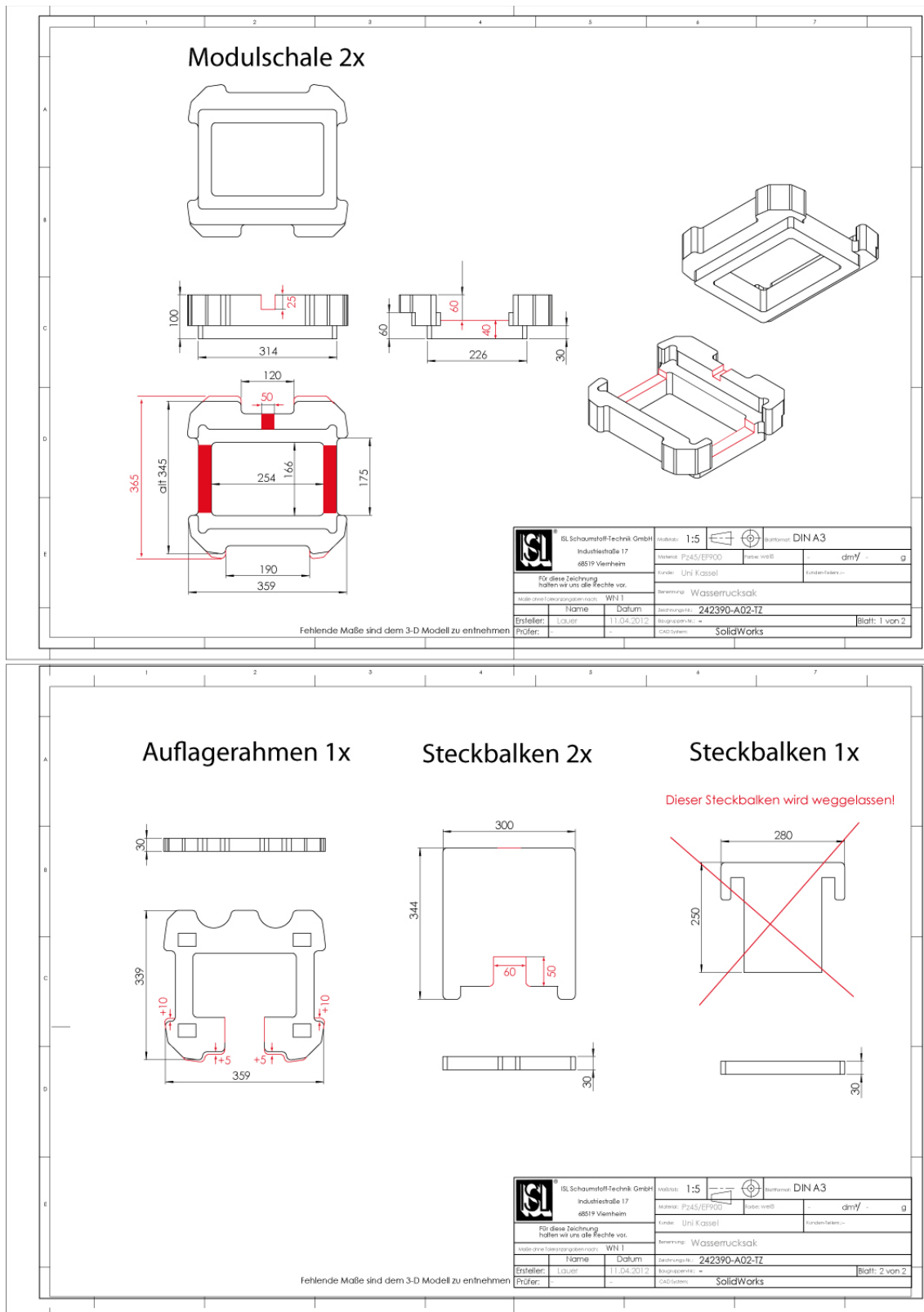


Abbildung 26: Prototyp der neuen Dämmung (Version 3) inkl. Änderungen (rot markiert) zur besseren Anpassung an das Gehäuse des Wasserrucksacks



Abbildung 27: Falltest mit der Dämmung Version 3, Fall aus ca. 2 m auf die Kopfseite, Untergrund Beton



Abbildung 28: Schadensfall nach Falltest aus Abbildung 27 (Version 3)

In Abbildung 28 ist zu sehen, dass die Dämmung zwar nicht dauerhaft verrutscht ist, aber dennoch eine Bewegung des Membranmoduls zugelassen hat, welche die Anschlussstülle an den Kugelhahn im Inneren des Gehäuses abgerissen hat. Zurückzuführen war dieser Schadensfall auf eine elastische Verformung der Steckbalken, die das Modul gegen eine Bewegung nach oben sichern sollen.

Aus diesem Grund wurde für die **Endversion** der Dämmung der Werkstoff für die Auflageplatte und die beiden Steckbalken verändert. Es wurde ein PE-Schaum mit einer deutlich höheren Raumdichte von 145 kg/m^3 und einer höheren Steifigkeit gewählt. Die Dämmung in der Endversion ist in Abbildung 29 sowie als 3D-Abbildung und Foto in Abbildung 30 dargestellt.

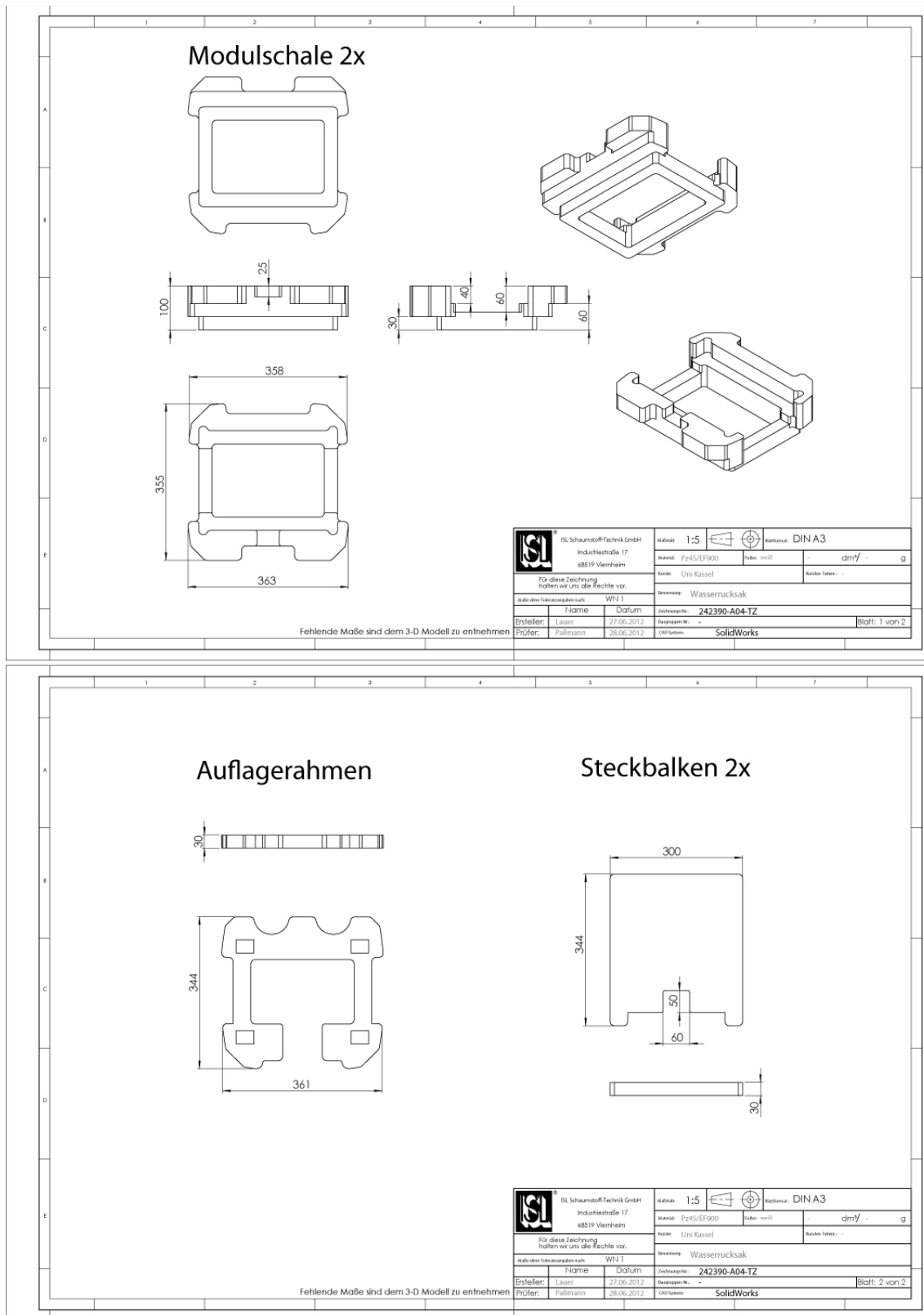


Abbildung 29: Zeichnung der in diesem Projekt entwickelten Dämmung für den Wasserrucksack, Endversion



Abbildung 30: 3D-Abbildung (links) und Foto (rechts) der Endversion des Wasserrucksack inklusive Dämmung

Die konstruktive Ausbildung dieser Dämmvariante in Verbindung mit der neuen Werkstoffkombination und optimierter Absicherung nach oben hat sich in weiteren Fallversuchen als geeignet erwiesen, den Wasserrucksack auch **bei Stürzen kopf-über bzw. in jeder anderen Lage aus ca. 2 m auf Beton** zu schützen. Der Wasserrucksack war nach den Fallversuchen unbeschädigt und voll funktionsfähig.

3.4 Membranmodul

3.4.1 Membranwahl

Es wurden Membranen verschiedener Hersteller auf Ihre Eignung überprüft. Getestet wurden die Membran vom Typ UP 150 der Fa. Microdyn-Nadir, Wiesbaden, mit einem Stützgewebe aus PE/PP und einer PES-Membran mit einer Trenngrenze von $0,035 \mu\text{m}$ und Membranen der Fa. Membrana. Von der Fa. Membrana wurden zwei Membranen mit unterschiedlichen Trenngrenzen ($0,04 \mu\text{m}$ und $0,2 \mu\text{m}$), aber gleichem Stützgewebe aus PP untersucht. Die Membran MicroPES® 1FM von Membrana mit der Trenngrenze von $0,04 \mu\text{m}$ zeigte mit $2.000 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar}$ eine vier-

fach höhere Reinwasserpermeabilität als die Membran vom Typ UP 150 der Fa. Nadir mit $500 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$. Die Permeabilität bezieht sich nicht auf die einzelne Membran, sondern wurde von der Fa. Martin Systems bezogen auf eine auf die Membranplatte aufgeschweißte Membran ermittelt. Die Membran MicroPES® 1FM konnte im Keimrückhalt aber nicht die Sicherheit bieten, die für diese Anwendung erforderlich ist. Da die Trenngrenzen der Ultrafiltrationsmembran MicroPES® 1FM allerdings annähernd mit der vom Typ UP 150 übereinstimmt, besteht weiterer Untersuchungsbedarf hinsichtlich der Ursache.

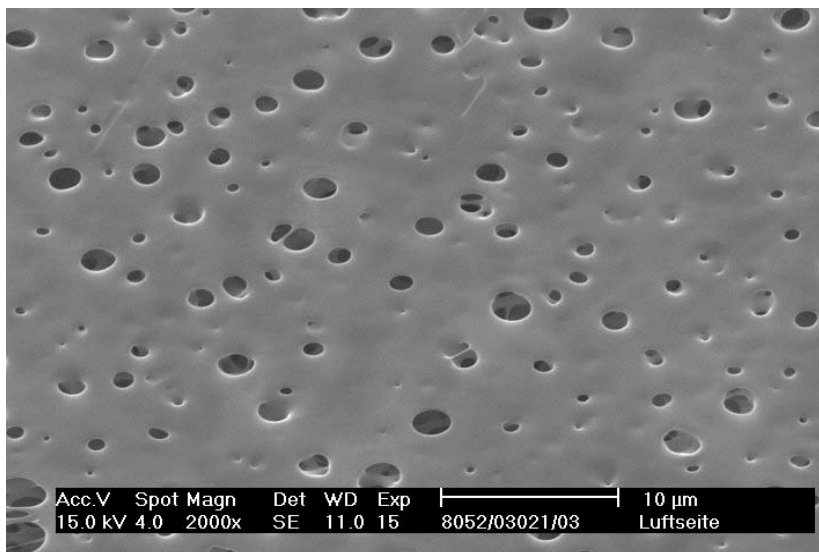


Abbildung 31: MicroPES® 1FM (0,04 µm) Membran von Membrana

Abbildung 31 zeigt eine mikroskopische Aufnahme der Membran MicroPES. Die filterwirksame Struktur befindet sich unter der zu sehenden Oberfläche.

Für die internationalen Feldtests kamen daher ausschließlich Membranen vom Typ UP 150 der Fa. Microdyn-Nadir zum Einsatz.

3.4.2 Modifikation der Zuschlagstoffe zur Stabilisierung der Membranplatten

Das Material der Filterplatte muss vielen Anforderungen gerecht werden. Die optischen Eigenschaften können hierbei außer Acht gelassen werden. Vielmehr sind diejenigen von Bedeutung, die den Umgebungseinflüssen trotzen können. Das Hauptaugenmerk liegt auf ein einwandfrei gefiltertes Abwasser, das am Ende der Filterung entstehen soll. Während des gesamten Betriebes darf das Material selbst das Wasser nicht verunreinigen oder Verschmutzungen hinterlassen.

Da mit den Filtern sogar trinkbares Wasser hergestellt werden soll, dürfen aus dem verwendeten Kunststoff während einer Lebensdauer von 10 Jahren keine Bestand-

teile heraus diffundieren.. Daraus ist zu schließen, dass ein Kunststoff benötigt wird, der auch bedenkenlos in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden kann, da dort ähnliche Voraussetzungen gegeben sind.

Solche Kunststoffe sind z.B. Polystyrol, Polypropylen, Polyethylen und Polyethylenterephthalat. Bei solchen Werkstoffen ist es bekannt, dass sie in der Lage sind, aus ihrer Umgebung Wasser aufzunehmen und speichern zu können. Es wirkte sich nachteilig auf das Filtrat aus, wenn sich Wasser im Gefüge abgelagert und sich dort Bakterien bildeten, die an die Umgebung abgegeben werden. Bei den obig genannten Kunststoffen ist dies nicht der Fall, da sie schlecht hygroskopisch sind, was bedeutet, dass sie kein bzw. sehr wenig Wasser aufnehmen. Die Massen, die dabei eingelagert werden sind so gering, dass sie keine Auswirkungen auf das Endprodukt haben.

Duroplasten weisen eine geringfügig bessere mechanische Stabilität auf als Thermoplasten. Im Gegensatz zu den Thermoplasten lassen sich Duroplasten nach dem Vernetzen nicht mehr thermisch weiterverarbeiten, was ein Warmumformen oder Schweißen, bei dieser Gruppe der Kunststoffe, unmöglich macht. Daraus folgt, dass der Einsatz von Duroplasten nicht möglich ist, da dieser Werkstoff die Anforderungen für unseren Sachverhalt nicht gerecht wird.

Wie oben erwähnt, sind Thermoplasten sehr gut schweißbar. Es können allerdings nur artgleiche Materialien miteinander verbunden werden. Da das Membranstützgewebe, das für diese Filterplatte verwendet wird, aus Polypropylen besteht, muss somit auch die Filterplatte aus diesem Werkstoff hergestellt werden. Falls man für diese Platte einen anderen Thermoplast verwendete, würde sich die Membran nicht mit dem Grundkörper verbinden und ein Filtervorgang wäre nicht möglich.

Die Wärmebeständigkeit kann in unserem Fall vernachlässigt werden. Die Membranfilter werden Temperaturen von 2 °C bis 40 °C ausgesetzt, diesen Bedingungen halten die oben genannten Kunststoffe ohne Probleme stand.

Ein großer Vorteil von Polypropylen ist sein Gewicht. Dieser Werkstoff besitzt eine Dichte von 0,9 g/cm³ bis 1,0 g/cm³ und gehört somit zu den leichtesten thermoplastischen Kunststoffen. Dies wirkt sich positiv auf die Montage und Handhabung der Module aus, was dadurch erleichtert wird.

Ein weiterer Vorteil ist, dass dieser Werkstoff günstig in der Anschaffung ist, da er einen einfachen chemischen Aufbau aufweist. Der Kilopreis beträgt, je nach Abnahmemenge, 1,85 EUR.

Die Firma Martin Systems hat in der Vergangenheit ausschließlich dieses Material verwendet. Dabei hat sich herausgestellt, dass Polypropylen keine negativen Eigenschaften bei dem Kontakt mit Abwasser aufweist.

Der dünnwandige Rahmen für die Aufnahme der Membranen sollte kostengünstig, schnell und mit der erforderlichen Planheit und Maßgenauigkeit hergestellt werden können. Dazu wurden die Bedingungen des Spritzgießverfahrens optimiert und auch ein anderes Verfahren zur Herstellung getestet. Für den gewählten Herstellungsprozess wurden verschiedene Spritzwerkstoffe und Verarbeitungstests mit verschiedenen Kunststoffkompositionen durchgeführt. Die Mischungen bestanden aus Polypropylen mit Zuschlagstoffen wie Glasfaser, Talkum und Glaskugeln. Um die gewünschte mechanische Stabilität zu erreichen wurden Mischungen mit Tecnoprene A 60, Preprop 126 und PP Gf 20 getestet. Schweißversuche mit den verwendeten Mischungen sind in Abbildung 32, Abbildung 33, Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt.



Abbildung 32: Schweißversuch Mischung PP Gf 20 / Tecnoprene



Abbildung 33: Schweißversuch PP Gf 20

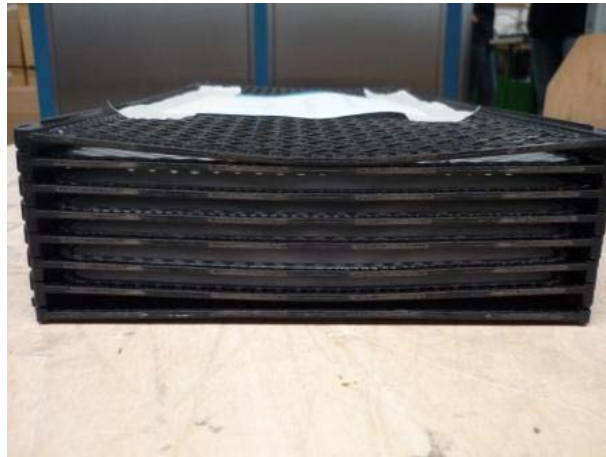


Abbildung 34: Schweißversuch Preprop



Abbildung 35: Schweißversuch Tecnoprene

Bei der Herstellung verziehen sich die Platten durch die auftretenden inneren Spannungen. Deshalb werden die Platten nach dem Spritzgießen mit Holzklötzen beschwert, um den Verzug entgegen zu wirken, damit die Filterplatten trotz alledem verwendet werden können. Die Platten haben ein Gewicht von 180 g und werden im Ergebnis der Spritzversuche aus dem Kunststoff PP GF 20 gespritzt, der eine Schwindung von 0,2335 % aufweist, welche durch folgende Berechnung ermittelt wurde.

$$S = \left(\frac{M_{kW} - M_F}{M_{kW}} \right) \cdot 100\%$$

$$S = \left(\frac{514mm - 512,8mm}{514mm} \right) \cdot 100\% = \underline{\underline{0,2335\%}}$$

S = Schwindung

M_{kW} = Maß am kalten Werkzeug

Damit der Ist-Wert mit dem Soll-Wert übereinstimmt, muss die Schwindung 1,751% betragen gemäß folgender Berechnung:

$$S = \left(\frac{M_{kw} - M_F}{M_{kw}} \right) \cdot 100\%$$

$$S = \left(\frac{514mm - 505mm}{514mm} \right) \cdot 100\% = \underline{\underline{1,751\%}}$$

Das Material (PP TV 20), auf welches das Spritzgießwerkzeug ursprünglich abgestimmt worden ist, wurde durch einen Kunststoff (PP GF 20) ersetzt, der eine bessere Ebenheit für die Platten aufweist. Den Unterschied in der Ebenheit der verschiedenen Kunststoffe zeigt Abbildung 36.

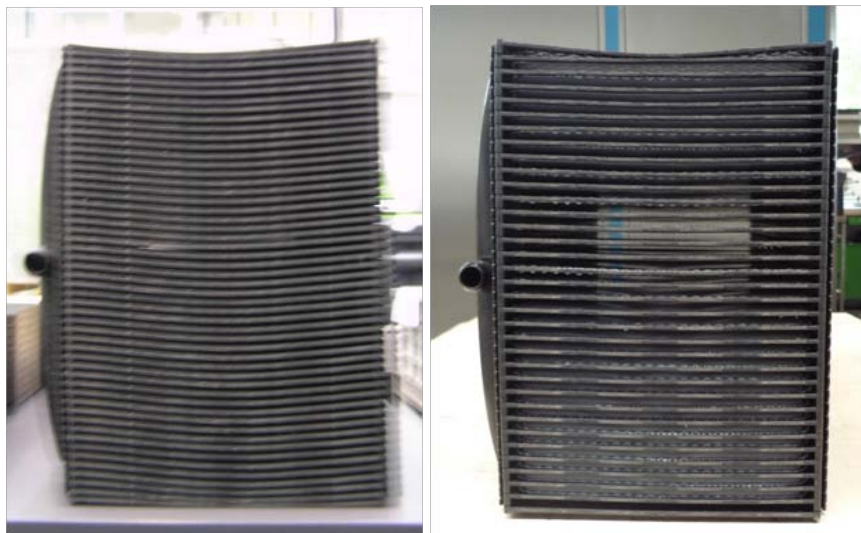


Abbildung 36: Ebenheit der Platten aus PP TV 20 (links), Ebenheit der Platten aus PP GF 20

Der Kunststoff PP GF 20 hat eine niedrigere Schwindung als PP TV 20, weshalb die Ist-Maße nicht mit den Soll-Maßen übereinstimmen. Dies kann aber in Kauf genommen werden, da die Membran ohne größere Probleme auf den Schweißbereich der Platte aufgebracht werden kann. Auch beim Zusammenbau des Moduls mit dem Gestell treten keine Schwierigkeiten auf.

Wie in Abbildung 37 gezeigt, besitzt die Filterplatte eine abgesetzte quadratische Gittergeometrie

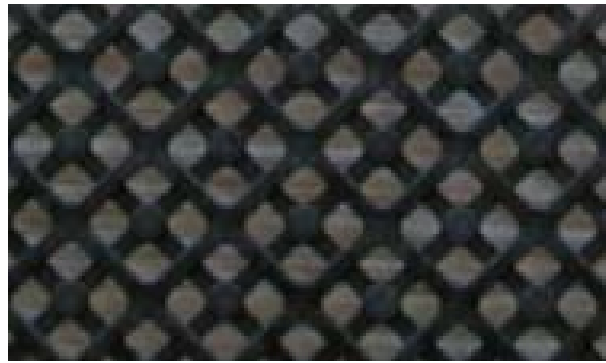


Abbildung 37: Quadratische Gittergeometrie der Filterplatte

Da der Anguss an der Oberkante der Filterplatte angebracht ist, muss der Kunststoff einen relativ langen Fließweg zurücklegen. Hierbei fließt die Formmasse erst am Rand der Form entlang, trifft unten zusammen und füllt dann die Form in Richtung Mitte aus. Der Fließverlauf ist in Abbildung 38 dargestellt.



Abbildung 38: Fließverlauf des Kunststoffes

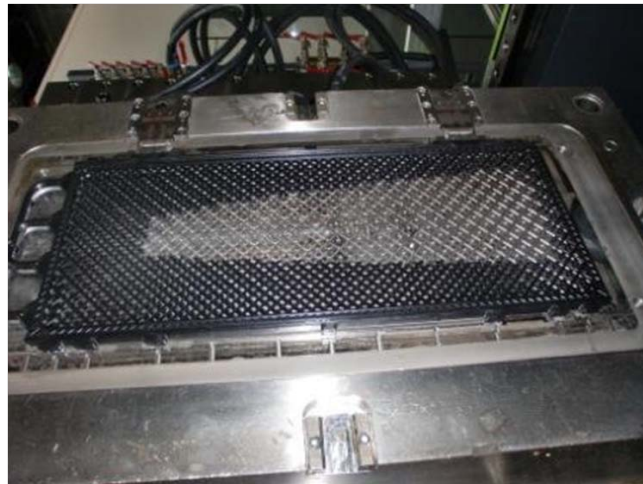


Abbildung 39: Unvollständig gefüllte Platte im Spritzgusswerkzeug

Die Polypropylenmischungen wurden so abgestimmt, dass die Platte komplett gefüllt wird und trotzdem möglichst eben und stabil ist. Eine unvollständig gefüllte Membranplatte ist in Abbildung 39 gezeigt.

Die Filterplatten besitzen derzeit einen Vierfach-Filmanguss, siehe Abbildung 40, an der Oberseite der Platte. Dieser muss nach dem Spritzvorgang durch eine Stanzvorrichtung abgetrennt werden. Der Anguss besitzt ein Gewicht von 18 g.



Abbildung 40: Vierfachanguss der Filterplatte

Abbildung 41 zeigt ein Bild der Stanzvorrichtung, welche mit einem pneumatischen Zylinder arbeitet, der bei Berührung mit der Platte den Anguss abtrennt. Dieser wird anschließend aufgefangen.



Abbildung 41: Stanzvorrichtung zur Abtrennung des Angusses

3.4.3 Variation von Membranstützgeweben zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften

Das Membranstützgewebe gibt der eigentlichen Membrantrennschicht die Stabilität und Reißfestigkeit. Da die Membranen mit dem Rand der Gitterplatte thermischen Verbund eingehen müssen, hat die Verbindungsfähigkeit des Stützgewebes mit der Gitterplatte eine herausragende Bedeutung für die Stabilität und Langlebigkeit der Konstruktion. Deshalb wurden Schweißversuche mit unterschiedlichen Filtergeweben durchgeführt. Die Filterstützgewebe unterschieden sich insbesondere in den Vliesstoffgewichten und der Materialstärke. Es wurden Vliese mit Einsatzgewichten von 50 g/m² bis 200 g/m² und Materialstärken von 200 µm bis 400 µm verarbeitet. Es zeigten sich bei den geringeren Einsatzgewichten und Materialstärken deutliche Qualitätsprobleme beim Schweißprozess. Es kam zu Ungleichmäßigkeiten an der Schweißkante und teilweise sogar zu Fehlstellen, welche in Abbildung 42 zu sehen sind. Die Abbildung 43 der Schweißkontur zeigt den Sollzustand einer formschlüssigen Schweißkante.



Abbildung 42: *Ungleichmäßige Schweißkante (links), Fehlstelle Schweißkante (rechts)*



Abbildung 43: *Schweißkontur*

Im Ergebnis wurden die besten Ergebnisse mit einem Compound aus PP/PE mit 90 g/m² Vliesstoffgewicht und einer Materialdicke von 240 µm erzielt. Dieses Material zeigte die größten Festigkeiten bei Abreissversuchen und ließ sich ohne Qualitätsprobleme verarbeiten.

3.4.4 Variation der Membranschichtdicke zur Verbesserung der Permeabilitäten

Es war vorgesehen die Trennschicht und die Schichtdicke der Membranen von Membrana in weiteren Untersuchungen zu variieren. Aufgrund des weiteren Untersuchungsbedarfs bzgl. des Keimrückhalts wurden diese Versuche vorerst zurückgestellt.

3.4.5 Konstruktive Umsetzung von Einbauten zur Verhinderung einer möglichen Verkeimung der Reinwasserseite

Neben der Integration von Dosiergeräten ist auch die Verwendung von Materialien geprüft wurden, welche antibakteriell wirken können. Im Rahmen dieses Projekts wurde auf die Integration von Silber auf der Reinwasserseite zurückgegriffen.

Als Silbermaterial dienten ca. 3 m² einer gewobenen Stoffbahn aus mit Silber ummantelten Polyamidgarnen, welche von der Statex Produktions & Vertriebs GmbH zur Verfügung gestellt wurde. Ein übliches Membranmodul besteht aus Membranplatten, bei denen das Membranmaterial auf ein Kunststoffskelet, der Membranplatte, aufgelegt und an den Rändern verschweißt wird.

Bei den Silbermembranplatten eines Silbermembranmoduls wird zwischen Membranmaterial und Kunststoffskelet das erwähnte Silbermaterial platziert. Dies geschieht jeweils nur auf einer Seite der Membranplatte. Das Wasser, welches durch die Membran gefiltert wurde, wird auf diese Weise auch in Kontakt mit dem Silbermaterial gebracht. Fixiert wird es mit derselben Schweißnaht wie das Membranmaterial selbst. Ein Bild einer Membranplatte mit eingeschweißter Silberbahn ist in Abbildung 44 dargestellt.



Abbildung 44: Stoffbahn aus Silber, die zwischen Membran und Membranplatte eingearbeitet ist.

Die Ergebnisse der Versuche mit dem entwickelten Silbermodul sind in Kapitel 4.8.4.3 erläutert.

3.5 Erarbeitung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Prüfung

3.5.1 Modulherstellung

Es wurden verschiedene Maßnahmen zur Qualitätskontrolle der gefertigten Filterplatten und der gefertigten Membranmodule auf technische und ökonomische Durchführbarkeit untersucht:

- ➔ Benetzung mit flüchtigem Lösungsmittel und anschließendem Drucktest
- ➔ Warmluft von innen einströmen lassen und von außen mit Wärmebildkameras Lecks detektieren
- ➔ Klassische Nassprüfung mit Mikrowellentrocknung

- ➔ Detektion von Strömungsgeräuschen
- ➔ Module mit Rauch oder Aerosolen beaufschlagen und Fluss detektieren
- ➔ Unterschiede im Fluss zwischen hochmolekularen und niedermolekularen Gasen detektieren
- ➔ Reiner Schweißnahttest: mit einer Art Stempel die freie Membranfläche abdichten und dann durch Anlegen von Unterdruck Defekte in der Schweißnaht detektieren
- ➔ Optische Systeme inkl. X-ray Scanner
- ➔ Staudruckmessungen

Die Recherche der möglichen Qualitätssicherungsmaßnahmen ergab folgende Ergebnisse:

Verschiedene Institute wurden kontaktiert, z.T. wurden Versuche durchgeführt. Es wurde keine geeignete optische Methode (Ultraschall, polarisiertes Licht, X-Ray) gefunden.

Versuche mit IR-Kamera haben gezeigt, dass die IR-Kamera nicht sensibel genug ist, um eine Leckstelle genau zu detektieren. Auch Rauch- bzw. Aerosoldetektion ergab nach Recherchen keinen verfolgbaren Ansatz.

Lediglich die Variante "Abdecken der Platte innerhalb der Schweißnaht" kristallisierte sich als "momentan einzige" gangbare Prüfmöglichkeit heraus. Hierzu wurden erfolgreiche Versuche durchgeführt. Die geschweißten Platten werden zu 100% einer Prüfung unterzogen. Jede einzelne produzierte Platte wird getestet. Bei diesem Test werden die Platten auf eine Maschine gelegt, die eine Eigenanfertigung der Fa. Martin Systems AG und in Abbildung 45 gezeigt ist. Die Platten werden mit Luft aufgeblasen der Druck wird über einen Zeitraum von 30 Sekunden gehalten, um die Dichtigkeit zu gewährleisten.

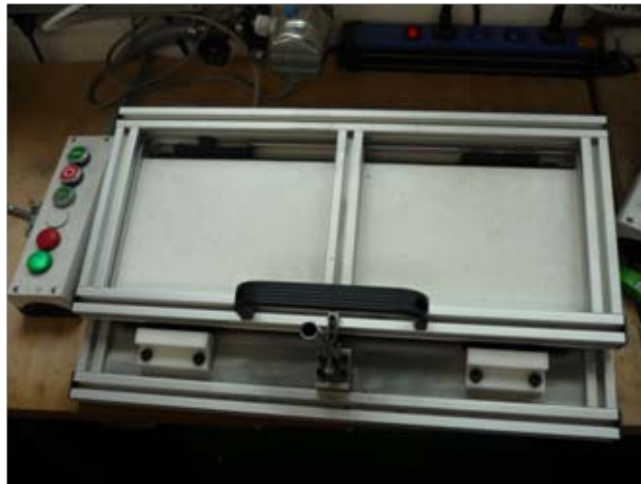


Abbildung 45: Plattenprüfgerät

Alle 30 Stück wird eine Extrakontrolle mit Seifenwasser durchgeführt. Hierzu werden die Platten an den Schweißnähten mit Seifenwasser bestrichen und anschließend wieder mit Luft aufgeblasen. Wenn eine Stelle in der Schweißnaht undicht wäre, würde das Seifenwasser blasen werfen.

Für das Formen der Module, d.h. 50 Platten übereinander stapeln und verschweißen, werden die Platten zu Blöcken mit jeweils zwei vakuumdichten Kanälen verschweißt. Der vakuumdichte Kanal besteht ebenfalls aus Polypropylen und wird ebenso durch Schweißen mit dem Modul verbunden. Dafür werden die fertigen Module in ein Gestell eingesetzt und mit den Kanälen in der Schweißmaschine aus Abbildung 46, in der die Membranen mit den Platten verschweißt wurden, verbunden.



Abbildung 46: Blockschweißwerkzeug

Durch diesen Kanal wird kontinuierlich das Abwasser angesaugt, welches gereinigt werden soll.

Auch hier werden Prüfungen zur Sicherstellung der Dichtheit durchgeführt. Diesbezüglich wird ein Schlauch an dem Kanal angebracht, siehe Abbildung 47, durch den Luft in den Kanal eingeblasen wird und wieder für 30 Sekunden lang gehalten wird. Wie bei den Prüfungen der Membrane, werden alle 30 Stück die Extrakontrolle mit Seifenwasser durchgeführt. In diesem Fall wird die Lösung auf die Schweißnaht des Kanals aufgetragen und abermals wird durch Luftblasen eine undichte Stelle signalisiert.



Abbildung 47: Modulprüfung

3.5.2 Zusammenbau des Wasserrucksacks

Neben den Qualitätstests bei der Herstellung des Membranmoduls werden die Module und der zusammengebaute Wasserrucksack auf Fehler geprüft.

Dies geschieht mit einem Unterdrucktest, in dem eine Vakuumpumpe einen Unterdruck am Membranmodul aufbaut. Die Pumpe wird über ein Referenzanschlusset, bestehend aus Ablaufschlauch, Kugelhahn und Verbindung zum Membranmodul, an das Modul angeschlossen. Dieses Anschlusset entspricht dem in den Wasserrucksack verbauten Teilen. Die Leistung der Pumpe wird über einen Bypass fest eingestellt. Schließt man das Modul an die Pumpe an, so erhöht sich der Unterdruck aufgrund des Widerstandes der Membran. Hat das Modul einen Riss oder ist die Membran aufgrund von Produktionsfehlern undurchlässig, so zeigt sich dies in den Ergebnissen des Unterdrucktests. Auf diese Weise können Module ohne Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit auf Fehler getestet werden.

Dies gilt auch für den zusammengebauten Wasserrucksack. Schließt man die Pumpe direkt an den Ablaufschlauch an, so sollten die Werte denen des zuvor einzeln getes-

teten Membranmoduls entsprechen. Auf diese Weise werden Fehler beim Zusammenbau (Dichtungen vergessen, Verbindungen nicht dicht usw.) aufgedeckt.

3.6 Fazit

Die wesentlichen in diesem Projekt entwickelten und umgesetzten konstruktiven Verbesserungen betreffen das Gehäuse und die Dämmung des Wasserrucksacks.

Durch das Absenken des oberen Gehäuserandes auf ein einheitliches Niveau wurde die Stapelbarkeit wesentlich verbessert. Transportkapazitäten werden damit besser ausgenutzt und die Kosten für den Transport perspektivisch gesenkt.

Die aber wohl wichtigste Veränderung ist die Anpassung der Dämmung auf die inneren Konturen des Gehäuses und das Verwenden von verschiedenen Rohgewichten und damit Steifigkeiten beim Dämmmaterial. Die neue Dämmung hat Ihre Eignung in Falltests unter Beweis gestellt und stellt somit eine wesentliche Verbesserung bezüglich des sicheren Betriebs auch bei rauen Transportbedingungen dar.

Bezüglich des Membranmoduls wurde durch die Wahl eines neuen Kunststoffes für die Membranplatten die Ebenheit dieser Platten erhöht und durch Optimierung der Stüttschichtdicke die Verschweißbarkeit verbessert. Zudem wurde eine alternative Membran mit einer höheren Permeabilität erfolgreich im Modul verarbeitet. Neben der höheren Permeabilität könnte auch die Tatsache von Vorteil sein, dass die Membran kein Glycerin als Schutz vor Austrocknung benötigt. Da die alternativen Membranmodule aufgrund des Zeitpunkts der Fertigstellung nur über ein paar Wochen getestet werden konnten, wird von einer Umstellung der Wasserrucksäcke auf diese Membran vorerst abgesehen.

Die mögliche Verwendung alternativer Membrane im Membranmodul zeigt jedoch, dass der Wasserrucksack in Zukunft bei eventuellen Verbesserungen und Neuerungen der Membranmaterialien dem Fortschritt angepasst werden kann.

4 Versuchsreihen der Kleinserie

4.1 Infrastruktur und Anlagenbetrieb

4.1.1 Aufbau Versuchsfeld

Zur Durchführung der Langzeittests mit der Kleinserie wurde in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Wasserbau und Umwelttechnik der Universität Kassel eine Versuchsanlage errichtet.

Die in dieser Anlage verwendeten Wasserrucksäcke entsprechen der in Kapitel 3 beschriebenen Weiterentwicklung (Version 1.0) der im Vorgängerprojekt entworfenen Kleinserie, um eine Vergleichbarkeit zu der aktuellen Version des Wasserrucksacks zu gewährleisten. Dabei sind auch der neu entwickelte Kugelhahn und der im Querschnitt reduzierte 10 mm Ablaufschlauch zum Einsatz gekommen. Das Schema der Anlage aus Abbildung 48 zeigt, dass die Anlage mit bis zu zehn Wasserrucksäcken gleichzeitig betrieben werden kann. Um die Anlage kontinuierlich mit Rohwasser zur betreiben, wurde eine pumpenbetriebene Wasserleitung vom Fluss „**Ahna**“ in die Versuchsanstalt gelegt. Die Vorlage wird, gesteuert über ein Füllstandsrelais, von der Ahna-Leitung mit Oberflächenwasser gespeist. Die Wasserrucksäcke werden über Pumpen in der Vorlage mit Rohwasser beschickt und haben einen Überlauf, der zurück in die Vorlage führt. Um genügend Permeat für einzelne Versuche und verschiedene Betriebsweisen zur Verfügung zu haben, werden alle Permeatabläufe zur Speicherung in einen Permeattank geführt. Ein Foto eines Teils der Anlage ist in Abbildung 49 dargestellt.

Je nach Betriebsweise sind die Wasserrucksäcke mit pneumatisch betriebenen Ventilen am Ablauf oder am Bodenablass ausgestattet. Herzstück der Anlage ist eine Steuereinheit, über welche Pumpen und Ventile gesteuert sowie die Daten aufgezeichnet werden. Erfasst werden der Durchfluss der Wasserrucksäcke, der Wasserstand in den Wasserrucksäcken, die Wassertemperatur und die Trübung des Rohwassers.

Zur Bedeutung des Umstandes, dass als Wasser für alle Versuche in Kassel Oberflächenwasser aus dem Fluss „**Ahna**“ verwendet wurde, finden sich weiter wichtige Hinweise in Abschnitt 4.3.2 und in Abschnitt 6.1.



Abbildung 49: Ansicht der Versuchsanlage zur Durchführung des Testprogramms in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Wasserbau und Umwelttechnik der Universität Kassel

4.1.2 Betriebsweisen

Um den Einfluss von unterschiedlichen Betriebsweisen auf die hydraulische Leistungsfähigkeit und den Keimrückhalt zu untersuchen, wurden an der Versuchsanlage an 8 Wasserrucksäcken vier verschiedene Betriebsweisen untersucht. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Betriebsweisen (BW) gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht der Betriebsweisen in den Langzeittests

Betriebsweise	Wasserrucksack	Betriebszeit	Filtrationspausen im Betrieb	Zustand über Nacht
1	P1.1 P1.2	kontinuierlich	nein	Filtration
2	P2.1 P2.2	tagsüber	2 - 3	teil- oder vollgefüllt
3	P3.1 P3.2	tagsüber	nein	nach Tagesbetrieb mit Permeat gereinigt, teilgefüllt
4	P4.1 P4.2	tagsüber	nein	teil- oder vollgefüllt

Allen Betriebsweisen war gemeinsam, dass die Befüllung mit der Pumpe intervallartig durchgeführt und in regelmäßigen Abständen für mehrere Minuten ausgesetzt wurde. Damit sollte simuliert werden, dass die Benutzer im Einsatzfall keine kontinuierliche Befüllung aufrechterhalten können und der Wasserrucksack während der Filtration immer für einige Minuten nicht befüllt wird.

Die in Tabelle 2 benannten Betriebsweisen werden exemplarisch in Abbildung 50 bis Abbildung 53 in repräsentativen Auszügen dargestellt.

In Betriebsweise 1 wurden die Wasserrucksäcke kontinuierlich betrieben (24 h / 7 d). Hierbei stand die hydraulische Leistungsfähigkeit bei maximaler, ununterbrochener Filtrationsdauer im Vordergrund. Abbildung 50 zeigt beispielhaft den Wasserstand und den Durchfluss eines in Betriebsweise 1 betriebenen Wasserrucksackes. Die Schwankungen im Wasserstand und im Durchfluss spiegeln die intervallartige Befüllung wieder. Es ist zu erkennen, dass ohne Unterbrechungen filtriert wird.

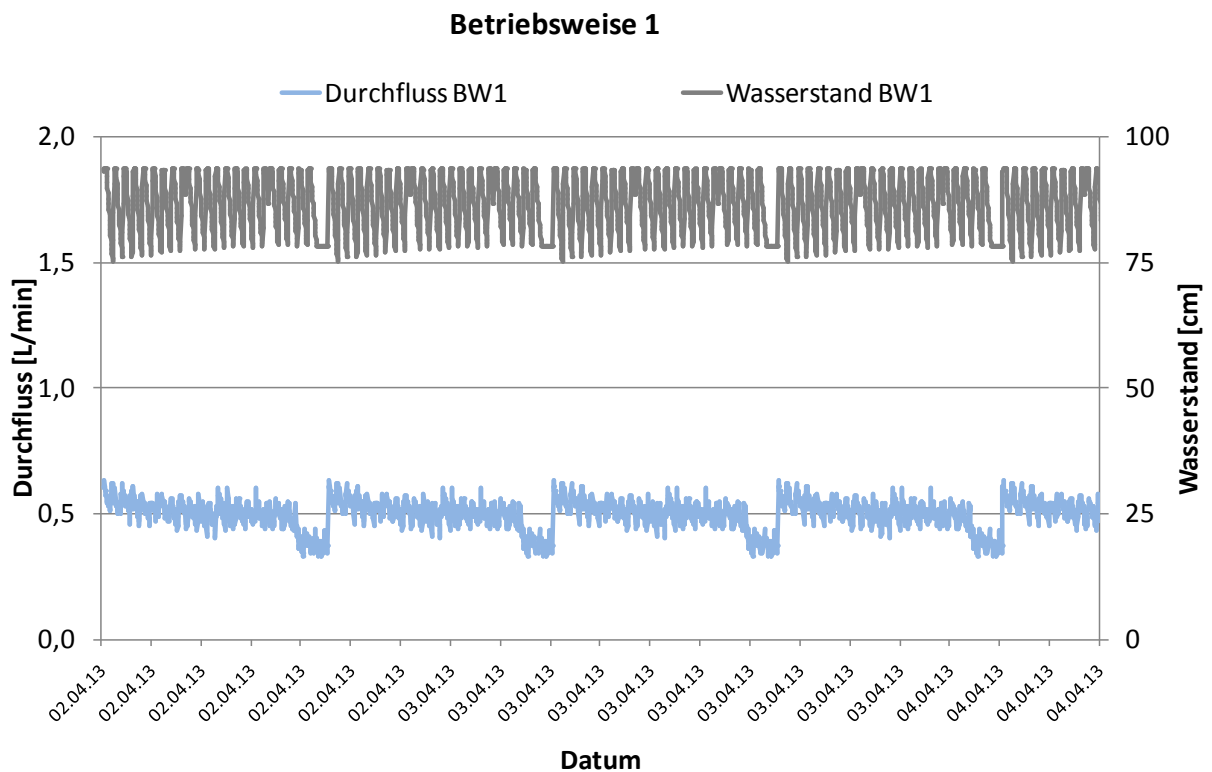


Abbildung 50: Für Betriebsweise 1 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands (repräsentativer Auszug)

Die anderen Betriebsweisen wurden einem möglichen realen Betrieb im Einsatzfall nachempfunden und nur tagsüber betrieben.

Da feste Betriebszeiten im Einsatzfall unwahrscheinlich sind, startete und endete die Filtration nicht immer zur selben Zeit. Die Filtrationsdauer lag in den meisten Fällen zwischen sechs und zwölf Stunden pro Tag.

Unterschiede bestanden in der Filtrationsdauer und dem Zustand des nichtbetriebenen Wasserrucksacks über Nacht.

In Betriebsweise 2 wurden während des Tagesbetriebs im Gegensatz zu den Betriebsweisen 3 und 4 zwei bis drei Filtrationspausen vorgesehen. Diese Pausenzeiten lagen in den meisten Fällen zwischen einer und drei Stunden und sind in Abbildung 51 exemplarisch dargestellt. In den Pausenzeiten fanden kein Durchfluss und keine Veränderung des Wasserstandes statt. Je nach Füllstand bei Filtrationsende waren die Rucksäcke über Nacht teil- oder vollgefüllt, da der Permeatablauf durch ein Ventil geschlossen wurde.

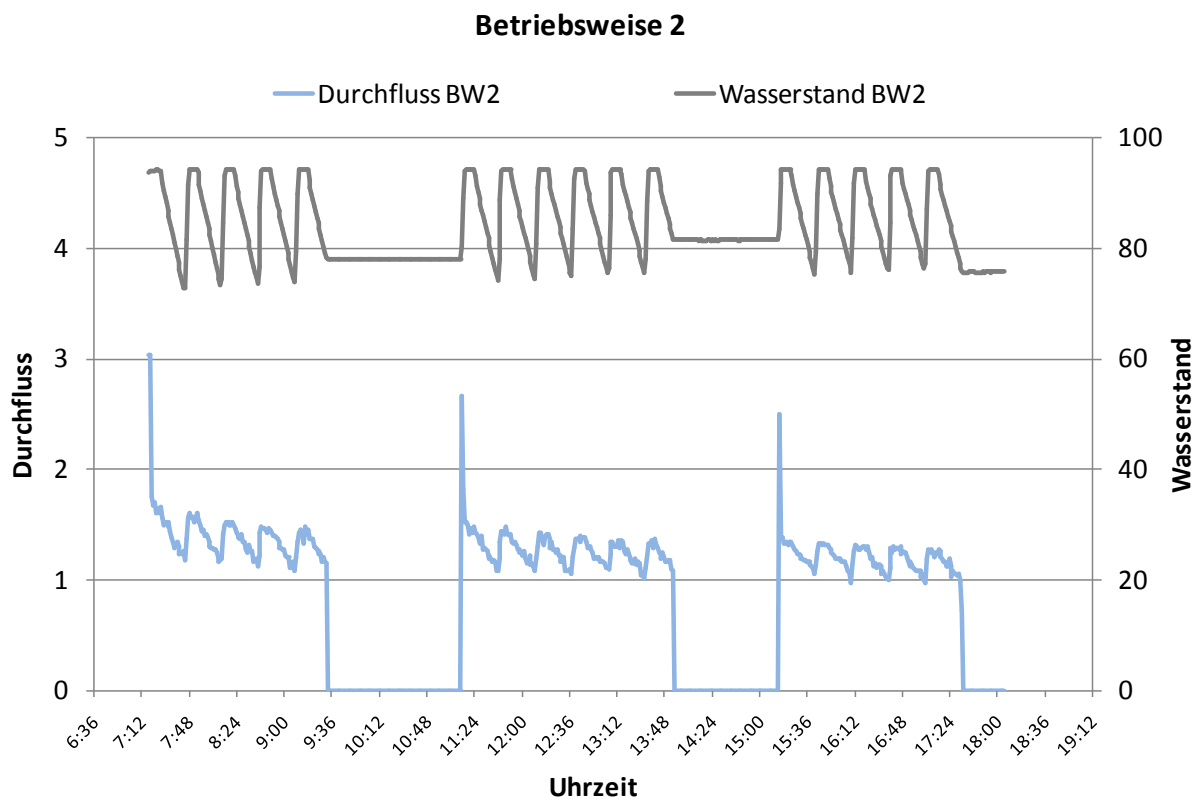


Abbildung 51: Für Betriebsweise 2 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands (repräsentativer Auszug)

Die Wasserrucksäcke mit den Betriebsweisen 3 und 4 wurden über Tag ohne Filtrationspausen betrieben. Jedoch wurde bei Betriebsweise 3 vor der nächtlichen Ruhezeit eine ein- bis zweimalige Spülung bzw. Reinigung über den Bodenablass mit dem gesammelten Permeat aller Wasserrucksäcke durchgeführt. Zudem wurde die Filtration bei Betriebsende nicht über ein Ventil gestoppt, so dass diese zwei Wasserrucksäcke so lange leer liefen, bis der Wasserdruck für eine Filtration nicht mehr ausreichend

te. In Abbildung 52 ist deutlich zu erkennen, dass die Filtration tagsüber nicht unterbrochen und die Wasserrucksäcke am Ende des Versuchstages entleert wurden.

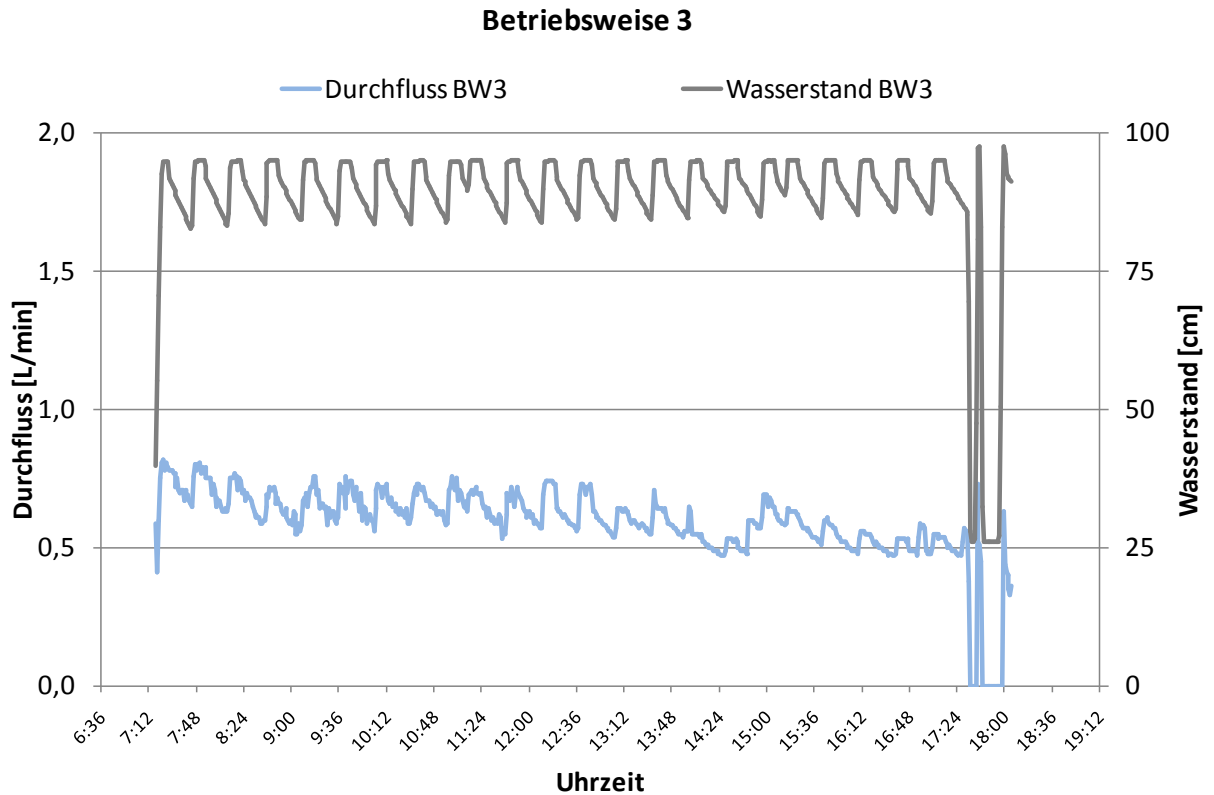


Abbildung 52: Für Betriebsweise 3 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands(repräsentativer Auszug)

Betriebsweise 4 unterscheidet sich, abgesehen von den Spülungen nach dem Tagesbetrieb, von Betriebsweise 3 noch darin, dass die Filtration am Ende des Versuchstages durch ein Ventil gestoppt wurde, siehe Abbildung 53.

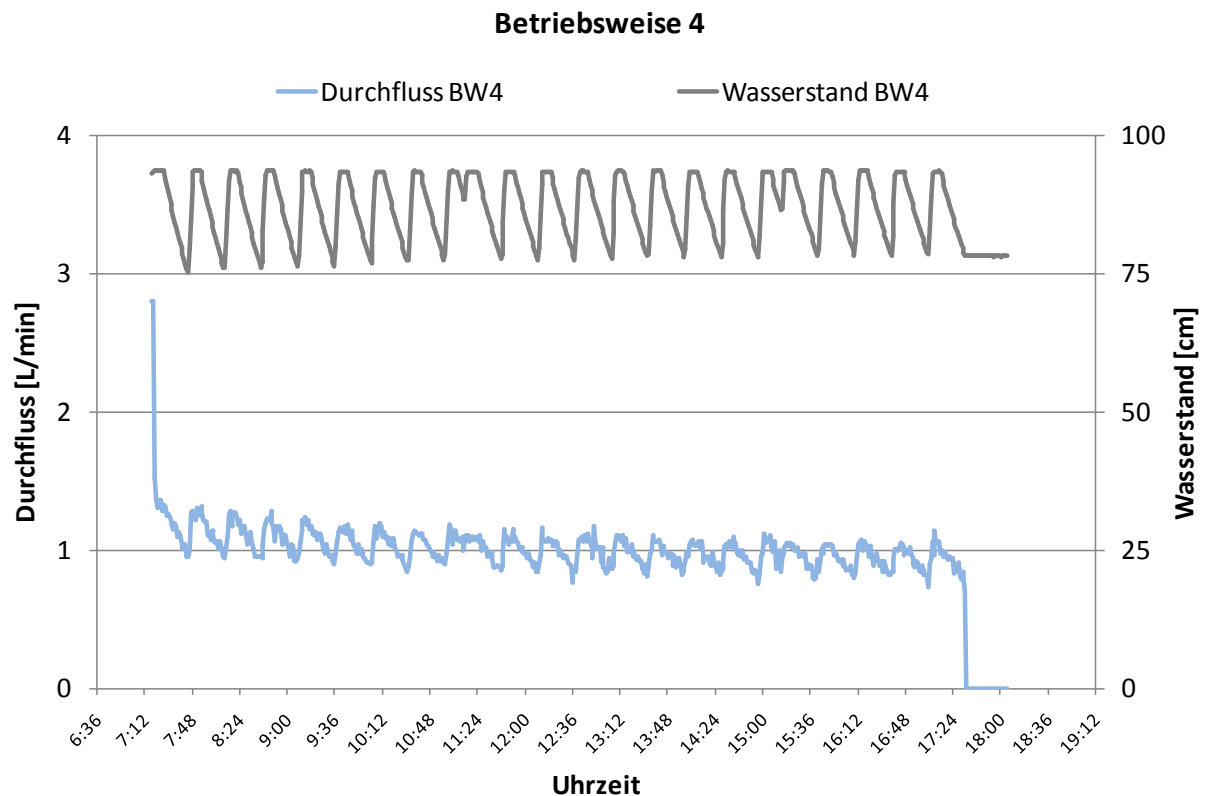


Abbildung 53: Für Betriebsweise 4 typischer Verlauf des Durchflusses und des Wasserstands(repräsentativer Auszug)

4.1.3 Membranmodule

Abgesehen von der Testreihe in Kapitel 4.5 wurden in den Versuchen ausschließlich Membranmodule mit der Membran vom Typ UP 150 der Fa. Microdyn-Nadir verwendet. Diese Module sind auch in den im realen Einsatz befindlichen Wasserrucksäcken verbaut. In der oben angesprochenen Testreihe wurde ein Modul mit einer Membran der Fa. Membrana eingesetzt. Die Kenndaten der beiden Membranen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Kenndaten der verwendeten Membranmaterialien

Bezeichnung	UP150	1FM
Hersteller	Microdyn Nadir	Membrana
Membranfläche	ca. 10 m ²	ca. 10 m ²
Material Membran	PES	PES
Material Stützgewebe	PE/PP	PE/PP
Trenngrenze	150 kDa / 0,035 µm	
Nominaler Porendurchmesser		0,04 µm
Permeabilität ¹⁾	500 L/m ² *h*bar	2.000 L/m ² *h*bar
pH-Bereich	0 - 14	1 - 12
Schutzschicht vor Austrocknung bei Auslieferung	Glycerin	nicht nötig
¹⁾ ermittelt an der auf der Membranplatte aufgeschweißten Membran		

4.2 Methodik

4.2.1 Durchflussmessung

Damit die Hydraulik der Wasserrucksäcke durch die Durchflussmessung nicht beeinflusst wird, wurden magnetisch induktive Durchflussmesser mit einem Innendurchmesser von 8 mm bis 10 mm verwendet. Um eine ausreichende Messgenauigkeit zu gewährleisten, müssen diese Geräte im vollgefüllten Zustand betrieben werden. Da bei den Befüll- und Entleerungsvorgängen immer wieder Luft in das System eingetreten ist, kam es zu durch Luftblasen verursachten Schwankungen in den angezeigten Werten des Messgerätes zwischen 0,1 L/min und Werten von über 10 L/min.

Tests haben ergeben, dass Werte unter 0,1 L/min als Grundrauschen der Geräte gewertet werden können und ein realer Durchfluss mit Werten größer 4 L/min nicht erreicht wird. Zudem wurden alle Werte außerhalb dieses Bereiches und die Werte, bei denen die vorigen und die nachfolgenden zehn Werte ebenfalls außerhalb dieses Bereiches liegen, als "kein Durchfluss" gewertet und bei der Mittelwertbildung und der Filtrationsdauer nicht berücksichtigt.

4.2.2 Mikrobiologie

Die Keimzahlen sind in den flüssigen Medien (Permeat und Rohwasser) sowie auf den wasserführenden Oberflächen verschiedener Anbauteile und im Inneren der Ablaufschläuche bestimmt worden.

Die Bestimmung der Keimzahlen von *Escherichia coli* (E.coli) und Gesamtcoliformen Bakterien (Ges.Col.) wird mittels Compact Dry EC Platten mit Mischester Membranfilter durchgeführt. Die Bestimmung der Intestinalen Enterokokken (I.E.) erfolgt mittels Compact Dry ETC Platten mit Mischester Membranfilter. Die Gesamtkeimzahl (GKZ) wird nach einer Bebrütung bei 22 °C bzw. 36 °C mittels Compact Dry TC Platten mit Mischester Membranfilter bestimmt.

Bei den drei erstgenannten Bakterienarten handelt es sich um sogenannte Indikatorkeime für menschliche und tierische Fäkalverschmutzungen. Diese werden stellvertretend für Krankheitserreger untersucht. Die Angaben dieser Keimzahlen sind bezogen auf ein Wasservolumen von 100 mL.

Die GKZ hingegen gibt an, wie viele Keime bzw. Bakterien sich insgesamt in 1 mL Wasser befinden. Bei der GKZ-Bestimmung findet keine Differenzierung der Bakterien statt, folglich ist die GKZ unspezifisch

Nach Schoenen (2011) erlauben weder erhöhte Ges.Col. noch GKZ eine eindeutige Aussage über das Vorkommen von Krankheitserregern. Coliforme Bakterien sind demnach keine eindeutig abgrenzbare Gruppe. Die Eingruppierung erfolgt in erster Linie über die Stoffwechsellistung und nicht über die Herkunft oder Verbreitung. Ges.Col. kommen v.a. in der Umwelt vor, im Darm vorkommende coliforme Keime hingegen sind i.d.R. genau identifizierbar. Ges.Col. sind im Trinkwasser kein Hinweis, wohl aber ein Indiz für eine mögliche Kontamination mit Krankheitserregern.

Die unspezifische GKZ hat in der Trinkwasserverordnung (2011) keinen eindeutigen Grenzwert. Es heißt lediglich, dass auf anomale Veränderungen zu achten ist. Eine hohe GKZ gibt laut Schoenen (2011) keinen Anhalt für eine fäkale Verunreinigung. Eine alleinige Beurteilung auf Basis der GKZ kann zu einer Fehlbeurteilung führen.

Für die bakteriellen Untersuchungen von Bauteiloberflächen wurde Glaswolle eingesetzt. Die getesteten Ablaufschläuche wurden der Länge nach aufgeschnitten und mit Glaswolle ausgewischt. Die „kontaminierte Glaswolle“ wird dann mit 10 mL sterilem Wasser versetzt und 1 mL dieses „kontaminierten“ Wassers direkt auf die Auswertepplatten gegeben.

Des Weiteren wurden die Oberflächen von einigen Bauteilen (z.B. Kugelhahn, Winkelstück) sowie von Schläuchen mit Glaswolle ausgewischt. Im Anschluss wurde die Glaswolle in 100 mL steriles Wasser aufgenommen. Diese 100 mL werden dann über einen Membranfilter filtriert. Die Membranfilter werden im Anschluss auf die Auswertepplatten gelegt.

Die Leistungsfähigkeit eines Filtrationssystems im Hinblick auf die Entfernung von lebensfähigen Bakterien und Viren, die sich weiterhin unter bestimmten Bedingungen vermehren können, wird wegen des zahlenmäßig hohen Vorkommens mit Hilfe einer logarithmischen Beschreibung ausgedrückt. Um die mikrobiologische Filtrationsleistung anzugeben, wird der logarithmic reduction value (LRV) verwendet, der folgendermaßen definiert ist:

$$\text{LRV} = \log_{10} (C_{\text{zu}}/C_{\text{ab}}) = \log_{10} (C_{\text{zu}}) - \log_{10} (C_{\text{ab}})$$

mit: C_{zu} = Zulauf- bzw. Rohwasserkonzentration in [cfu/100ml]

C_{ab} = Ablauf- bzw. Filtratkonzentration in [cfu/100ml]

Zur Verdeutlichung wird das Beispiel einer Rohwasserbelastung von 1.000.000 (entspricht 10^6) Bakterien [cfu/100ml] betrachtet. Eine Reduzierung dieser Bakterienzahl auf 100.000 (10^5) [cfu/100ml] entspricht somit einer 1-log-Reduktion bzw. einem LRV von 1. Prozentual geht damit eine Bakterienverminderung von 90% einher. Diese Betrachtung lässt sich weiter fortsetzen (ohne Angabe der Einheit):

Reduktion auf 10.000 (10^4)	LRV = 2	prozentual: 99%
Reduktion auf 1.000 (10^3)	LRV = 3	prozentual: 99,9%
Reduktion auf 100 (10^2)	LRV = 4	prozentual: 99,99%
Reduktion auf 10 (10^1)	LRV = 5	prozentual: 99,999%
Reduktion auf 1 (10^0)	LRV = 6	prozentual: 99,9999%

Der LRV wird im Weiteren verwendet, wenn die Auswirkungen der Filtration des Wasserrucksacks auf mikrobiologische Parameter (E.coli, I.E., Ges.Col.) dargestellt und diskutiert werden.

Der Rückhalt von Viren wurde im aktuellen Forschungsprojekt durch das Umweltbundesamt (UBA) untersucht, siehe Anlage, und ist nicht Gegenstand dieser Betrachtungen.

4.3 Langzeittests Hydraulik und Mikrobiologie

4.3.1 Vorbemerkungen

In allen Betriebsweisen des Langzeittests wurden Membranmodule der Fa. Martin Systems vom Typ FM 10 mit einer Membranfläche von ca. 10 m² verwendet, welche im Vorgängerprojekt entwickelt wurden und auch im realen Einsatz verwendet wer-

den. Die Versuchsphase für den Vergleich der verschiedenen Betriebsweisen im Langzeittest erstreckte sich über einen Zeitraum von 221 Tagen. Darüber hinaus wurde jeweils ein Wasserrucksack in Betriebsweise 1 und Betriebsweise 4 länger betrieben, um die Leistungsfähigkeit des Gerätes über den maximal im Projekt möglichen Zeitraum zu ermitteln.

Von Beginn an sind E.coli, I.E. und Ges.Col. bestimmt worden. Im weiteren Verlauf wurde zusätzlich die GKZ bestimmt.

Bei der Probenauswertung kann es zu Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze kommen. Liegt ein Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze, kann der reale Wert nicht ermittelt werden und kann in diesem Fall jeden Wert zwischen 0 cfu und dem Bestimmungsgrenzwert annehmen. Für die durchgeführten Auswertungen wurden Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf 1 cfu pro Bezugsvolumen gesetzt.

4.3.2 Rohwasserqualität und Temperatur

Als Rohwasserquelle wurde der Fluss „**Ahna**“ genutzt. Bei starken Regenfällen wird dieser als **Entlastung des Mischwassersystems der Stadt Kassel** verwendet. Damit schwankt das Rohwasser der Anlage bezüglich Feststoffgehalt, Keimbelastung, Temperatur, Trübung und Inhaltsstoffen abhängig von den klimatischen Bedingungen und bietet somit eine gute Grundlage für die Versuche mit den Wasserrucksäcken bezüglich der hydraulischen und bakteriellen Leistungsfähigkeit.

Allerdings ist die Frage zu stellen, inwieweit die Wasserqualität der Ahna derjenigen entspricht, die im Einsatzfall bei Katastrophen oder gar bei Dauerversorgung gegeben ist. Bereits an dieser Stelle kann gesagt werden, dass die Wasserqualität der Ahna in Bezug auf Höhe wie auch Schwankung der verschiedenen Belastungsparameter einen „worst case“ für den Notfalleinsatz und – im Falle von Rohwasser aus Brunnen etc. – auch den Dauerbetrieb darstellt. **Eine kritische Würdigung dieses Umstandes erfolgt in Abschnitt 6.1.**

Während der Versuchsphase wurden Feststoffgehalte in einem Spektrum unterhalb der Bestimmungsgrenze bis zu 25 mg TS/L ermittelt.

In Abbildung 54 ist erkennbar, dass auch die Trübung starken Schwankungen unterlag. In Extremfällen wurden Trübungen von über 100 FNU erreicht. Der Median der Trübung lag bei 17,3 FNU und der Mittelwert bei 27,4 FNU.

Jahreszeitlich bedingt lag die Rohwassertemperatur im dem Versuchszeitraum, der sich von August 2012 bis November 2013 erstreckte, zwischen 7 °C und 23 °C.

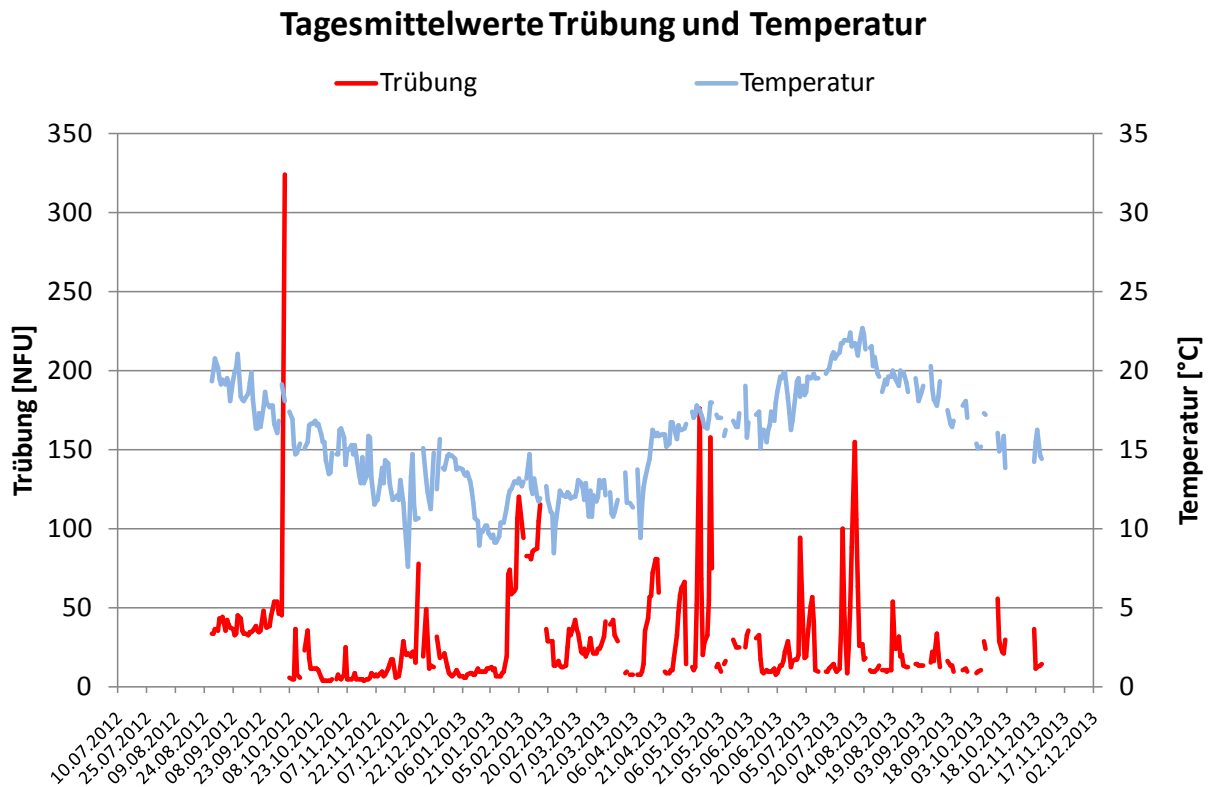


Abbildung 54: Schwankungen der Temperatur und der Trübung des Rohwassers

Die Schwankungsbreite der mikrobiologischen Belastung des Rohwassers ist in Tabelle 4 gezeigt. Eine zusätzliche Veränderung der Rohwasserqualität wurde im Laufe des Projektes vorgenommen. Hierfür ist die Vorlage mit 5 % Abwasser aus dem Zufluss der Vorklärung der Kläranlage Kassel vermischt worden.

Tabelle 4: Schwankungsbereich der bakteriellen Rohwasserbelastung

	E.coli	Ges.Col.	I.E.	GKZ 22 °C	GKZ 36 °C
	[cfu/100 mL]			[cfu/mL]	
Rohwasserbelastung mit 5% ZVK	470.000	1.635.000	1.165.000	> 1.000.000	117.000
max. Rohwasserbelastung ohne ZVK	135.000	3.200.000	48.050	> 400.000	> 400.000
min. Rohwasserbelastung	unterhalb der Bestimmungsgrenze				3

Es sei an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, dass in allen nachfolgend dargestellten Abbildungen zur hydraulischen Leistungsfähigkeit keine signifikante Abhängigkeit der diversen Fluxverläufe der untersuchten Wasserrucksäcke zu dem Rohwasserparameter Trübung festgestellt werden konnte.

Temperaturänderungen wirken sich auf den Flux des Wasserrucksacks aus. Mit sinkender Temperatur fällt aufgrund der sich ändernden Eigenschaften des Rohwassers auch der zu erreichende Flux.

Zusätzlich könnte die Temperatur auch einen Einfluss auf die Durchlässigkeit der biologischen Deckschicht haben. Die biologische Aktivität in der sich im laufenden Betrieb ausbildenden Deckschicht auf der Membran hält diese durchlässig und verhindert ein Erliegen des Durchflusses auch bei langen Betriebszeiten. Niedrige Temperaturen könnten diese Aktivität verringern und somit zusätzlich den Flux reduzieren.

4.3.3 Kontinuierlicher Betrieb 24 h / 7 d (Betriebsweise 1)

Um die Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit des Membranmoduls auch über längere Zeit, als im Versuchszeitraum zur Verfügung stand, zu untersuchen, wurde ein Wasserrucksack mit einem Modul ausgestattet, welches bereits vor Versuchsbeginn über einen Zeitraum von 40 Tagen in Betrieb war, anschließend gechlort und in Trinkwasser gelagert wurde (P 1.1). Der zweite Wasserrucksack (P 1.2) in dieser Betriebsart wurde mit einem neuen Modul ausgestattet.

In Abbildung 55 sind der Flux und die Temperatur als Tagesmittelwerte dargestellt.

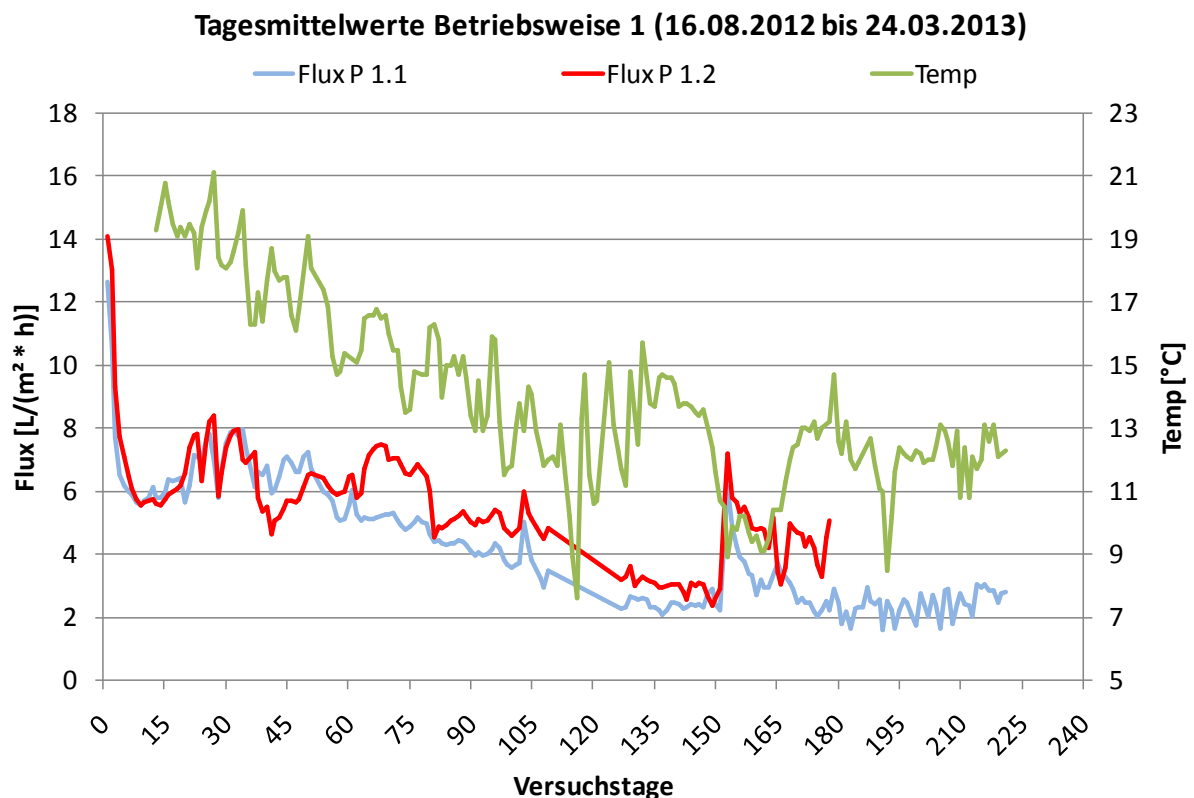


Abbildung 55: Betriebsweise 1: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P 1.1, P 1.2

Beide Wasserrucksäcke begannen mit einem mittleren Flux, der zwischen 12 L/m²*h und 14 L/m²*h lag. Dieser sank jedoch bereits nach zwei Tagen auf ca. 7 L/m²*h ab und lag nach einem Betrieb von 151 Tagen zwischen ca. 2,2 L/m²*h und 2,9 L/m²*h. Der darauf folgende Anstieg auf über 6 L/m²*h erklärt sich durch die Reinigung der beiden Wasserrucksäcke am 14.01.2013 (Tag 152).

Im Rahmen dieser Reinigung wurden beide Wasserrucksäcke zuerst mit Rohwasser und dann mit Permeat gespült. Anschließend folgte eine kurze Filtrationsphase mit Permeat.

Der durch die Reinigung erhöhte Flux fiel nach einigen Tagen wieder auf Werte von ca. 1,8 L/m²*h bis 3,0 L/m²*h zurück. Zu diesem Zeitpunkt wurde P 1.2 nach einem Zeitraum von 178 Tagen außer Betrieb genommen. Der mittlere Flux über den gesamten Zeitraum lag für P 1.2 bei ca. 5,5 L/m²*h. P 1.1 erzielte über einen Zeitraum von 221 Tagen einen mittleren Flux von ca. 4,2 L/m²*h.

Der Wasserrucksack P.1.1 wurde im Rahmen dieses Projekts noch länger betrieben. Insgesamt wurde ein Betriebszeitraum von 340 Tagen bis zum 22.07.2013 untersucht. Neben den zwei Reinigungen durch eine Permeat- bzw. Trinkwasserspülung wurde am 18.06.2013 (Tag 307) eine Reinigung mit Chlor durchgeführt. Abbildung 56 zeigt den Flux in Tagesmittelwerten über diesen Zeitraum.

Über den gesamten Zeitraum wurde ein mittlerer Flux von 4,2 L/m²*h erzielt und der mittlere Flux über die letzten 10 Tage lag bei 4,75 L/m²*h.

Neben der hydraulischen Leistungsfähigkeit wurde auch der Rückhalt von Bakterien untersucht. Die Ergebnisse der Bakterienuntersuchungen dieser Betriebsweise sind für einen der zwei betriebenen Wasserrucksäcke in Abbildung 57 dargestellt.

Die Proben sind zwischen dem 21.08.2012 (Tag 6) und dem 26.11.2012 (Tag 103) aus dem laufenden Betrieb ohne vorherige Filtrationspause gezogen und ausgewertet worden. In diesem Zeitraum wurden 17 bakterielle Untersuchungen durchgeführt, wobei die zeitliche Verteilung der Probenahme schwankt. An den ersten beiden Tagen (21.08 und 22.08) wurden jeweils drei Proben genommen. Danach erfolgte an jedem Probenstag lediglich eine Probenahme. Während des Beprobungszeitraumes sind 118,3 m³ gefiltert worden.

Tagesmittelwerte Betriebsweise 1 (16.08.2012 bis 22.07.2013)

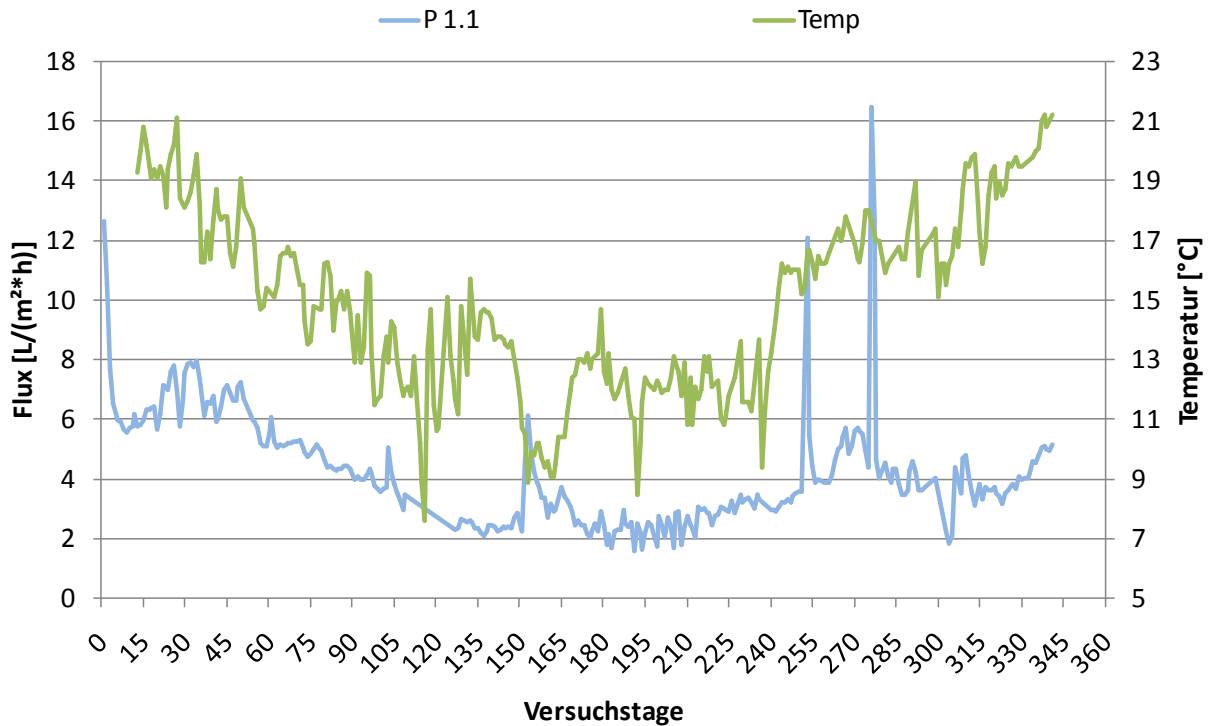


Abbildung 56: Flux und Temperatur in Tagesmittelwerten über den gesamten Betriebszeitraum des Wasserrucksacks P 1.1 in Betriebsweise 1

Betriebsweise 1: LRV-Reduktionen

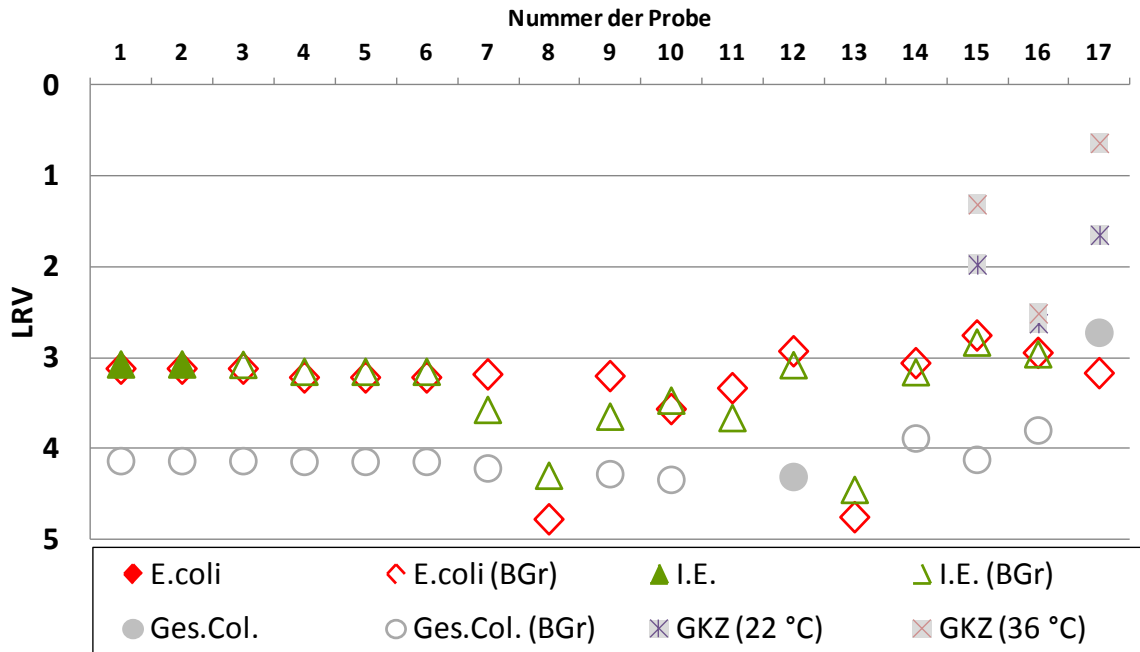


Abbildung 57: Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 1, Wasserrucksack P 1.1

Die bakteriellen Untersuchungen der Betriebsweise 1 führten bei E.coli zu keinem Nachweis. Sämtliche Permeatproben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Es ergibt sich ein maximaler LRV von 4,8. Die Bestimmung der I.E. führte zu lediglich zwei Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze mit LRVs von je 3,1, alle weiteren lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze mit einem maximalen LRV von 4,5. Die Auswertung der Ges.Col. führte ebenfalls nur zu zwei Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze mit LRVs von 2,7 und 4,3. Die restlichen Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze mit einem maximalen LRV von 5,3.

Die GKZ (22 °C) wurde mit Werten zwischen 20 cfu/mL und 70 cfu/mL bestimmt. In der Folgezeit stiegen die Werte für GKZ auf über 3.000 cfu/mL an. Jedoch sei hier auf die GKZ-Bestimmung des Umweltbundesamtes (UBA) in diesem Bericht verwiesen. Das UBA führte zwei verschiedene GKZ-Bestimmungen durch, zum einen nach DIN EN ISO 6222 (1999) und zum anderen nach dem DEV-Verfahren. Hierbei unterscheidet sich lediglich das Anzuchtmedium. Die Ergebnisse des UBA können den Schluss zulassen, dass es sich bei den GKZ v.a. um oligotrophe Umweltkeime handelt. Grund hierfür ist eine deutlich stärkere Besiedlung nach der ISO-Anzucht. Das ISO-Nährmedium enthält im Vergleich zum DEV-Medium ein geringeres Nährstoffangebot, an welches Umweltkeime besser adaptiert sind als Fäkalkeime. Ein solches erhöhtes Vorkommen von Umweltkeimen könnte ein Indiz für eine mögliche Rückverkeimung sein.

Beim zweiten, grafisch nicht dargestellten Wasserrucksack der Betriebsweise 1 (P 1.2) wurden sehr ähnliche Bakterienreduktionen gemessen. Es konnten auch hier keine E.coli nachgewiesen werden. Die E.coli im Permeat lagen in jeder Probe unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der maximale E.coli-LRV betrug 4,9. I.E. konnten in 12 von 15 Versuchen nicht nachgewiesen werden. Der maximale I.E.-LRV lag bei 4,8 bei den Versuchen unterhalb der Bestimmungsgrenze und bei 4,3 bei den Versuchen mit eindeutiger I.E.-Bestimmung. Ges.Col. waren in zehn Versuchen nicht nachweisbar. Die maximalen LRVs lagen bei 4,8 für Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze und 5,2 für die Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze.

4.3.4 Betrieb tagsüber mit Filtrationspausen (Betriebsweise 2)

Die Ergebnisse der Betriebsweise 2 sind in Abbildung 58 dargestellt.

Der Anfangsflux beider Wasserrucksäcke (P 2.1 und P 2.2) lag in den ersten Tagen zwischen 10 L/m²*h und 17 L/m²*h und fiel bis zum Tag 82 auf Werte zwischen 7 L/m²*h und 10 L/m²*h ab. Am 19.11.2012 (Tag 84) wurde eine Reinigung durchgeführt, wobei beide Wasserrucksäcke zuerst mit Rohwasser und dann mit Trinkwasser gespült und auch kurz mit Trinkwasser betrieben wurden. Nach dieser Reinigung

stieg der Flux kurzfristig wieder auf 12 L/m²*h bis 14 L/m²*h an und pendelte sich in den nächsten Wochen ungefähr auf den Flux vor der Reinigung ein.

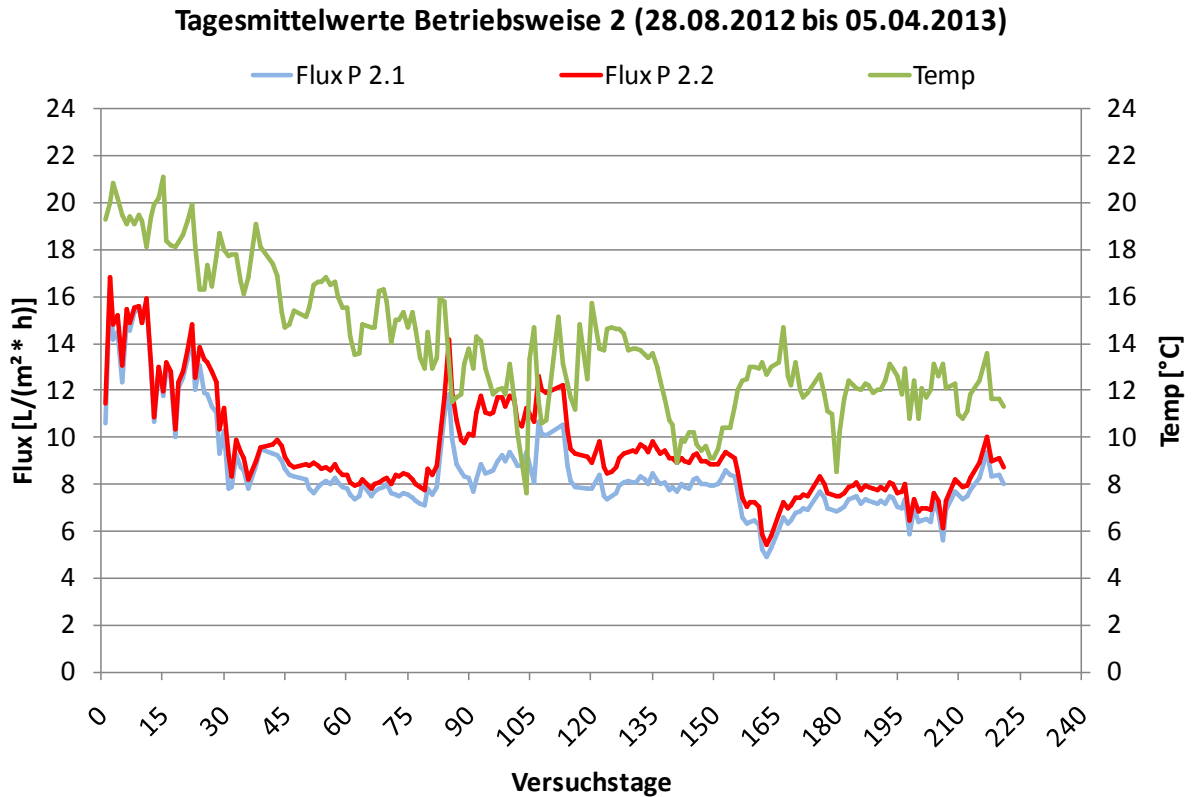


Abbildung 58: Betriebsweise 2: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P 2.1, P 2.2

Am Ende dieser Betriebsphase nach 221 Tagen lag der Flux von P 2.1 bei 7,7 L/m²*h und von P 2.2 bei 8,0 L/m²*h. Der mittlere Flux über den gesamten Betriebszeitraum lag bei 8,6 L/m²*h für P 2.1 und 9,5 L/m²*h für P 2.2.

Die Abbildung 59 zeigt die Ergebnisse der Bakterienreduktion von Betriebsphase 2 für einen der zwei betriebenen Wasserrucksäcke. In der Versuchsreihe zu Betriebsweise 2 wurde ebenfalls 17 Proben genommen. Die hier dargestellten Proben stammen aus dem Zeitraum zwischen dem 28.08.2012 und dem 07.11.2012. Während dieser Zeit sind 42,1 m³ Wasser filtriert worden. Bei dieser Betriebsweise gab es Filtrationspausen und eine nächtliche Stillstandzeit, weshalb es sich bei den dargestellten Reduktionen um die Nullminuten-Reduktionen direkt nach der morgendlichen Wiederinbetriebnahme des Wasserrucksackes handelt. Zusätzlich zeigen die Probennummern 12 bis 16 die Reduktionen für Ges.Col. und I.E. an 10 Minuten nach der Wiederinbetriebnahme (Zehnminutenproben).

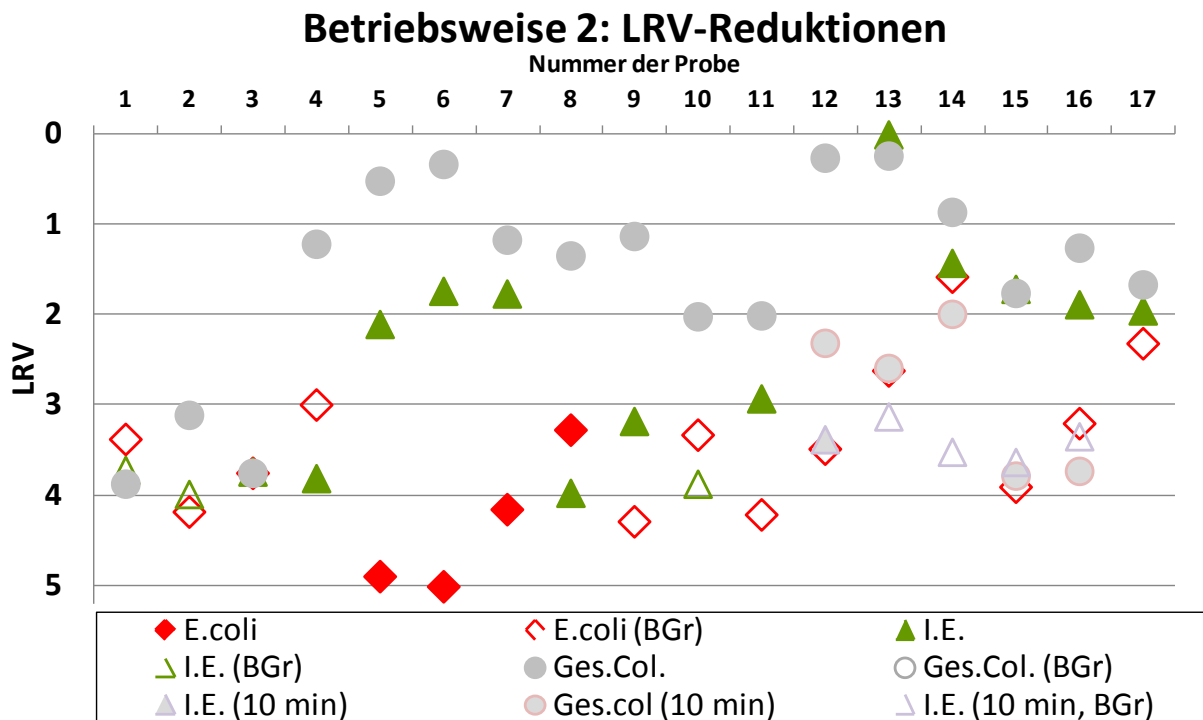


Abbildung 59: Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 2, Wasserrucksack P 2.1

Die LRVs in diesem Versuch lagen für E.coli zwischen 3,1 und 4,8, für I.E. lag der maximale LRV bei 3,8 und für Ges.Col. bei 3,7. Der Großteil der E.coli-Auswertungen ergab keine Bakteriennachweise, die Bestimmungsgrenze wurde bei 13 Proben unterschritten. Bei I.E. und Ges.Col. zeigten nahezu alle Proben Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Der zweite, nicht dargestellte Wasserrucksack der BW 2 (P 2.2) erreichte einen maximalen E.coli-LRV von 4,9, I.E.-LRV von 3,8 und Ges.Col.-LRV von 3,4.

Die bakteriellen Untersuchungen für diese Betriebsweise haben ab der vierten Probennummer eine deutliche Permeatbelastung mit Ges.Col. gezeigt. Die dritte Probennummer war durch eine extreme Ges.Col.-Belastung im Rohwasser von 3.200.000 cfu/100 mL gekennzeichnet. Auch die Permeatbelastung mit I.E. war bei dieser Betriebsweise gegen Ende der Versuchsreihe mit 1.200 cfu/100 mL (Probe 13) deutlich erhöht.

Die Ergebnisse der Zehnminutenproben zeigen, dass sich die Bakterienreduktion nach kurzer Filtrationszeit deutlich verbessert. Die Belastung mit I.E. hat sich in Probe 13 nach zehn Minuten Filtrationszeit auf 1 I.E. pro 100 mL reduziert. Die Belastung mit Ges.Col. sank von 18.000 cfu/ 100 mL auf 80 cfu/ 100 mL. Der Verlauf der Ges.Col.-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Filtrationspause ist in Abbildung 60 dargestellt.

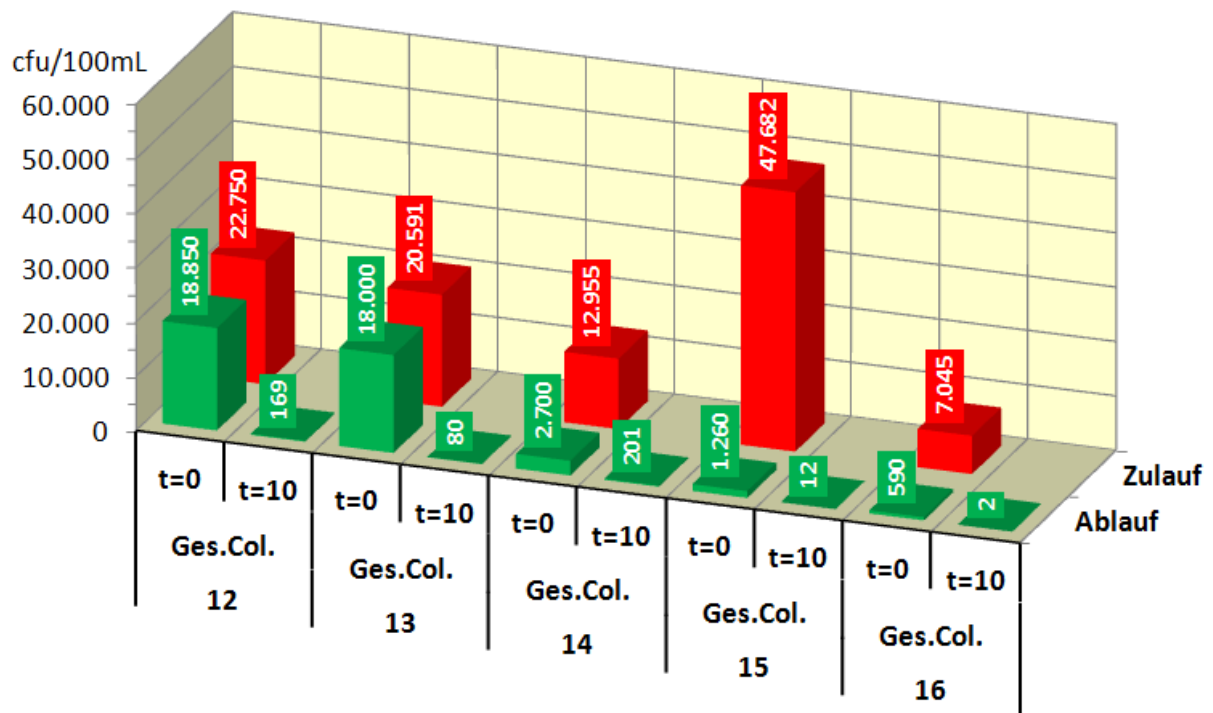


Abbildung 60: Ges.Col.-Belastung 0 Minuten und 10 Minuten nach der Stillstandzeit

Die besseren Zehnminuten-Reduktionen lassen vermuten, dass mit zunehmender, täglicher Filtrationsdauer die Bakterienreduktion zunimmt. Eine weitere Erklärung könnte die abnehmende Bakterienkonzentration des im Wasserrucksack befindlichen Wasservolumens liefern. Während der nächtlichen Stillstandzeit kann es in diesem Wasser zu einer vermehrten Verkeimung durch Bakterienwachstum kommen. Da die Wasserrucksäcke der Versuchsanlage im Überlauf betrieben werden, können Bakterien teilweise aus dem Wasserrucksack zurück in die Vorlage gespült werden, wodurch eine Verdünnung der Bakterienkonzentration im Wasserrucksack resultiert.

4.3.5 Betrieb tagsüber kontinuierlich, Spülung mit Permeat vor Stillstand über Nacht (Betriebsweise 3)

Abbildung 61 zeigt die Ergebnisse der Betriebsweise 3. Der Anfangsflux in den ersten Tagen lag bei beiden Wasserrucksäcken (P 3.1 und P 3.2) zwischen 10 L/m²*h und 16 L/m²*h. Bis zur Reinigung am 19.11.2012 (Tag 84) sank der Flux auf Werte zwischen 4 L/m²*h und 6 L/m²*h ab. Die Reinigung wurde entsprechend der Reinigung in Betriebsweise 2 durchgeführt. Am ersten Tag nach der Reinigung stieg der Flux auf Werte zwischen 9,5 L/m²*h und 10,5 L/m²*h an und lag nach ca. 10 Tagen wieder auf dem Niveau vor der Reinigung.

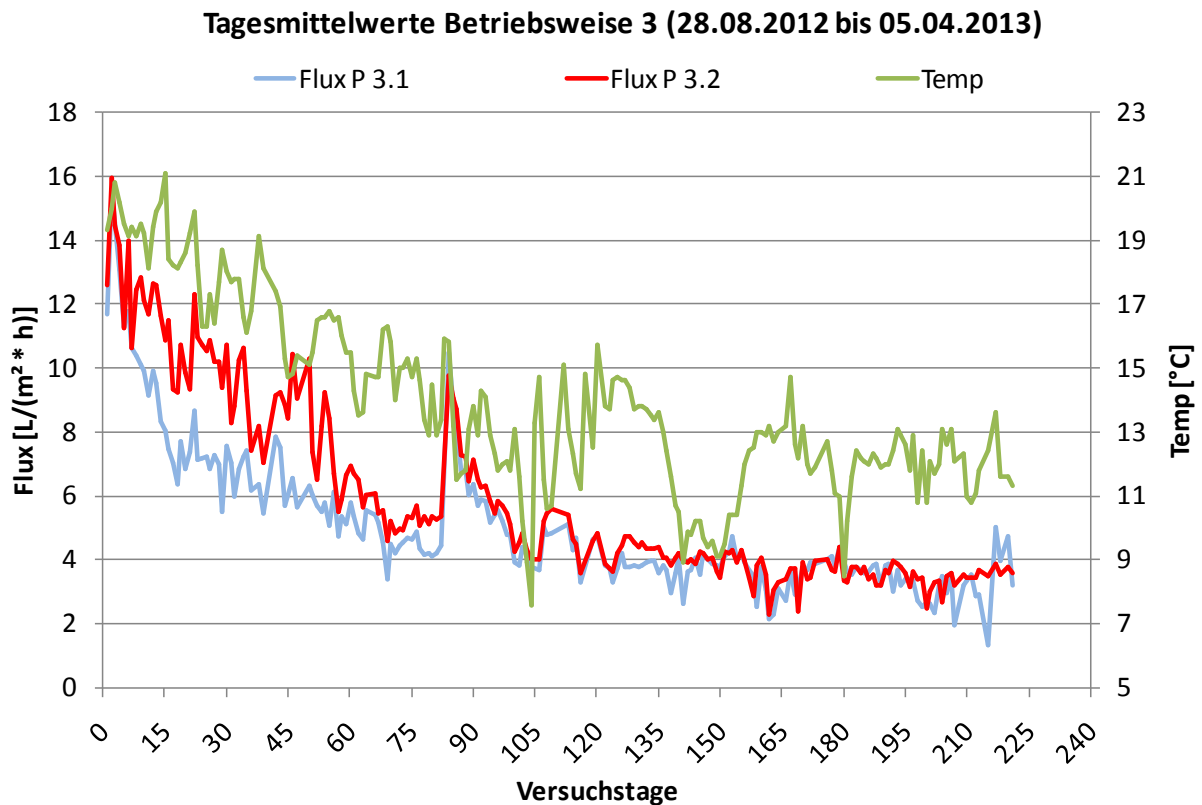


Abbildung 61: Betriebsweise 3: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P 3.1, P 3.2

Nach einem Zeitraum von 221 Tagen wurde bei P 3.2 ein mittlerer Flux über diesen Zeitraum von 6 L/m²*h und bei P 3.1 von 4,8 L/m²*h ermittelt.

Abbildung 62 zeigt die Bakterienreduktion der dritten Betriebsweise für einen der zwei betriebenen Wasserrucksäcke. Bei dieser Betriebsweise fand jeden Abend eine Spülung der Wasserrucksäcke mit Permeat statt. Im Anschluss an die Spülung erfolgte eine nächtliche Stillstandzeit. Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um die Ergebnisse der Nullminuten-Probe direkt nach der morgendlichen Wiederinbetriebnahme des Wasserrucksackes. Die ausgewerteten Proben wurden zwischen dem 28.08.2012 und 07.11.2012 gezogen. Während dieser Zeit wurden 55,7 m³ gefiltert.

Der dargestellte Versuch der Betriebsweise 3 führte nur in einer Probe zu einem eindeutigen E.coli-Nachweis (7 cfu/100 mL). Alle weiteren Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der maximale LRV für E.coli lag bei 4,7, für I.E. bei 4,1 und für Ges.Col. bei 4,6.

Der nicht dargestellte Wasserrucksack (P 3.2) erbrachte maximale LRVs von 4,5 für E.coli, 3,5 für I.E. und 4,4 für Ges.Col.

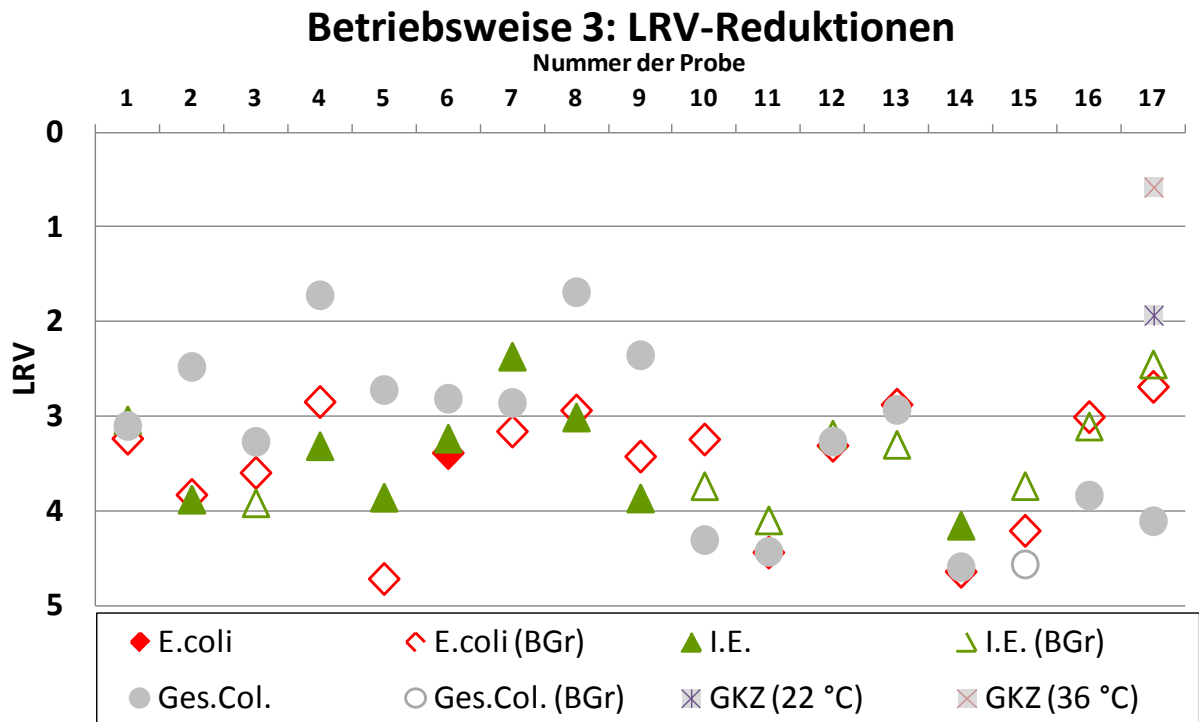


Abbildung 62: Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 3, Wasserrucksack P 3.1

4.3.6 Betrieb tagsüber kontinuierlich (Betriebsweise 4)

Wie in Abbildung 63 zu erkennen ist, liegt der Anfangsflux in der Betriebsweise 4 für die beiden Wasserrucksäcke P 4.1 und P 4.2 bei Werten von ca. 12 L/m²*h bis 15 L/m²*h. Bis zur Reinigung am 19.11.2012 (Tag 84) ist der Flux auf Werte von ca. 6 L/m²*h abgesunken. Die Reinigung wurde wie in Betriebsweise 2 und 3 durchgeführt und erhöhte den Flux kurzzeitig wieder auf Werte zwischen 10 L/m²*h und 12 L/m²*h. Bis zur Außerbetriebnahme von P 4.1 nach 148 Tagen lag der mittlere Flux über diesen Zeitraum für P 4.1 bei ca. 8,2 L/m²*h und für P 4.2 bei 7,6 L/m²*h. P 4.2 wurde in dieser Betriebsphase insgesamt über einen Zeitraum von 221 Tagen und einem mittleren Flux von 6,7 L/m²*h betrieben.

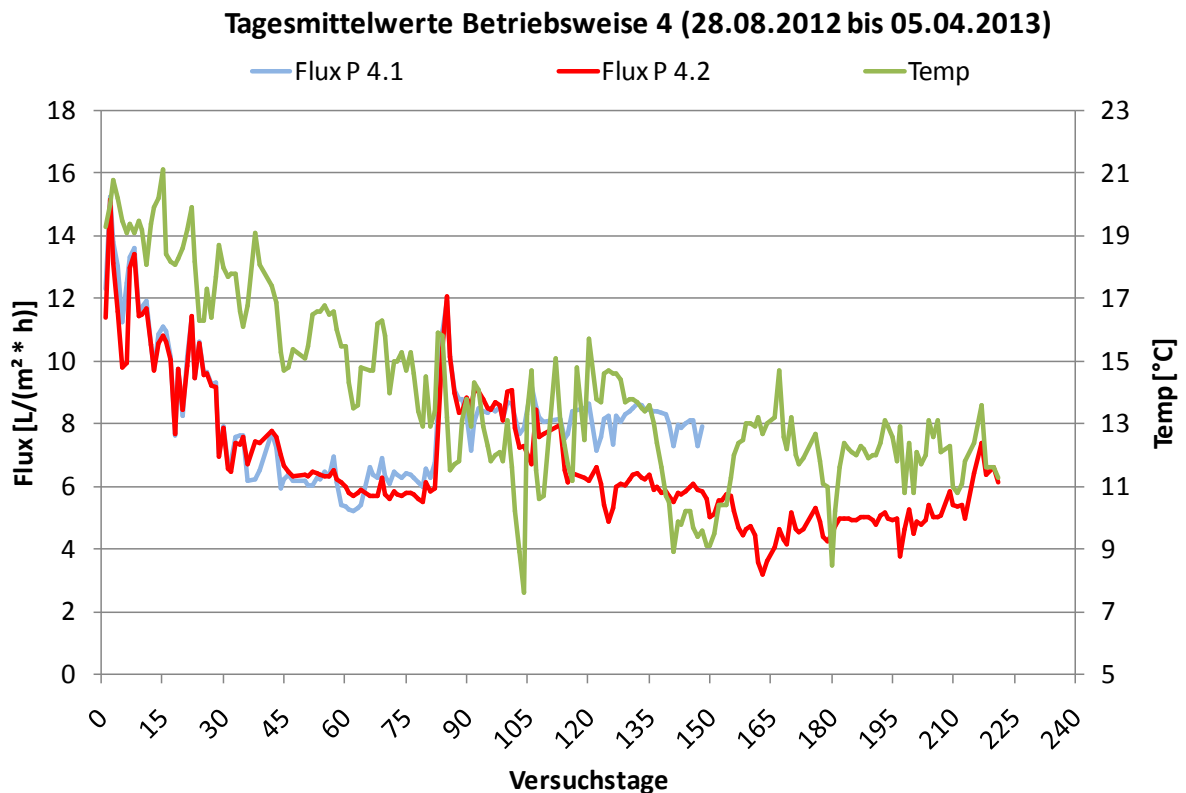


Abbildung 63: Betriebsweise 4: Tagesmittelwerte Flux und Temperatur P4.1 und P 4.2

Der Wasserrucksack P 4.2 wurde im Rahmen dieses Projekts noch länger betrieben. Insgesamt wurde ein Betriebszeitraum von 366 Tagen bis zum 29.08.2013 untersucht. Neben den zwei Reinigungen durch eine Permeat- bzw. Trinkwasserspülung wurde am 18.06.2013 (Tag 295) und 24.06.2013 (Tag 301) jeweils eine Reinigung mit Chlor durchgeführt. Abbildung 64 zeigt den Flux in Tagesmittelwerten über diesen Zeitraum.

Tagesmittelwerte Betriebsweise 4 (28.08.2012 bis 29.08.2013)

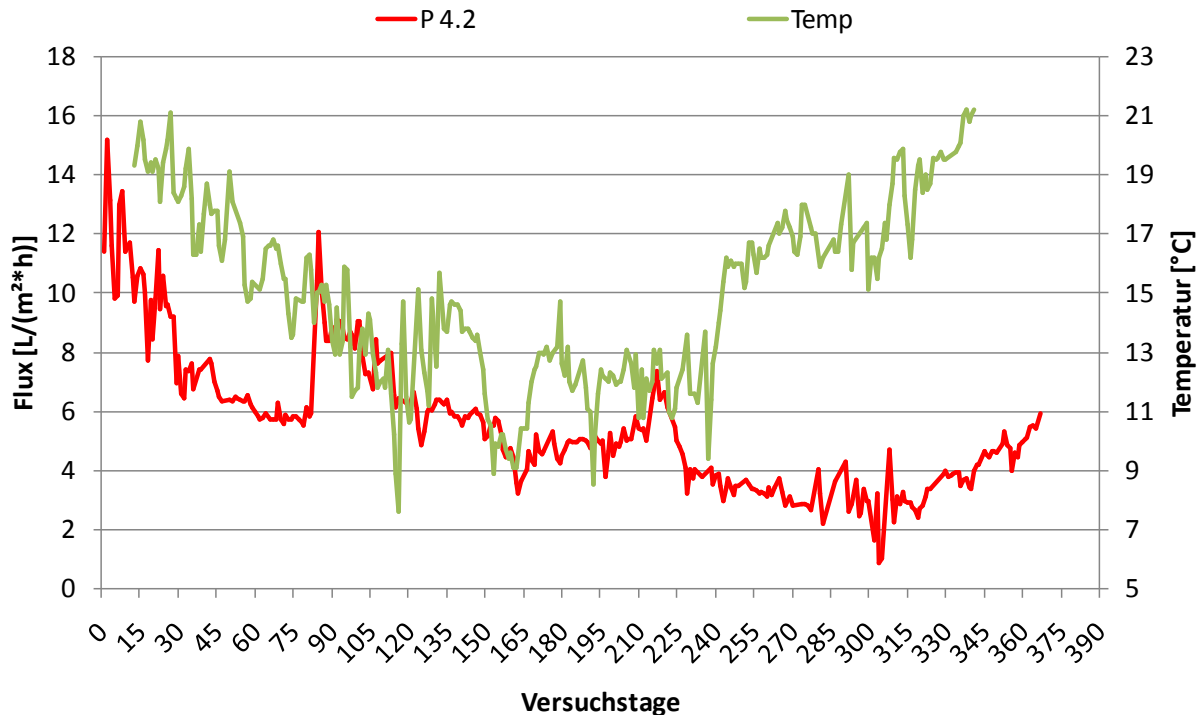


Abbildung 64: Flux und Temperatur in Tagesmittelwerten über den gesamten Betriebszeitraum des Wasserrucksack P 4.2 in Betriebsweise 4

Über den gesamten Zeitraum wurde ein mittlerer Flux von 5,6 L/m²*h erzielt und der mittlere Flux über die letzten 10 Tage lag bei 6,0 L/m²*h. Die Erhöhung im Flux im Zeitraum ab dem 10.07.2013 (Tag 317) und damit mehr als zwei Wochen nach der letzten chemischen Reinigung ist eventuell auf Veränderungen der Rohwasserzusammensetzung und den Temperaturanstieg zurückzuführen.

Abbildung 65 zeigt die Bakterienreduktionen der vierten Betriebsweise für einen der zwei betriebenen Wasserrucksäcke. Bei dieser Betriebsweise fanden keine Filtrationspausen am Tag statt. Es gab jedoch eine nächtliche Stillstandzeit. Somit handelt es sich bei den dargestellten Ergebnissen ebenfalls um Nullminuten-Proben direkt nach der morgendlichen Wiederinbetriebnahme des Wasserrucksackes. Es wurden 17 Proben ausgewertet, die zwischen dem 20.08.2012 und dem 07.11.2012 genommen wurden. In dieser Zeit wurden 45 m³ Wasser gefiltert. Neben den Nullminuten-Reduktionen sind für die Probennummern eins bis neun ebenfalls die Reduktionen 60 Minuten nach der Wiederinbetriebnahme dargestellt. Diese liegen jeweils unterhalb der Nullminuten-Ergebnisse und zeigen somit eine verbesserte Reduktion an.

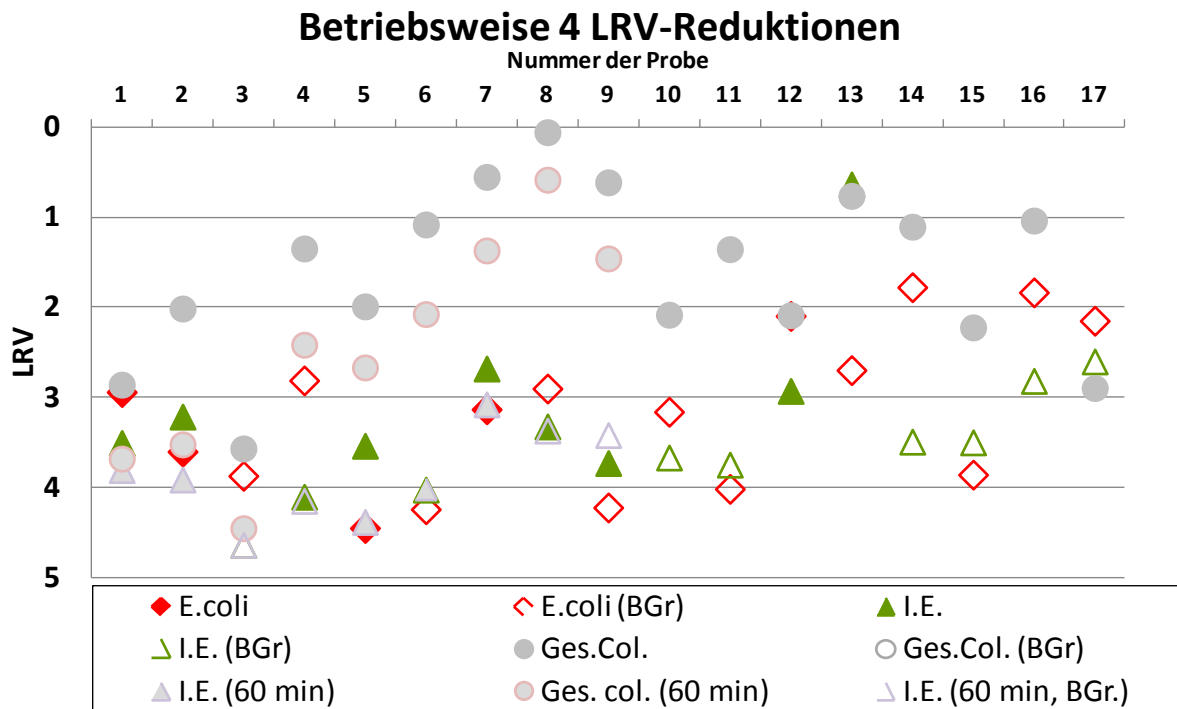


Abbildung 65: Ergebnisse der Bakterienreduktion in Betriebsweise 4, P 4.1

Im dargestellten Wasserrucksack nach Betriebsweise 4 konnten in vier Permeatproben E.coli nachgewiesen werden. Die LRVs dieser Proben befinden sich zwischen 2,9 und 4,5. Der maximale LRV der Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mit 4,2 ermittelt. In zehn von 16 Permeatproben konnten keine I.E. festgestellt werden. Für die Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze lag der maximale LRV bei 4,6, für Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze bei 3,8. Ges.Col. wurden in allen Proben mit einem maximalen LRV von 3,6 nachgewiesen.

Im nicht dargestellten Wasserrucksack der Betriebsweise 4 (P 4.2) gab es zwei Permeatproben, in denen E.coli nachgewiesen wurden. Der maximale E.coli-LRV wurde mit 4,6 bestimmt. In vier von 17 Proben konnten keine I.E. nachgewiesen werden, der maximale LRV für I.E. lag bei 4,2. Ges.Col. wurden mit einem maximalen LRV von 3,2 reduziert. Insgesamt ist zu konstatieren, dass der Wasserrucksack P 4.2 über den gesamten Versuchsbetrieb die geringsten Reduktionsraten an I:E: und Ges.Col. gegenüber allen anderen, auch in anderen Betriebsweisen untersuchten Wasserrucksäcken aufwies. Hinsichtlich der E.coli-Reduktion lagen die Ergebnisse auf einem vergleichbar hohen Niveau.

Abbildung 66 bis Abbildung 68 zeigen den Verlauf der Bakterienbelastung im Permeat direkt bei Wiederinbetriebnahme und nach unterschiedlich langer Filtrationszeit von 30 Minuten bis zu 240 Minuten nach Wiederinbetriebnahme.

Es zeigen sich unterschiedliche Auswirkungen auf den Rückhalt von E.coli und I.E. einerseits und Ges.Col. andererseits. E.coli und I.E. konnten bereits direkt nach der Wiederinbetriebnahme des Wasserrucksacks im Permeat nur bei wenigen Probenahmen und dann auch nur in sehr geringer Konzentration festgestellt werden. Alle zeitlich nachfolgenden Analysen lagen unter diesen Werten bzw. unterhalb der Nachweisgrenze.

Für alle Parameter ist zu erkennen, dass sich der LRV nach einer Stillstandzeit mit zunehmender Filtrationsdauer verbessert. Es ist nicht auszuschließen, dass die Verbesserung v.a. durch eine mögliche Verringerung der Belastung im Rohwasser in den Wasserrucksäcken zu Stande kommt. Bei morgendlicher Inbetriebnahme der Pumpen springen nach kurzer Füllzeit die Überläufe an. Teile des möglicherweise stark belasteten Rohwassers in den Wasserrucksäcken werden durch weniger belastetes Rohwasser ersetzt, wodurch die Verkeimung bzw. Belastung des Rohwassers im Wasserrucksack abnehmen kann. Die Rohwasserbelastung der Nullminutenprobe von Probe 9 lag für Ges.Col. bei 39.364 cfu/ 100 mL. Die 30-Minutenprobe war nur noch mit 14.773 cfu/100 mL belastet.

Da die Wasserrucksäcke über Nacht stillstanden, kann es im Inneren ggf. zu einem Bakterienwachstum kommen, die bei Filtrationsbeginn nach kurzer Zeit ausgespült werden.

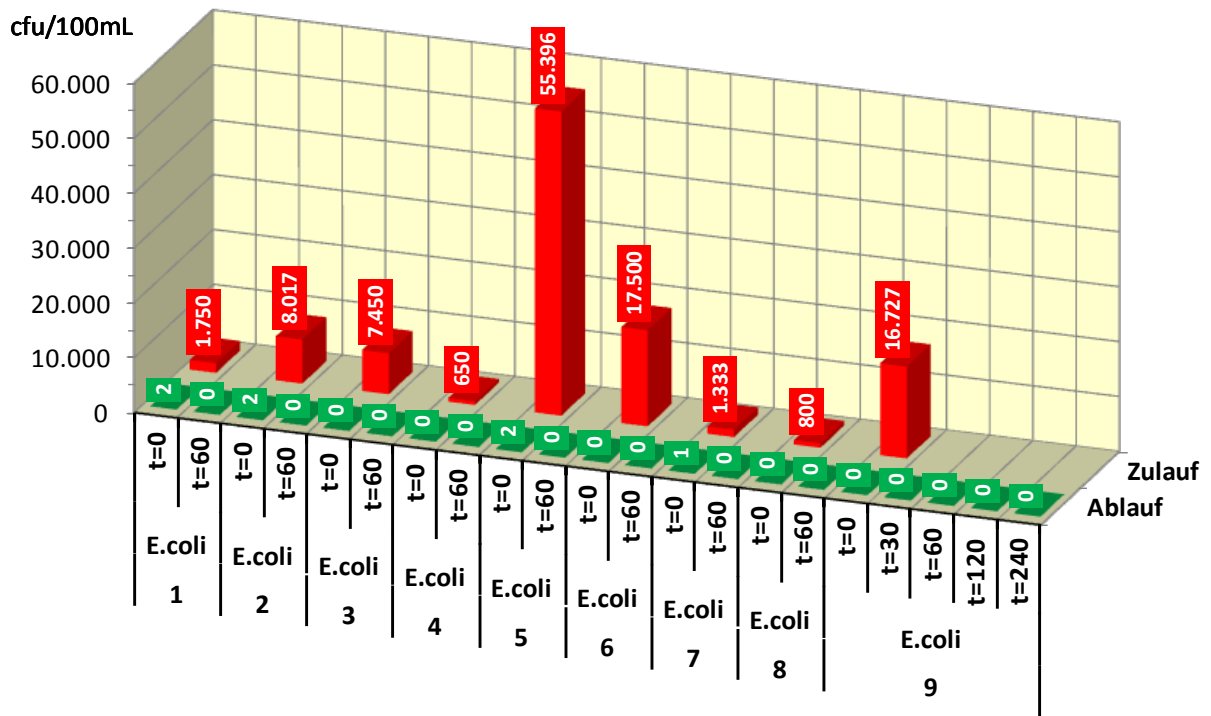


Abbildung 66: E.coli-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Wiederinbetriebnahme in Betriebsphase 4

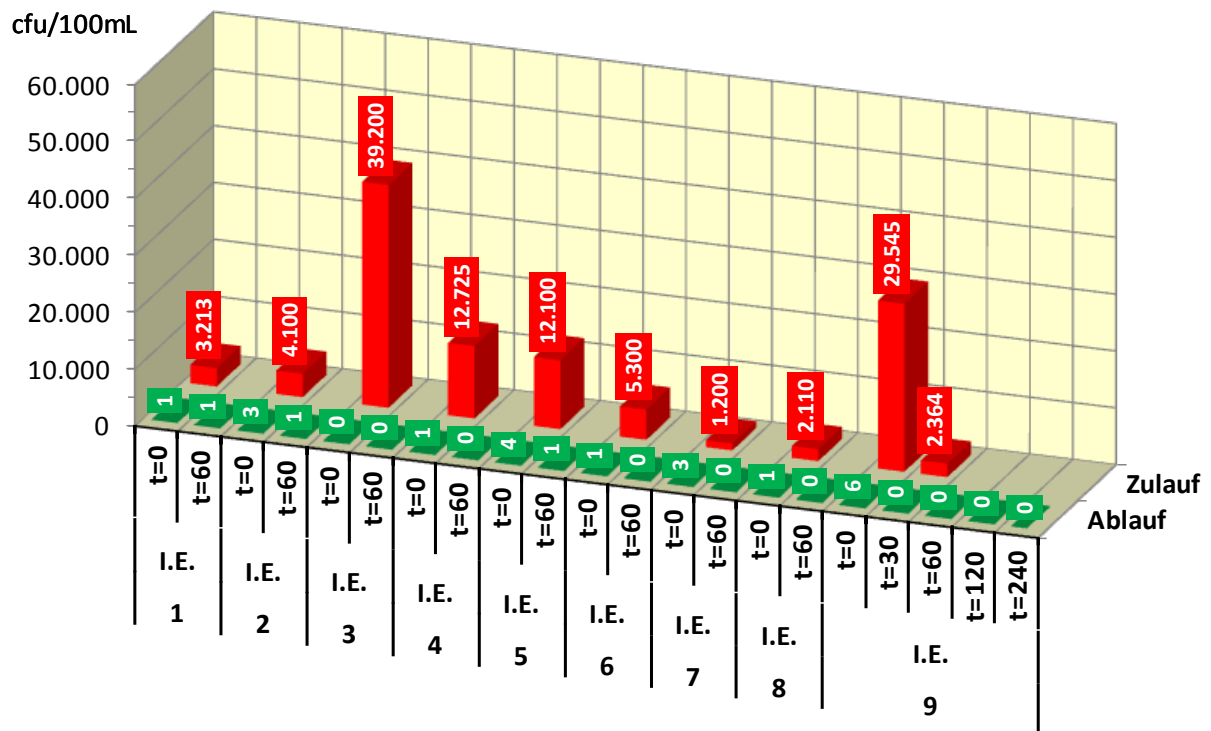


Abbildung 67: I.E.-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Wiederinbetriebnahme in Betriebsphase 4

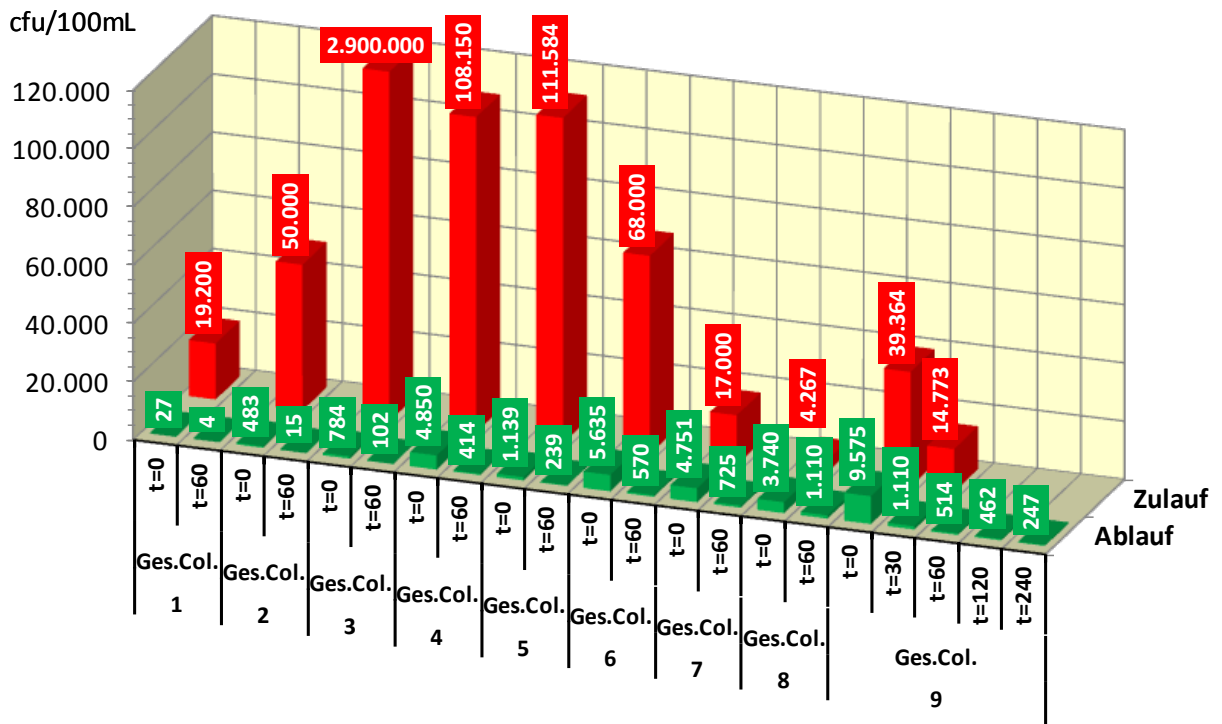


Abbildung 68: Ges.Col.-Belastung nach unterschiedlich langer Filtrationszeit nach der Wiederinbetriebnahme in Betriebsphase 4

4.3.7 Vergleich der Betriebsweisen

In Abbildung 69 sind die Tagesmittelwerte (Flux) über einen Zeitraum von 221 Tagen dargestellt. Zur Vereinfachung wurden die Ergebnisse der beiden pro Betriebsphase verwendeten Wasserrucksäcke als Mittelwerte zusammengefasst. Da P 4.1 aus Betriebsphase 4 nach 148 Tagen außer Betrieb genommen wurde, wurden ab diesem Zeitpunkt für diese Betriebsphase die Werte von P 4.2 verwendet. Auch für Betriebsweise 1 werden aufgrund der Außerbetriebnahme von P 1.2 am 178. Tag nur die Werte von P 1.1 verwendet.

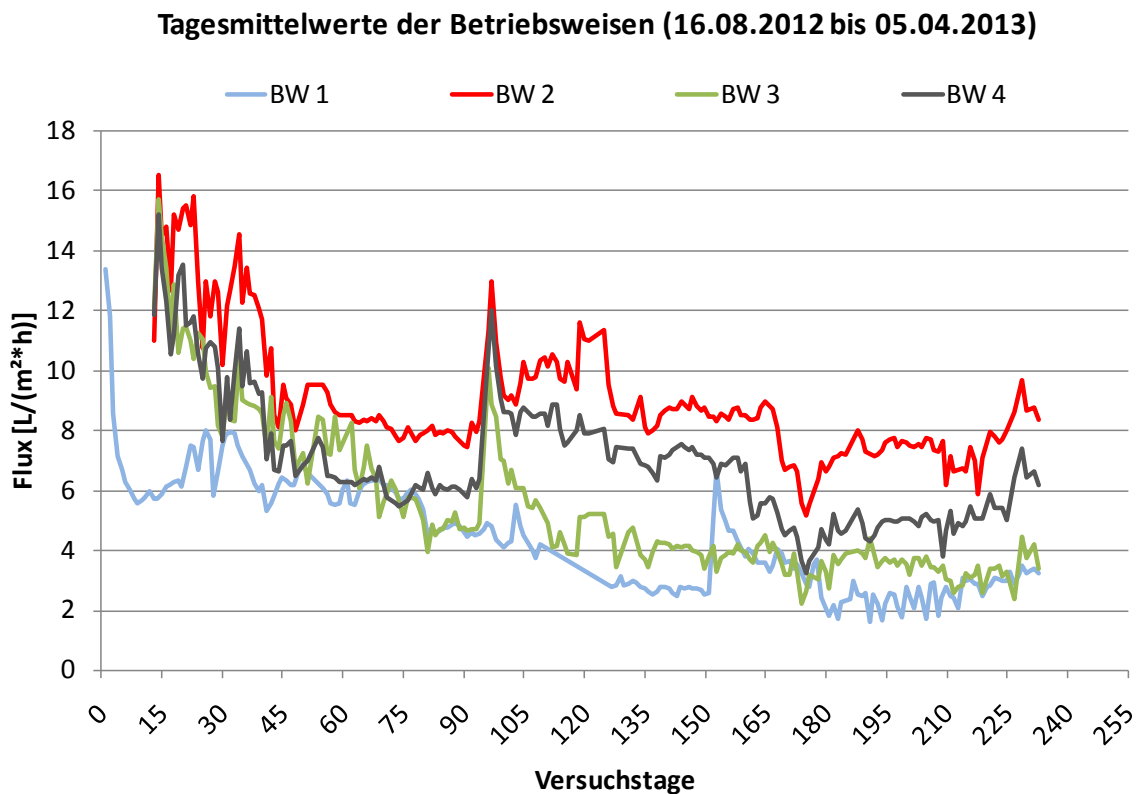


Abbildung 69: Tagesmittelwerte Flux der verschiedenen Betriebsweisen; die zwei pro Betriebsweise verwendeten Wasserrucksäcke wurden gemittelt

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Betriebsweise 2 mit Filtrationspausen einen höheren Flux aufrecht erhielt als die anderen Betriebsweisen. Grund dafür ist die Relaxation der Deckschicht während der Filtrationspausen. In den anderen Betriebsweisen wird die Deckschicht durch den Wasserdruck kontinuierlich komprimiert und verringert somit den Durchfluss.

Da der mittlere Flux zum Vergleich der verschiedenen Betriebsweisen aufgrund der unterschiedlichen Filtrationsdauern nur begrenzt aussagekräftig ist, sind die Filtrationsdauer und das filtrierte Volumen in Abbildung 70 dargestellt. Zur Vereinfachung wurden die Ergebnisse der beiden pro Betriebsphase verwendeten Wasserrucksäcke als Mittelwerte zusammengefasst. Da P 4.1 aus Betriebsphase 4 nach 148 Tagen

außer Betrieb genommen wurde, wurden ab diesem Zeitpunkt für diese Betriebsphase die Werte von P 4.2 verwendet. Auch für Betriebsweise 1 werden aufgrund der Außerbetriebnahme von P 1.2 am 178. Tag nur die Werte von P 1.1 verwendet.

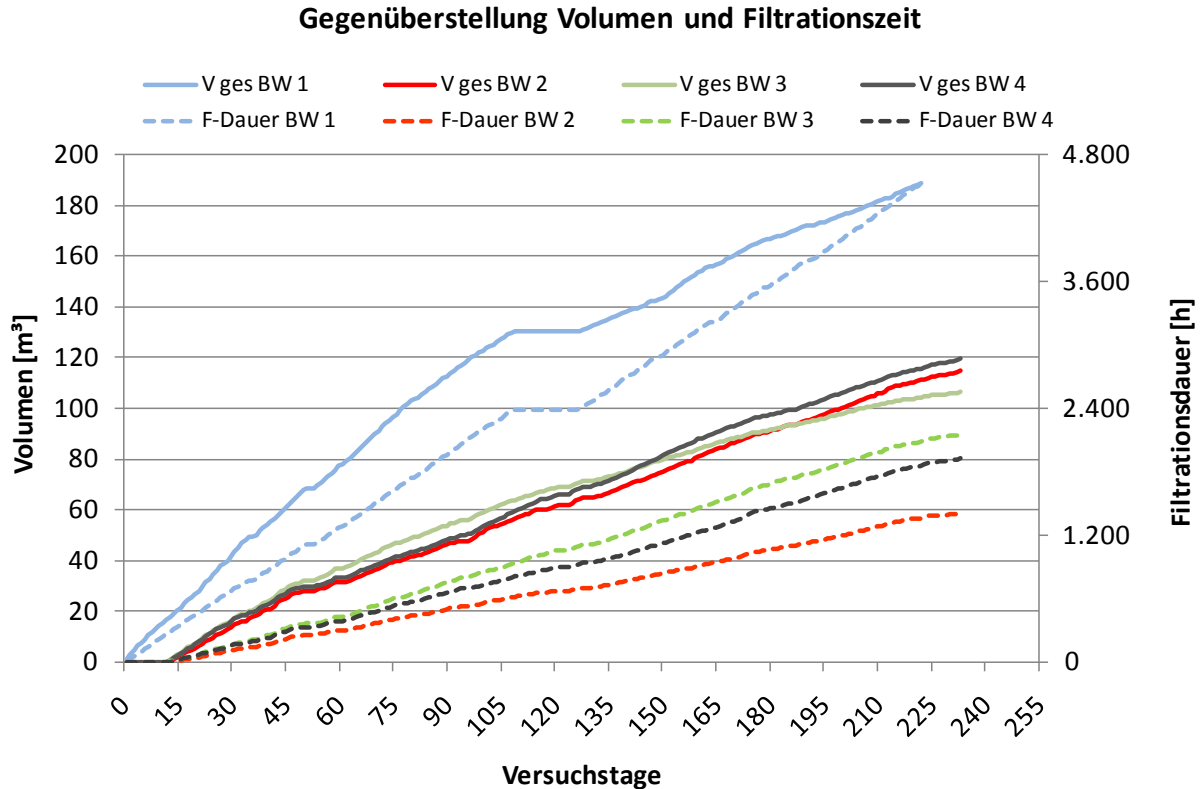


Abbildung 70: Vergleich von Filtrationsdauer und kumuliertem Wasservolumen der unterschiedlichen Betriebsphasen als Tagesmittelwerte

Die Wasserrucksäcke, welche nur tagsüber betrieben wurden (Betriebsweisen 2, 3 und 4), erzielten über den Zeitraum des 221-tägigen Vergleichszeitraumes bezüglich des Gesamtertrages einen vergleichbaren Wert von knapp über 100 m³. Betriebsweise 1 liegt aufgrund der höheren Filtrationsdauer bei einem Gesamtvolumen von ca. 189 m³.

Trotz der deutlich kürzeren Filtrationszeit von Betriebsweise 2 unterscheidet sich die Filtrationsmenge kaum von den Filtrationsmengen der Betriebsweisen 3 und 4. Dieser Sachverhalt ist zusätzlich in Abbildung 71 dargestellt. Zur Vereinfachung ist jeweils nur ein Wasserrucksack pro Betriebsweise abgebildet.

Bezogen auf die Filtrationsmenge weist Betriebsweise 2 den höchsten Flux auf. Die Filtrationspausen wirken sich demnach positiv auf die hydraulische Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks aus.

Tagesmittelwerte Flux bezogen auf das filtrierte Wasservolumen

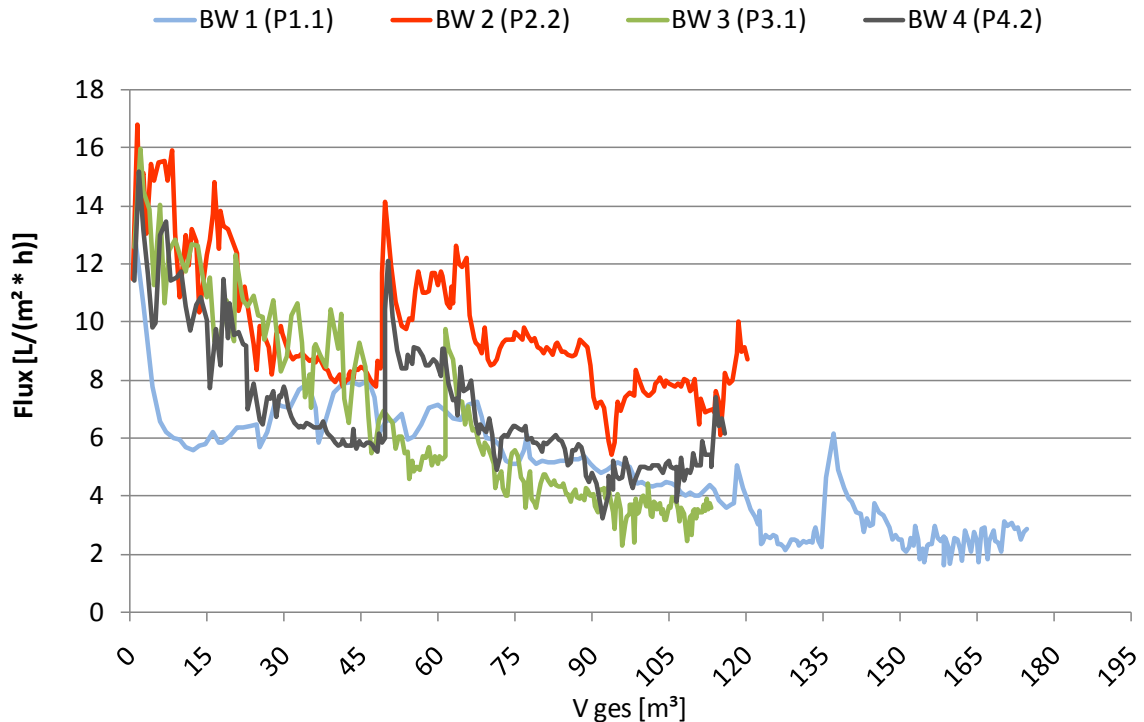


Abbildung 71: Flux (Tagesmittelwerte) bezogen auf das kumulierte Wasservolumen

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Langzeitversuche in den unterschiedlichen Betriebsweisen dargestellt.

Hier ist auch die „Vergleichsleistung während der Filtration, ausgedrückt in L/d“ angegeben. Dies geschah, um die Betriebsweisen besser und mit einer griffigen Zahl beschreiben zu können und insbesondere, um später einen leichten Vergleich mit den Messungen der hydraulische Leistungsfähigkeit vor Ort bieten zu können.

Abgesehen von betriebsweise 1, bei der die Vergleichsleistung gleich der Tagesproduktion ist, können die Betriebsweisen 2 bis 4 mit Filtrationspausen diese Tagesmengen natürlich nicht filtrieren, sondern filtern weniger Wasser, da ja die Pausenzeiten abzuziehen sind. Hier ist insbesondere die Nachtpausenlänge bzw. umgekehrt die Filtrationsdauer am Tage wesentlich.

Betriebsweise 2 und 4 unterscheiden sich darin, dass in Betriebsweise 4 am Tag kontinuierlich etwa 9,4 h filtriert wurde, während bei Betriebsweise 2 – bei etwa gleich langer „Nachtpause“ – nur etwa 7 Stunden filtriert wurde, als 2 h Pausen am Tage eingelegt wurden. Wie die Fluxergebnisse zeigen, hat sich das positiv ausgewirkt. Zur Steigerung der Tagesleistung wären also nunmehr die Nachtpause zu kürzen; dies muss Gegenstand weiterer Untersuchungen werden.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Betriebsweisen (BW)

	BW 1		BW 2		BW 3		BW 4	
	P 1.1	P 1.2	P 2.1	P 2.2	P 3.1	P 3.2	P 4.1	P 4.2
Betriebszeitraum [d]	221	178	221	221	221	221	148	221
Tage mit Filtration	200	158	199	199	199	200	134	200
Filtrationsdauer gesamt [d]	187	149	59	58	91	88	51	80
Filtration [h/d]	22,4	22,6	7,1	7,1	11,0	10,6	9,1	9,6
Flux bis Tag 10 [L/(m ² * h)] ¹⁾	7,2	8,1	14,3	14,8	11,9	13,0	12,8	12,0
Flux der letzten 10 Tage [L/(m ² * h)] ¹⁾	3,2	4,4	8,2	8,9	3,4	3,6	7,9	6,2
Flux Gesamtzeitraum [L/(m ² * h)] ¹⁾	4,2	5,5	8,6	9,5	5,1	6,0	8,2	6,7
Wasserproduktion V gesamt [m ³]	174,7	180,4	109,6	120,4	99,6	113,1	91,2	115,8
Vergleichsleistung während Filtration, ausgedrückt in [L/d]	936	1.213	1.862	2.045	1.092	1.280	1.795	1.448
¹⁾ Mittelwert über den genannten Zeitraum								

In Tabelle 6 sind die Mittelwerte und Medianwerte der Permeatbelastungen und in den nachfolgenden Abbildung 72 bis Abbildung 75 die statistischen Auswertungen für E.coli, I.E. und Ges.Col. als Box-Whisker-Diagramme (min./max.-Werte, Mittelwert, Medianwert, 25%-Quartile, 75%-Quartile) aller Betriebsweisen vergleichend dargestellt.

Bezogen auf den Bakterienrückhalt hat sich gezeigt, dass eine kontinuierliche Filtration ohne Filtrationspausen oder Stillstandzeiten zu den höchsten Reduktionen führt. Es ist eindeutig zu erkennen, dass in der Betriebsweise 1 die niedrigsten mikrobiologischen Permeatbelastungen erzielt werden konnten. Auch die I.E. werden in dieser Betriebsweise durchgehend nahezu vollständig eliminiert. Beide Parameter unterschreiten in der Mehrzahl der Beprobungen die Bestimmungsgrenze.

Tabelle 6: Vergleich der unterschiedlichen Betriebsphasen; Mittelwerte und Mediane aller durchgeführten Bakterienuntersuchungen

Betriebsweise	E.coli cfu/ 100 mL	Ges.Col. cfu/ 100 mL	I.E. cfu/ 100 mL	GKZ (22 °C) cfu/ mL	GKZ (36 °C) cfu/ mL
Mittelwert					
1 (P 1.1)	< 1	2	< 1	30	56
1 (P 1.2)	< 1	2	< 1	45	203
2 (P 2.1)	1	16.330	183	16.000	4.850
2 (P 2.2)	2	11.914	85	6.930	4.900
3 (P 3.1)	1	195	2	20	260
3 (P 3.2)	9	571	9	10	280
4 (P 4.1)	1	2.205	12	1.570	1.950
4 (P 4.2)	1	10.611	774	2.480	10.700
Medianwert					
1 (P 1.1)	< 1	< 1	< 1	20	30
1 (P 1.2)	< 1	< 1	< 1	20	40
2 (P 2.1)	< 1	1.700	15	16.000	4.850
2 (P 2.2)	< 1	2.042	10	6.930	4.900
3 (P 3.1)	< 1	23	< 1	20	260
3 (P 3.2)	< 1	94	< 1	10	280
4 (P 4.1)	< 1	784	< 1	1570	1.950
4 (P 4.2)	< 1	7.455	415	2480	10.700

Eine solche Betriebsweise ist jedoch in den meisten Fällen nicht möglich. Es erscheint unwahrscheinlich, dass ein Wasserrucksack 24 Stunden pro Tag und sieben Tage die Woche ohne Unterbrechung im Einsatzfall betrieben werden kann.

Alle anderen Betriebsweisen haben zu schlechteren Ergebnissen geführt. Die zweitbesten Reduktionsergebnisse wurden in der Betriebsweise 3 gemessen. P 3.1 lieferte dabei durchgehend bessere Ablaufwerte. E.coli und I:E: lagen mehrheitlich unterhalb oder knapp über der Nachweisgrenze. Die allabendliche Spülung mit Permeat führt zu einer deutlich besseren Permeatqualität im Vergleich zu den Betriebsweisen 2 und 4.

Aus den E.coli-Medianen wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte aller E.coli-Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Dies ist ebenfalls für I.E. der Betriebsweisen 1, 3 und 4 (P 4.1) der Fall.

Abbildung 72, Abbildung 73, Abbildung 74 und Abbildung 75 zeigen die Hygieneparameter, wobei, um eine Vergleichbarkeit mit den Anforderungen der EU-

Badegewässerrichtlinie (2006) bezüglich E.coli und I.E. herzustellen, auch das 95-Perzentil ermittelt wurde. Der Systematik halber wurde zudem das 5-Perzentil ausgewertet, wiewohl es für die Beurteilung nicht relevant ist.

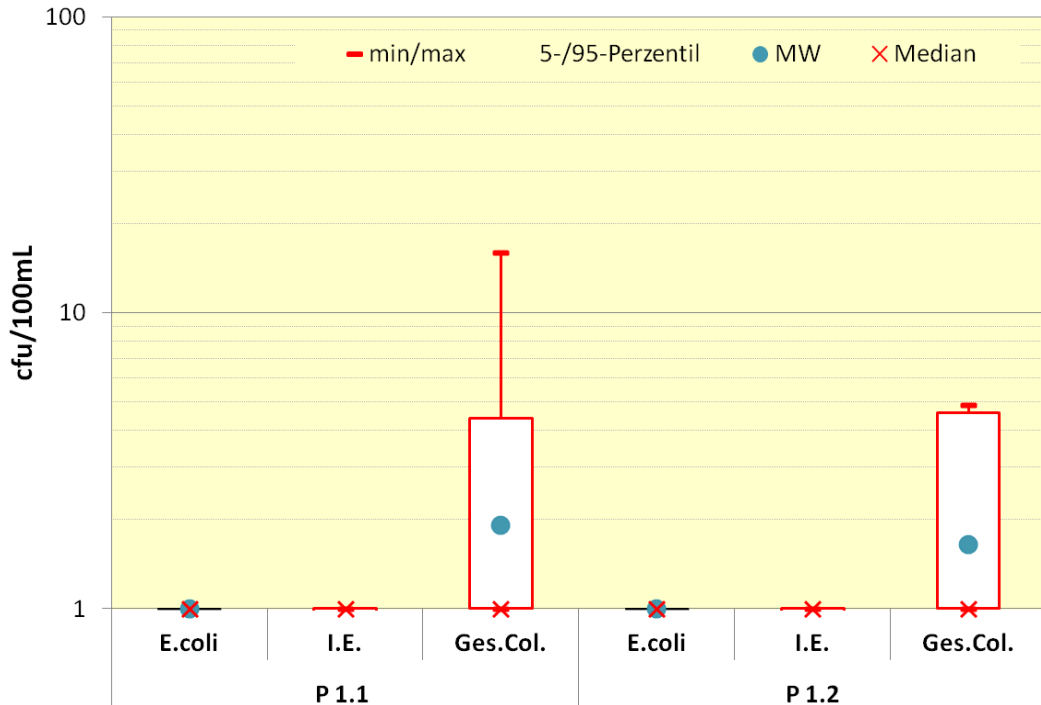


Abbildung 72: Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 1

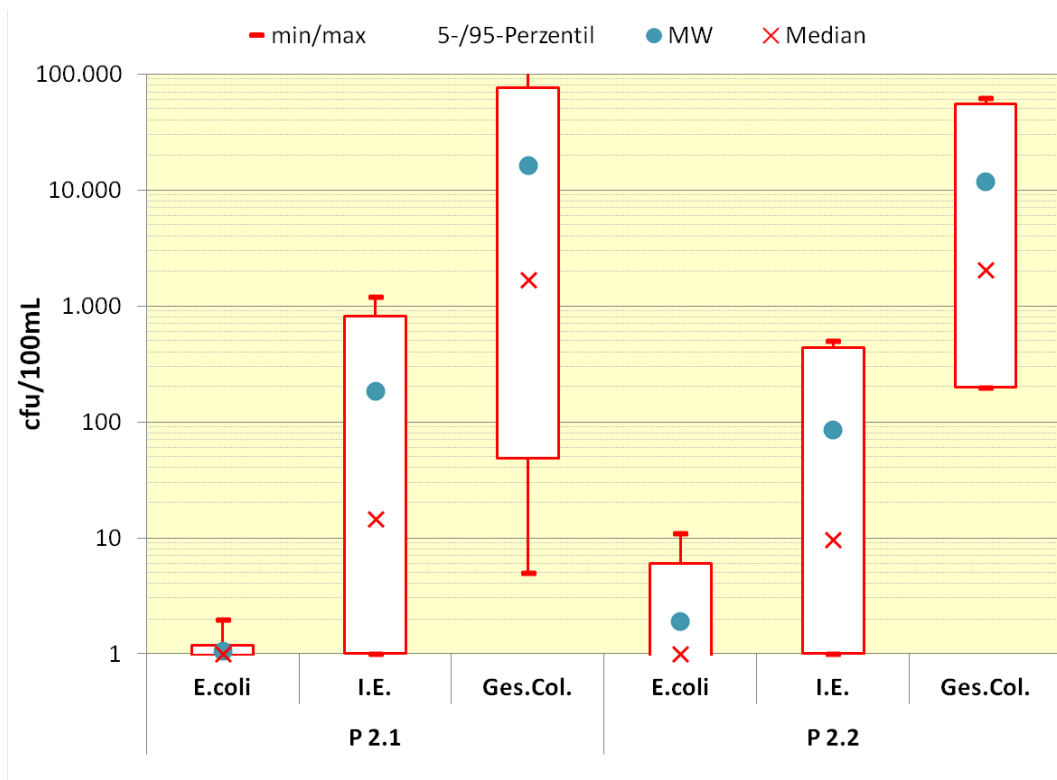


Abbildung 73: Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 2

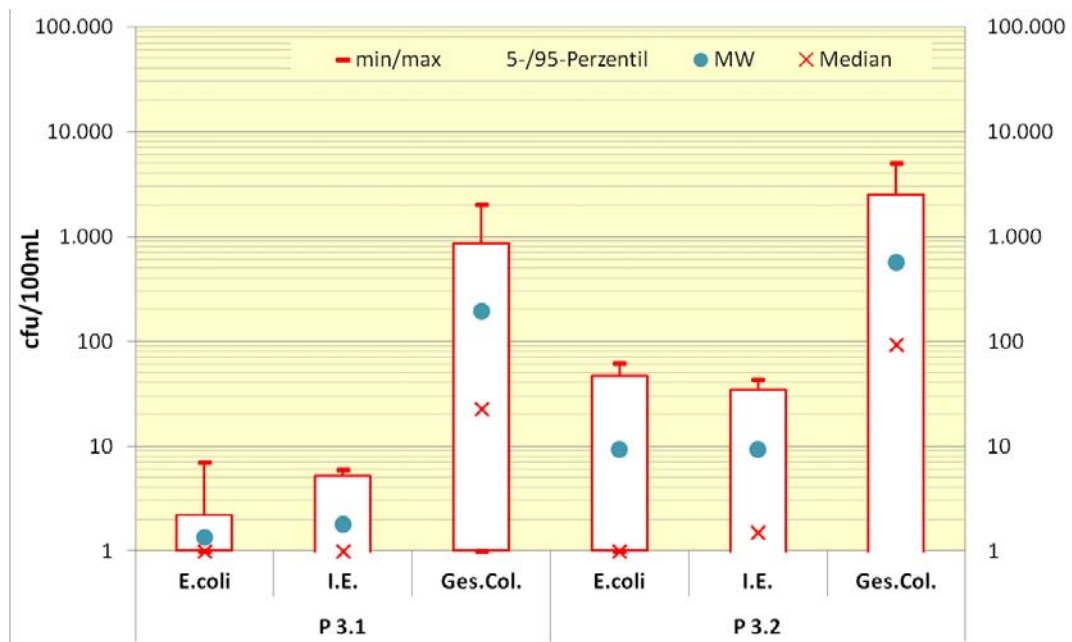


Abbildung 74: Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 3

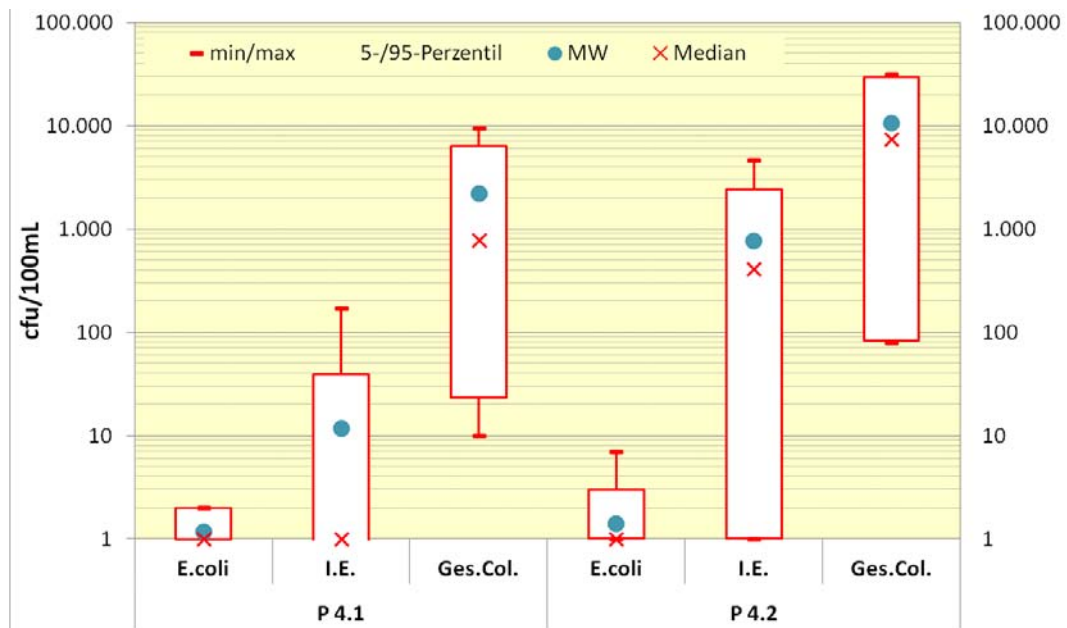


Abbildung 75: Box-Whisker-Diagramm Betriebsweise 4

Tabelle 7 zeigt, inwieweit die Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie erfüllt werden.

Tabelle 7: Vergleich der Ergebnisse der 4 Betriebsweisen mit den Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie (2006)

Betriebsweise	E.coli	I.E.
1	erfüllt	erfüllt
2	erfüllt	nicht erfüllt
3	erfüllt	erfüllt
4	erfüllt	erfüllt / nicht erfüllt

Dabei bedeutet „erfüllt“, dass beide Wasserrucksäcke in der jeweiligen Betriebsweise die Anforderungen für „Ausgezeichnete Qualität“ erfüllt haben. „Nicht erfüllt“ bedeutet, dass beide Wasserrucksäcke die Anforderungen für „Ausgezeichnete Qualität“ verfehlt haben, und „erfüllt / nicht erfüllt“ bedeutet, dass ein Wasserrucksack die Anforderungen für „Ausgezeichnete Qualität“ verfehlt hat, der andere sie jedoch eingehalten hat. Andere Anforderungsniveaus wurden nicht einschlägig – entweder bestand „Ausgezeichnete Qualität“, oder die Werte waren schlechter als selbst für „Ausreichende Qualität“ gefordert.

4.3.8 Bakterienrückhalt bei erhöhter Rohwasserbelastung

Langzeit-Untersuchungen mit höher belastetem Rohwasser sind vom Umweltbundesamt (UBA) durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Versuche können dem Bericht des UBA in der Anlage entnommen werden. Das UBA hat umfangreiche Versuche mit 98,6 % Oberflächenwasser und 1,4 % Abwasser durchgeführt.

Im Zuge der Untersuchungen in Kassel wurde eine „erhöhte Belastung“ hergestellt, indem dem Wasser der Ahna – selbst schon schwankend, teilweise stark belastet – ein Anteil von 5 % Abwasser aus dem Zulauf zur Vorklärung der Kläranlage Kassel beigemischt wurde.

Die Ergebnisse der Bakterienreduktionen mit erhöhter Belastung sind in Tabelle 8 dargestellt

Bei den Versuchen mit Starkbelastung zeigen sich vor allem sehr gute E.coli- und I.E.-Rückhalte. Für keinen der vier Wasserrucksäcke waren E.coli im Permeat festzustellen.

Tabelle 8: *Ergebnisse der Versuche mit 5 % Abwasserzugabe (Probe zwei Minuten nach der Zugabe)*

Wasserrucksack Nr.		E.coli	I.E.	Ges.Col.
1	Rohwasser [cfu/100mL]	380.000	970.000	1.635.000
	Permeat [cfu/100mL]	BGr.	BGr.	315
	LRV	5,6	6,0	3,7
2	Rohwasser [cfu/100mL]	470.000	1.165.000	1.500.000
	Permeat [cfu/100mL]	BGr.	BGr.	58
	LRV	5,7	6,1	4,4
3	Rohwasser [cfu/100mL]	210.000	475.000	985.000
	Permeat [cfu/100mL]	BGr.	BGr.	27
	LRV	5,4	5,7	4,6
4	Rohwasser [cfu/100mL]	165.000	330.000	750.000
	Permeat [cfu/100mL]	BGr.	24	675.000
	LRV	5,4	4,1	0,05

In den Versuchen mit Starkbelastung wurden Membranmodule eingesetzt, die zuvor unterschiedlich betrieben worden waren.

Wasserrucksack 1 entspricht dabei dem zuvor bezeichneten P 1.1.

Wasserrucksack 2 wurde mit einer nass gelagerten Membran betrieben.

Die Wasserrucksäcke 3 und 4 wurden mit neuen Membranen bestückt, die sieben Tage vor der Starkbelastung in Betrieb genommen worden waren. Beide Wasserrucksäcke filterten bis zur Starkbelastung knapp 6 m³ Wasser. Wasserrucksack 3 wurde mit einer Membrana-Membran und Wasserrucksack 4 mit der Microdyn-Nadir-Membran betrieben.

Die zweite Probe, zwölf Minuten nach Zugabe des Abwassers, führte zu keinen signifikanten Unterschieden. Auch in dieser Probe zeigt sich eine deutlich geringere Ges.Col.-Reduktion bei Wasserrucksack 4.

4.4 Erhöhung des Transmembrandrucks

Damit der Höhenunterschied zwischen Wasserstand im Gehäuse und dem Ende des Ablaufschlauches drucktechnisch auch wirksam wird, darf die Wassersäule von der Wasseroberfläche im Gehäuse bis zum Ende des Ablaufschlauches nicht unterbrochen sein. Um den Einfluss des Schlauchquerschnitts auf diesen Sachverhalt zu untersuchen, wurde der bisher verwendete Ablaufschlauch (Innendurchmesser 13 mm) mit einem Schlauch verglichen, der einen Innendurchmesser von 10 mm hat.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 76 gegenübergestellt.

Die Filtration wurde mit Trinkwasser bei maximalem Wasserstand bzw. einem maximal zu erreichenden TMD von ca. 80 mbar und mit einem gebrauchten Membranmodul durchgeführt.

Es ergaben sich für den 13 mm-Trinkwasserschlauch ein Durchfluss von 2,01 L/min und für den 10 mm-Trinkwasserschlauch ein Durchfluss von 3,19 L/min.

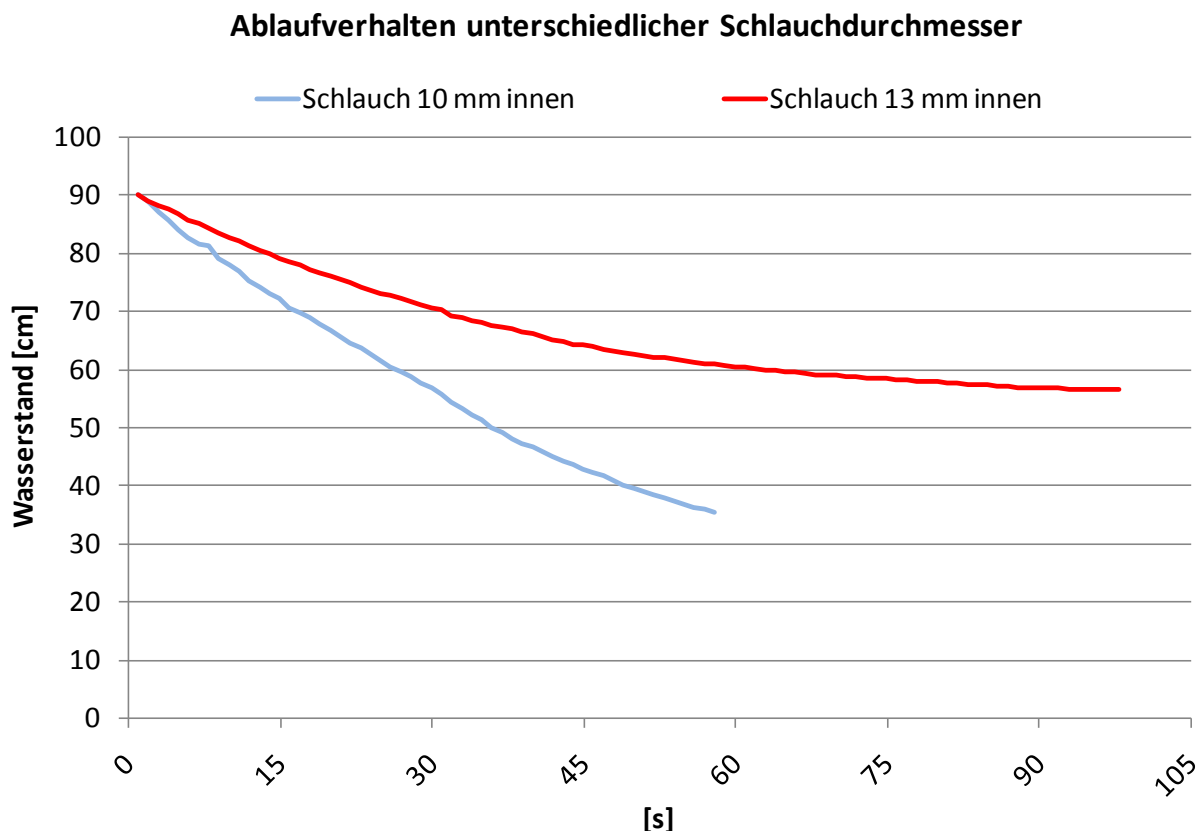


Abbildung 76: Gegenüberstellung des Ablaufverhaltens zweier Trinkwasserschläuche mit Innendurchmessern von 10 mm und 13 mm.

Reicht der Durchfluss nicht mehr aus, um den Querschnitt des Schlauchs komplett zu füllen, reißt der Saugheber ab und es kommt bei geringer werdendem Füllstand zum Erliegen der Filtration. Der minimal zu erreichende Wasserstand mit beiden Schlauchdurchmessern ist Abbildung 76 zu entnehmen. Dieser liegt beim kleineren Schlauchquerschnitt bei ca. 35,3 cm und beim größeren Schlauchquerschnitt bei 56,5 cm.

Wie in Kapitel 3.2.3 bereits erwähnt, wurden zur Erhöhung des TMD zwei Wasser-rucksäcke mit einer Permeatsaugleitung ausgestattet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 77 als Mittelwerte über zehn Minuten grafisch dargestellt. Vor der Verlängerung des Ablaufschlauches lag der mittlere Durchfluss bei ca. 1,0 L/min. Die Erhöhung des Transmembrandrucks (TMD) durch den verlängerten Ablaufschlauch führte zu einem Anstieg im Durchfluss auf ca. 1,6 L/min.

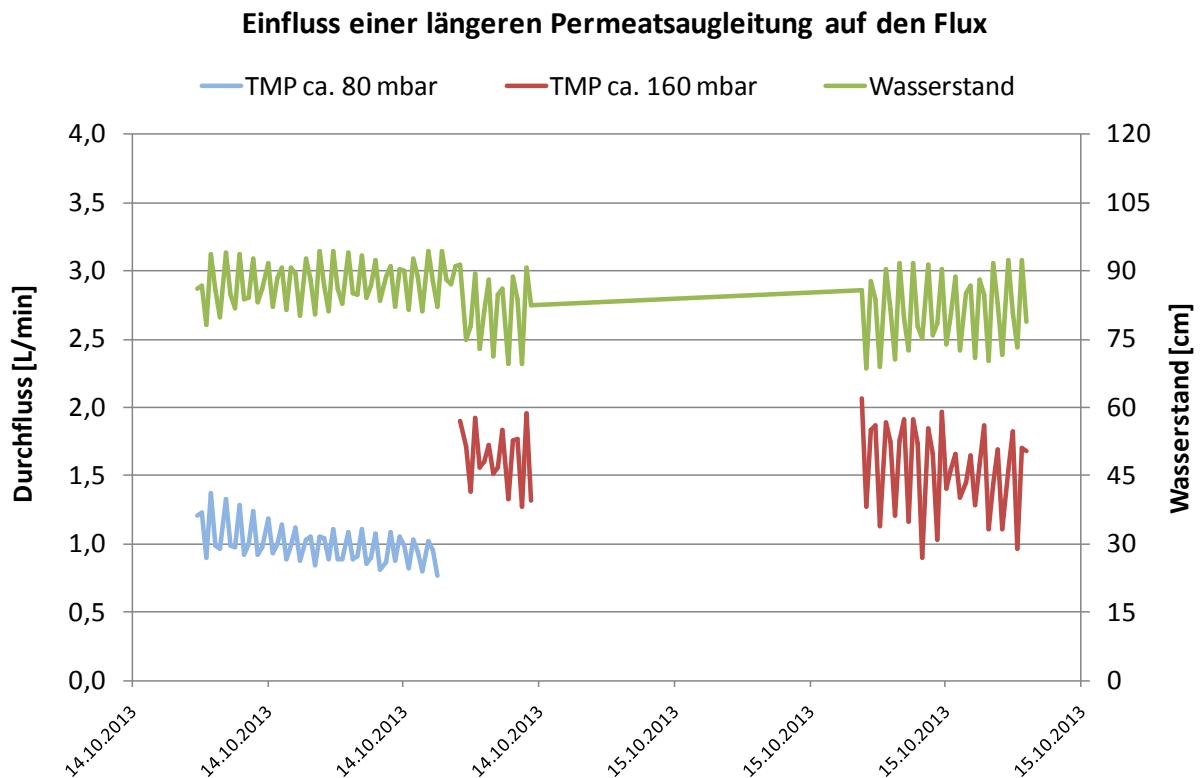


Abbildung 77: Einfluss einer längeren Permeatsaugleitung zur Erhöhung des Transmembrandrucks (TMD) auf den Durchfluss (dargestellt als Mittelwerte beider untersuchten Wasserrucksäcke, 10 min Mittelwerte)

Da der höhere TMD auch zu einer stärkeren Komprimierung der Deckschicht führt, ist fraglich, ob der höhere Durchfluss auch über längere Zeiträume erhalten bleibt. Versuche aus anderen Projekten haben gezeigt, dass sich ohne regelmäßige Reinigungen ein erhöhter TMD langfristig nicht unbedingt positiv auf den Durchfluss auswirkt. Zudem wird bei geringerem Druck die Membran dadurch schonender betrieben, dass die Deckschicht weniger komprimiert wird, in geringerem Maße kompaktiert und dadurch keine beschleunigte Erhöhung des Filtrationswiderstandes bewirkt.

4.5 Alternativ untersuchte Membran

Im Rahmen dieses Projektes wurden neben der bereits vielfach verwendeten Membran (Nadir) auch Module mit einer alternativen Membran (Membrana) mit höherer Permeabilität entwickelt. Die Spezifikationen dieser Membrane werden in Kapitel 4.1.3 behandelt.

Um die hydraulischen Eigenschaften beider Membrane zu untersuchen, wurden die unterschiedlichen Membranmodule in die Versuchsanlage einbaut und über einen

Zeitraum von 22 Tagen in Betriebsweise 4 betrieben. Abbildung 78 zeigt die Ergebnisse beider Membrane im Vergleich.

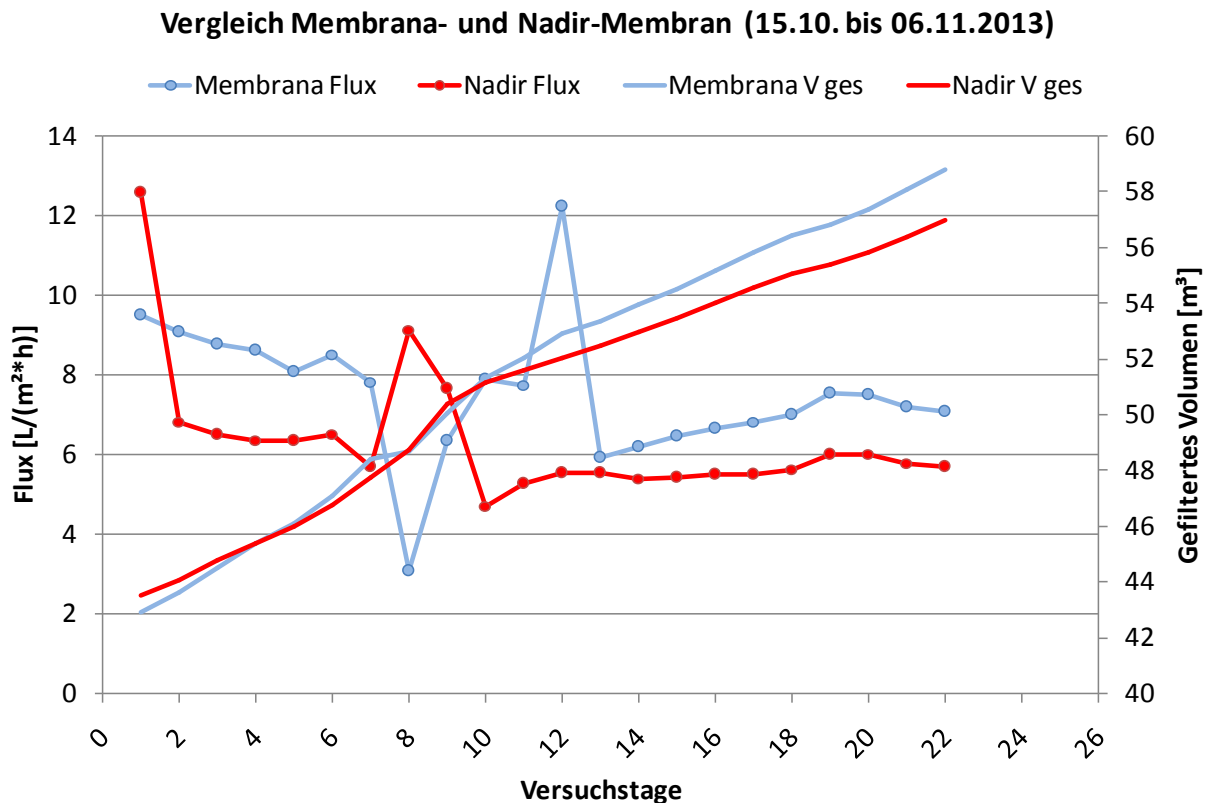


Abbildung 78: Vergleich einer Nadir- und einer Membrana-Membran in Bezug auf Flux und kumuliertes gefiltertes Wasservolumen

Die Membrana-Membran erreichte bei einem mittleren Flux von $7,5 \text{ L/m}^2\text{h}$ ein Gesamtertrag von $51,5 \text{ m}^3$. Mit einem mittleren Flux von $6,3 \text{ L/m}^2\text{h}$ und einem Ertrag von $50,9 \text{ m}^3$ liegen die Werte der Nadir-Membran nur geringfügig niedriger. Die höhere Permeabilität und der damit zu erwartende höhere Flux der Membrana-Membran scheint mit fortschreitender Filtrationsdauer und sich ausbildender Deckschicht immer weniger Auswirkungen auf den Durchfluss zu haben. Beachtet man den ersten Tag der Inbetriebnahme nicht, so weist die Membrana-Membran in den ersten Tagen mit einem Mittelwert von $8,6 \text{ L/m}^2\text{h}$ einen um $2,1 \text{ L/m}^2\text{h}$ höheren Flux auf. Vergleicht man die letzten fünf Tage, so liegt der Unterschied nur noch bei ca. $1,4 \text{ L/m}^2\text{h}$.

4.6 Lagerung und längerer Nichtbetrieb

4.6.1 Vorbemerkungen

Eine richtige Lagerung des Wasserrucksacks soll die Leistungsfähigkeit weder im Hinblick auf die Quantität noch auf die Qualität negativ beeinflussen. Die Lagerung

der Wasserrucksäcke kann in zwei unterschiedliche Arten der Lagerung unterschieden werden, zum einen die unbenutzte Lagerung, d.h. die Lagerung von Wasserrucksäcken in Lagerhallen, um auf mögliche Katastrophenfällen vorbereitet zu sein, zum anderen die Lagerung während des Betriebes. Je nach Situation kann es vorkommen, dass Wasserrucksäcke im Einsatzgebiet mehrere Tage bis Wochen nicht eingesetzt werden. Beide Szenarien sind in Testreihen untersucht worden. Zusätzlich wurde die Lagerungsfähigkeit von Membranmodulen untersucht.

Bezüglich der Lagerung werden vom Hersteller der Membranmodule folgende Anweisungen gegeben.

- ➔ Die Filtermodule sind grundsätzlich vor jeglicher Art von Beschädigungen zu schützen.
- ➔ Neue Filtrationsmodule sind trocken, lichtgeschützt und frostfrei zu lagern.
- ➔ Die Lagertemperatur darf 50 °C nicht überschreiten.
- ➔ Benutzte Module sind vor einer Einlagerung vollständig chemisch zu reinigen und anschließend luftdicht zu verpacken. Hierbei ist darauf zu achten, dass im Falle einer chemischen Reinigung keine Reinigungslösung im Modul verbleibt, da diese sonst zu schweren Beschädigungen führen kann.
- ➔ Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Module auch während einer langfristigen Lagerung nicht vollständig austrocknen. Das kann dazu führen, dass die Module bei der erneuten Inbetriebnahme irreversibel geschädigt werden. In diesem Falle müssen die Module in eine Lagerlösung eingelegt werden und anschließend luftdicht verpackt werden.
- ➔ Darüber hinaus sind die Module durch Zusatz von Bioziden gegen Schimmel- und Algenbildung zu schützen. Feuchte Module dürfen zu keinem Zeitpunkt Frost ausgesetzt werden. Eine chemische Regenerierung vor erneuter Inbetriebnahme kann sinnvoll sein.

Da die Hinweise eine bestimmte Infrastruktur voraussetzen, sind die Anweisungen im Einsatzfall des Wasserrucksacks nur bedingt umzusetzen.

4.6.2 Lagerung Membranmodule

Wie bereits zuvor erwähnt, wurde in den Langzeittests ein bereits gebrauchtes Membranmodul verwendet. Dieses Modul war vor dieser Testreihe bereits 40 Tage in Betrieb und wurde danach gechlort und in einer mit Trinkwasser gefüllten Kunststoff-

box für ca. 6 Monate gelagert. Das Modul war in dieser Zeit zu ca. 50 % mit Wasser bedeckt.

Abbildung 79 zeigt die Ergebnisse dieses Membranmoduls im Vergleich zu einem neuen und trocken gelagerten Modul. Das neue Modul wurde seit seiner Auslieferung 248 Tage trocken und unverpackt in der Versuchshalle bei einer Temperatur von ca. 20 °C gelagert. Beide Module wurden in Betriebsweise 1 über einen Zeitraum von 178 Tagen verglichen.

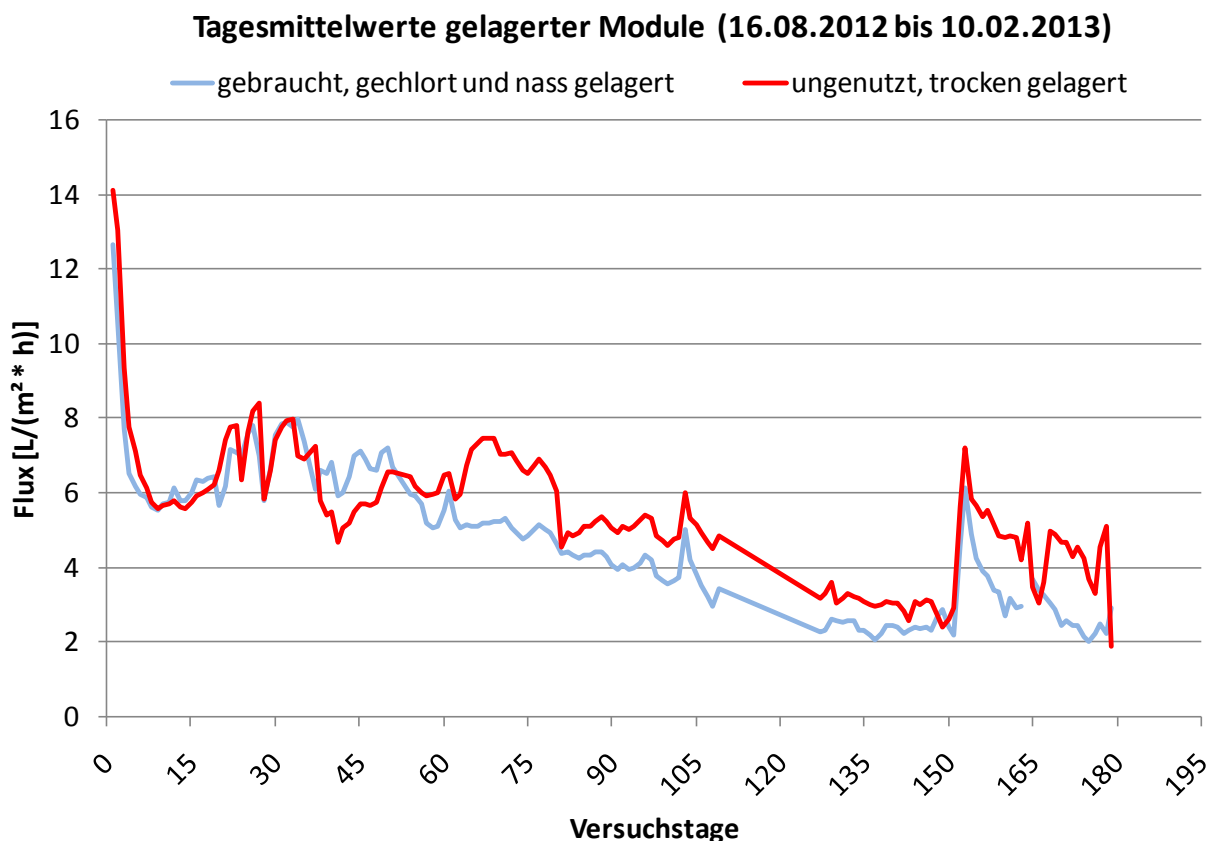


Abbildung 79: Flux (Tagesmittelwerte) eines neuen und trocken gelagerten Moduls sowie eines gebrauchten und nach Chlorung nass gelagerten Moduls

Am ersten Tag lag der Flux des neuen Moduls im Mittel bei ca. 14,1 L/m²*h und damit um ca. 1,5 L/m²*h höher als beim gebrauchten Modul. Über einen Betriebszeitraum von 179 Tagen lag der mittlere Flux des gebrauchten Moduls über den Gesamtzeitraum bei ca. 4,7 L/m²*h und der des neuen Moduls bei ca. 5,5 L/m²*h. Die Reinigung am 14.01.2013 durch eine einfache Spülung und Filtration mit Permeat erhöhte den Flux beider Wasserrucksäcke deutlich auf über 6 L/m²*h. Nach dieser Reinigung lag der mittlere Flux des gebrauchten Moduls bis zum Ende bei ca. 3,1 L/m²*h und des neuen bei ca. 4,6 L/m²*h.

Damit zeigte sich das neue Modul mit einem gesamten filtrierten Volumen von ca. 180,4 m³ gegenüber dem gebrauchten und gelagerten Modul mit einem Volumen

von ca. 152,6 m³ als leistungsfähiger. Dennoch ist das gebrauchte Modul auch nach der langen Gebrauchs- und Lagerungsphase noch in einem guten Zustand und damit auch einsatzfähig.

4.6.3 Lagerung Wasserrucksack

Neben dem Einfluss der Lagerung einzelner Module wurden auch komplette Wasserrucksäcke verglichen. Folgende Varianten wurden verglichen:

- ➔ Variante 1: neu zusammengebaut und seit 148 Tagen in Betrieb
- ➔ Variante 2: einmalig in Gebrauch und seitdem in teilgefülltem Zustand gelagert
- ➔ Variante 3: unbenutzt und seit 678 Tagen in einer Lagerhalle gelagert
- ➔ Variante 4: neu zusammenbaut

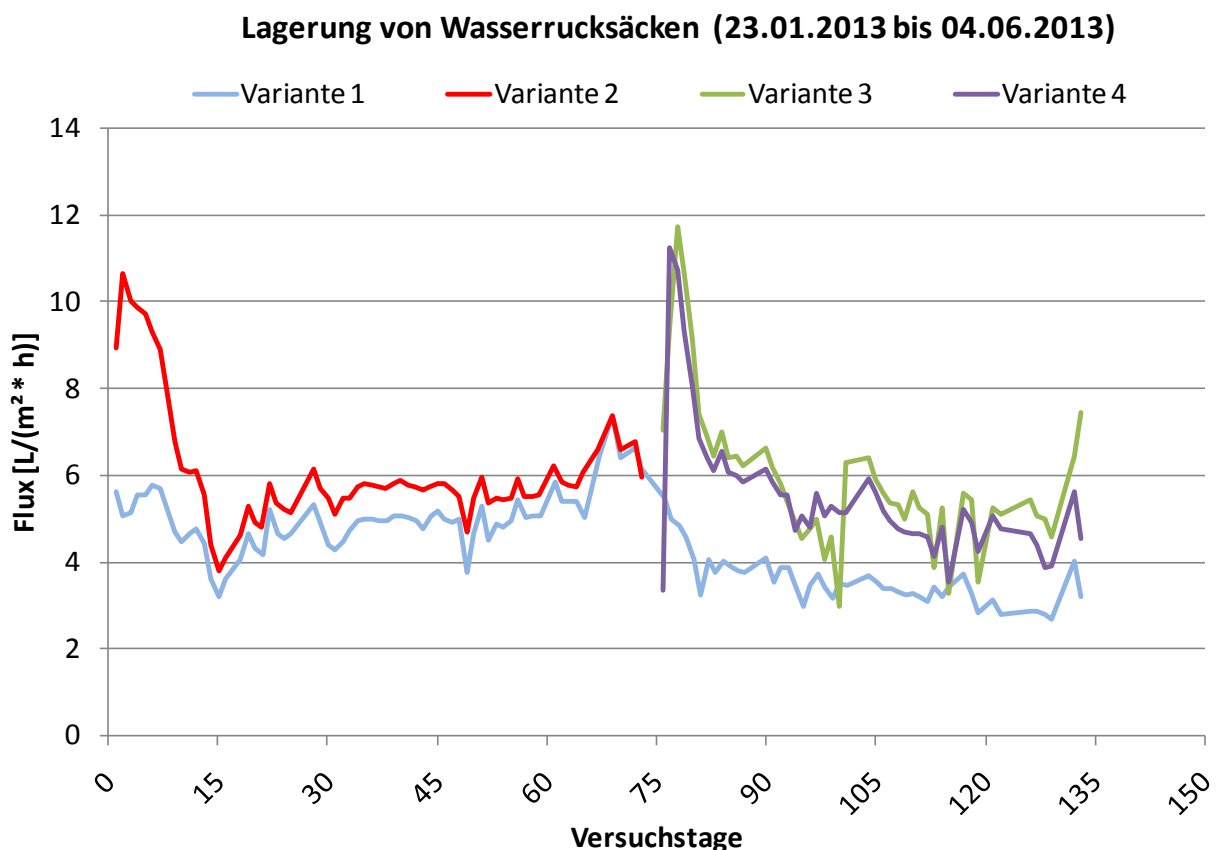


Abbildung 80: Fluxvergleich (Tagesmittelwerte) bei unterschiedlicher Lagerungs- und Betriebshistorie

Vergleicht man Variante 1 zu Beginn des Versuchszeitraums mit Variante 2, so wird deutlich, dass der Flux von Variante 2 in den ersten Tagen deutlich höher war. Auf-

grund der wesentlich kürzeren Filtrationszeit vor Beginn dieser Versuchsreihe war dieses Ergebnis zu erwarten. Bereits nach 15 Tagen ist dieser Unterschied deutlich geringer und Variante 2 liegt bis zur Außerbetriebnahme nur leicht über dem Flux von Variante 1. Vergleicht man den seit ca. 2 Jahren in einer Lagerhalle aufbewahrten Wasserrucksack (Variante 3) mit dem kurz vor den Versuchen zusammengebauten Wasserrucksack (Variante 4), so ist kein merklicher Unterschied im Flux festzustellen. Beide liegen gegenüber Variante 1 auf einem erhöhten Fluxniveau.

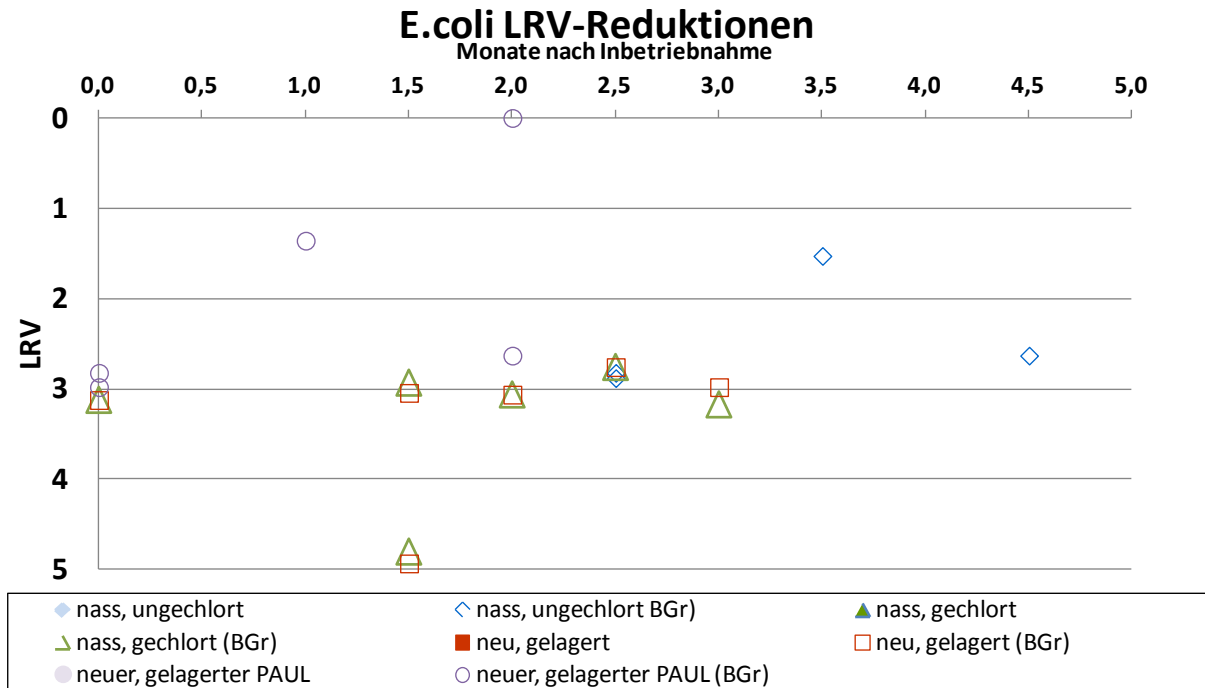


Abbildung 81: E.coli-LRV für unterschiedlich gelagerte Membranmodule

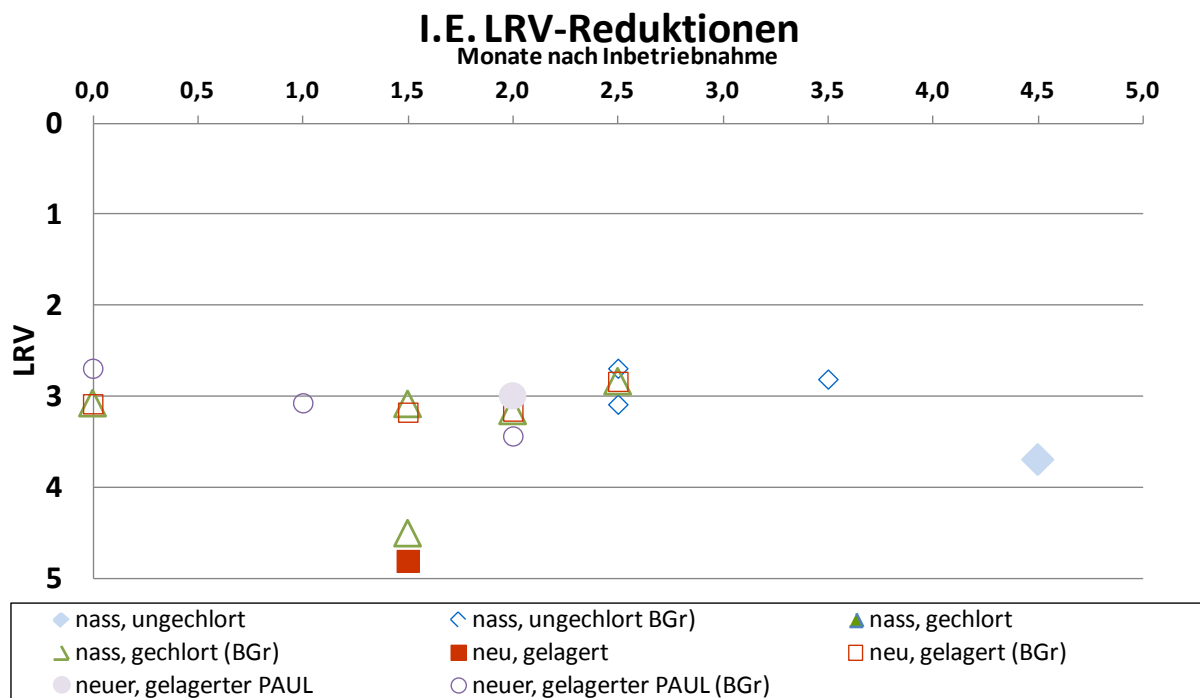


Abbildung 82: I.E.-LRV für unterschiedlich gelagerte Membranmodule

Abbildung 81 und Abbildung 82 zeigen die LRV für unterschiedlich gelagerte Membranmodule. Aus Abbildung 81 ist ersichtlich, dass nach keiner Art der Lagerung E.coli im Permeat nachgewiesen werden konnten. Die E.coli-Proben lagen alle unterhalb der Bestimmungsgrenze. I.E. konnten in nur wenigen Proben festgestellt werden.

Es scheint, als habe eine Lagerung, wie in der Anleitung beschrieben, keinen Einfluss auf die Filtrationsleistung, v.a. nass und gechlort gelagerte Membranmodule erzielen sehr gute Filtrationsergebnisse. Um eventuelle Faulungsprozesse bei einer längeren Lagerung zu vermeiden ist eine vorherige Chlorung auf jeden Fall empfehlenswert.

4.6.4 Trockenfallen

Zur Untersuchung der Wirkung eines Trockenfallens der Membranmodule sind unterschiedliche Versuche durchgeführt worden. Im **Vorgängerprojekt** wurde ein zuvor betriebenes Membranmodul bereits künstlich getrocknet. Hierfür wurde das Modul für 4 Tage bei 40 °C bis 45 °C in einem Trockenschrank getrocknet. Im Anschluss ist das getrocknete Membranmodul erneut in ein Wasserrucksack-Gehäuse verbaut und getestet worden. Es wurde festgestellt, dass kein Permeat floss und auch nach längerem Einweichen kein Durchfluss stattfand.

Die Trocknung eines fabrikneuen Membranmoduls hingegen führte in früheren Versuchen zu deutlich abweichenden Ergebnissen. Der Durchfluss direkt nach Wiederbefüllung betrug zwar ebenfalls 0 L/min. Ein längeres Einweichen des Moduls führte jedoch zu einem Durchfluss von ca. 6,7 L/min. Im Anschluss wurde das Modul mit einem Gemisch aus 50 % Trinkwasser und 50 % Zulauf Vorklärung betrieben, um den Keimrückhalt zu bestimmen. Nach dem Wasseraustausch ist der Durchfluss nach Wiederinbetriebnahme schlagartig auf ca. 0,3 L/min gesunken. Damit war das fabrikneue Modul für den Einsatz nicht mehr zu gebrauchen.

Die Filtrationsqualität des getrockneten, fabrikneuen Membranmoduls ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Filtrationsqualität eines im Trockenschrank getrockneten, fabrikneuen Membranmoduls

	E.coli	I.E.
	cfu/100 mL	cfu/100 mL
Rohwasser	86.640	12.910
Permeat	816	224
LRV	2	1,8

Es werden über 99 % E.coli, und 98 % der I.E. zurückgehalten. Eine Membranbeschädigung kann angesichts der zu hohen Bakterienbelastungen im Permeat nicht ausgeschlossen werden.

In diesem Projekt wurden Membranmodule bzw. komplette Wasserrucksäcke nach kurzem Betrieb trocken gelagert.

Für die Untersuchung eines trocken gefallenen und einzeln gelagerten Membranmoduls wurde dieses Modul für mehrere Wochen in einen Wasserrucksack eingebaut und über mehrere Wochen betrieben. Innerhalb des Versuchszeitraumes tropfte das Permeat lediglich aus dem Wasserrucksack. Der Durchfluss war zu gering, um bestimmt zu werden.

Zusätzlich wurden auch zwei Wasserrucksäcke untersucht, welche als Komplettsystem trockengefallen waren. Der eine Wasserrucksack wurde in einem Zeitraum vom Dezember 2011 bis Mai 2013 immer wieder kurz betrieben. Bis Anfang 2013 wurde er unbefüllt und danach mit einem Wasserstand von ca. 30 bis 40 cm gelagert.

Zur Ermittlung des Durchflusses wurde dieser vollständig mit Trinkwasser gefüllt und bei geöffnetem Hahn 22 Stunden stehen gelassen. Während dieser Zeit sind ca. 14,6 L Wasser durch die Membran hindurch geflossen. Dies entspricht einem mittleren Durchfluss von ca. 0,66 L/h. Im Folgenden wurden die beiden Wasserrucksäcke

ca. 24 Stunden mit geschlossenem Hahn stehen gelassen und im Anschluss geöffnet. Der Wasserfluss ist nach ca. 30 Sekunden zum Erliegen gekommen. In diesen 30 Sekunden sind jeweils ca. 400 mL Wasser aus dem Wasserrucksack geflossen.

Demzufolge führt ein Trockenfallen der Membran bzw. eine falsche Lagerung zu einem nahezu vollständigen Rückgang des Durchflusses. Im Vergleich zu der „aktiv getrockneten“ Membran aus dem Vorgängerprojekt scheinen hier jedoch nicht alle Membranporen zusammengefallen zu sein, einige Porenkanäle scheinen noch passierbar, weshalb sich ein minimaler Durchfluss ergibt.

Die Weiterverwendung von trockengefallenen Wasserrucksäcken ist nicht möglich. Ein Trockenfallen führt zu einem nahezu vollständigen Verschluss der Membran. Ein normales Trockenfallen, wie es in diesem Projekt getestet wurde, führt dazu, dass kein Wasser mehr durch die Membran hindurch fließt. Dies hat wiederum den Vorteil, dass kein scheinbar filtriertes und somit scheinbar gereinigtes Wasser entsteht sondern gar kein Wasser aus dem Wasserrucksack fließt.

4.6.5 Extreme Witterungseinflüsse

Bereits im Vorgängerprojekt kam es durch die winterlich Kälte zum Einfrieren von Membranmodulen. Die Auswirkungen von Kälte auf die Leistungsfähigkeit von Modulen sind im Laufe dieses Projektes ebenfalls untersucht worden. Hierfür wurde ein Wasserrucksack für mehrere Tage teilbefüllt bei Minusgraden im Freien gelagert und eingefroren. Im Anschluss ist die eingefrorene Membran im Gebäude aufgetaut und in die Versuchsanlage eingebaut worden. Die hydraulischen Ergebnisse sind in Abbildung 83 dargestellt. Neben den Ergebnissen des Moduls vor und nach den Einwirkungen des Frosts ist zum Vergleich auch der Wasserrucksack P 4.2 dargestellt, welcher in derselben Betriebsweise untersucht und zum Zeitpunkt des Einfrierens von P 4.1 weiter betrieben wurde.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit des ehemals eingefrorenen Wasserrucksackes liegt bezüglich der Fluxwerte in demselben Bereich wie die des bis dahin in gleicher Betriebsweise durchgängig betriebenen Wasserrucksacks P 4.2. Das ehemals eingefrorene Membranmodul ist somit bezogen auf die Hydraulik noch immer einsatzfähig.

Tagesmittelwerte eingefrorenes Modul (28.08.2012 bis 02.06.2013)

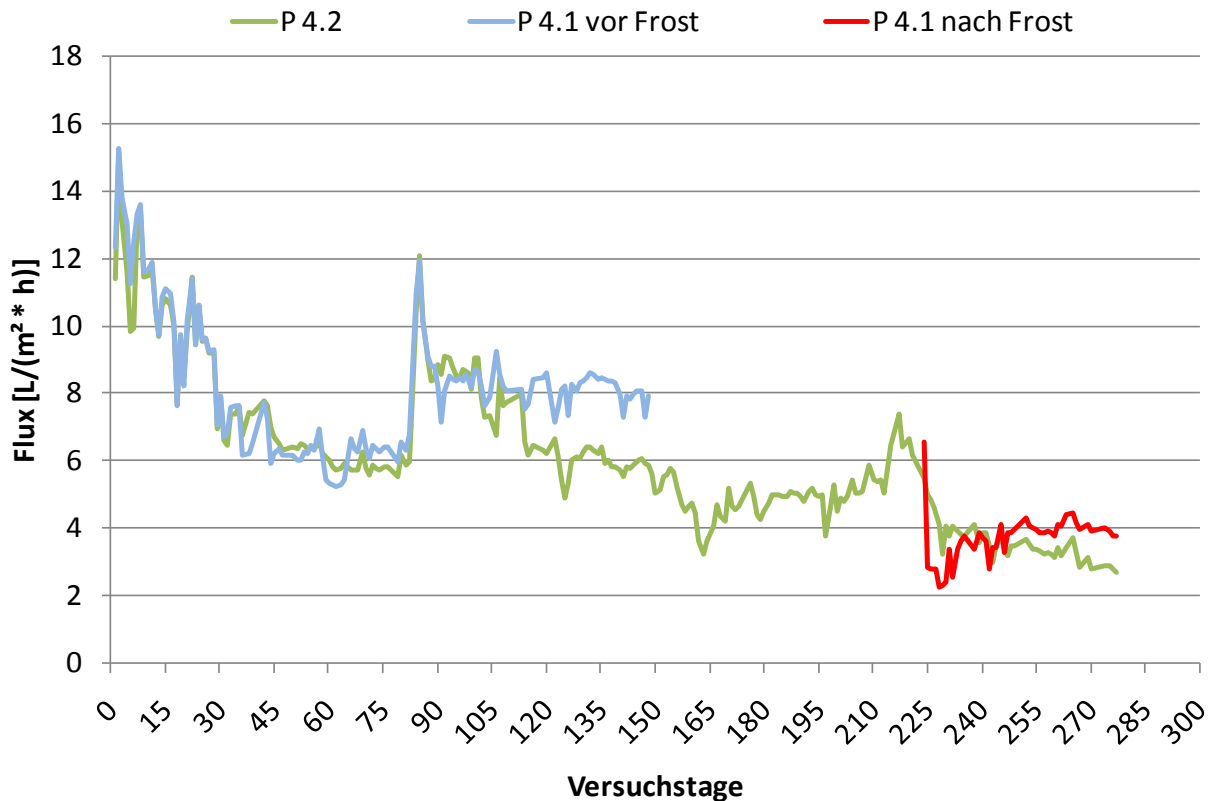


Abbildung 83: Flux (Tagesmittelwerte) eines zwischenzeitlich eingefrorenen Wassersacks

Bezogen auf den Bakterienrückhalt zeigten sich keine signifikanten Abweichungen im Vergleich zu nicht dem Frost ausgesetzten Membranen. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass ein mehrtägiges Einfrieren der Membran nicht zwingend einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit bezogen auf die Bakterienreduktion zeigen muss. Die Log-Stufen Reduktion für E.coli, Ges.Col., I.E. und für die GKZ sind in Abbildung 84 dargestellt.

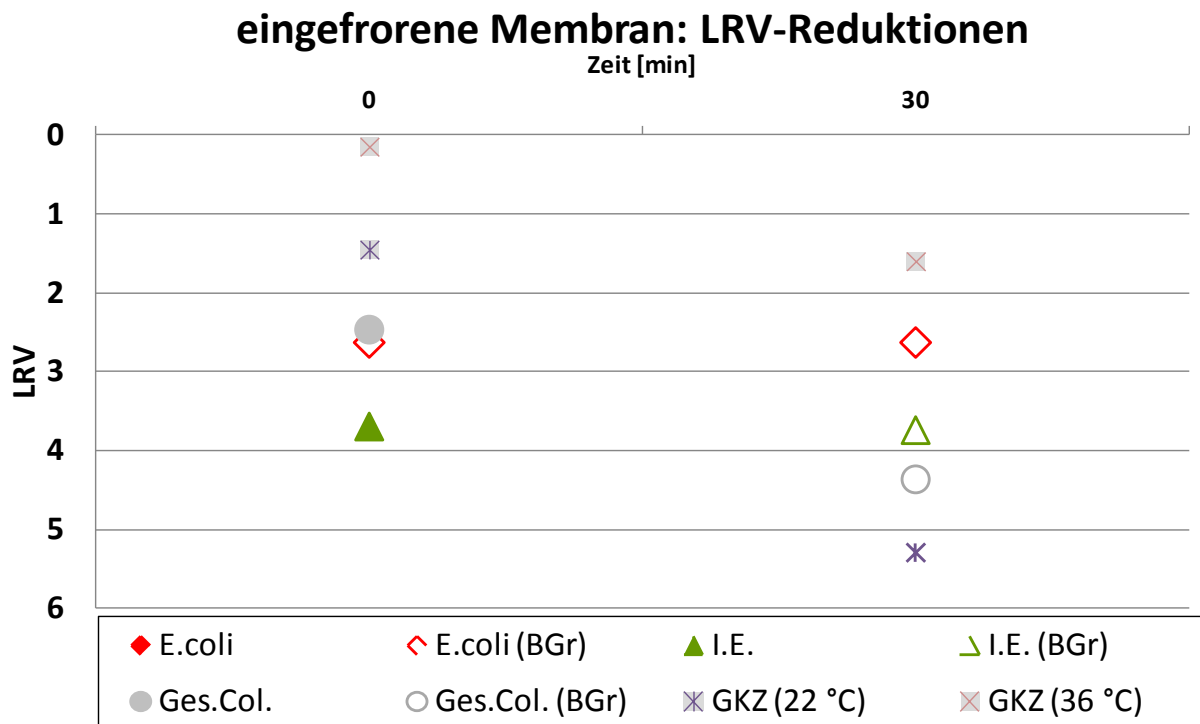


Abbildung 84: LRV der eingefrorenen und danach aufgetauten Membran

Im hier getesteten Fall hatte das Einfrieren keinen großen Einfluss auf die Filtrationsleistung. Weder die Qualität noch die Quantität der Filtration haben sich signifikant verschlechtert. Auch wenn der hier getestete zwischenzeitlich eingefrorene Wasserrucksack keine Veränderungen bezüglich des Keimrückhaltes aufweist, ist dringend davon abzuraten, den Wasserrucksack Frost auszusetzen. Es ist nicht auszuschließen, dass die Volumenänderungen des Wassers durch die starken Temperaturschwankungen die Membran dauerhaft schädigen.

4.7 Reinigung und Wartung

Im Verlauf des Projektes sind unterschiedliche Reinigungen der Wasserrucksäcke durchgeführt worden. In Tabelle 10 sind die am FG SWW und am UBA untersuchten Reinigungsvarianten für die Wasserrucksäcke aufgeführt.

Tabelle 10: Durchgeführte Reinigungsarten (die Reinigungen 4 und 5 wurden vom UBA durchgeführt)

	Wasser	Chlor	weitere Stoffe	Einwirkzeit	Kommentar 1	Kommentar 2
1	"sauberes Wasser" Permeat	Natrium-Hypochlorit	Natrium-Hydroxid	12 h		
	"sauberes Wasser" Permeat	-	Zitronensäure	3 bis 4 h		
2	"sauberes Wasser" Permeat	Chlortablette 200 g, 90 % akt. Chlor	-	12 h		
3	"sauberes Wasser" Permeat	Chlortablette 100 g, 90 % akt. Chlor	-	12 h		
4	Rohwasser	130 g freies Chlor	-	24 h	Chlorkonz. 830 mg/L	
5	Rohwasser	50 g freies Chlor	-	24 h	Chlorkonz. 80 mg/L	Chlorkonz. nach 24 h und 50 L: 0,1 mg/L
6	"sauberes Wasser" Permeat	Chlortablette 20 g, 65 % akt. Chlor	-	2 h		
7	"sauberes Wasser" Permeat	Chlortablette 80 g, 65 % akt. Chlor		24 h		
	Oberflächenwasser	-	Essig	30 min	1 L kochendes Wasser hinzu	
8	Rohwasser	-	-	-	2 x spülen	
	"sauberes Wasser" Permeat	-	-	-	1 x spülen	

Die umfangreichste getestete Reinigungsvariante (Variante 1) beruht auf einer Empfehlung der Martin Systems AG. Hierfür sind neben Chlor in Form von Natriumhypochlorid (NaOCl) zusätzlich Natriumhydroxid (NaOH) und Zitronensäure (C₆H₈O₇) notwendig. Diese Art der Reinigung ist äußerst zeitaufwändig. Zunächst müssen NaOH und NaOCl mit „sauberem Wasser“ dem Wasserrucksack zugegeben werden. Das Chlorgemisch muss nun über längere Zeit, sinnvoller Weise am besten über Nacht, einwirken. Anschließend müssen das Chlorgemisch entfernt und der Wasserrucksack erneut mit „sauberem Wasser“ bzw. Permeat gefüllt werden. Diesem „sauberem Wasser“ ist dann die Zitronensäure zuzugeben. Das Wasser-Zitronensäure-Gemisch muss erneut mehrere Stunden einwirken.

In weiteren Untersuchungen wurden einfachere Reinigungsarten, die lediglich auf Chlor basieren, getestet. Hierfür sind einfache, handelsübliche Chlortabletten und „sauberes Wasser“ bzw. Permeat eingesetzt worden. Bei den Tabletten handelt es

sich um zwei verschiedene Arten. Die größeren Tabletten haben eine Masse von 200 g mit 90 % aktivem Chlor, die kleineren sind 20 g schwer, davon sind 65 % aktives Chlor. Zwei Reinigungsvarianten wurden vom Umweltbundesamt getestet. Hierfür wurden 130 g bzw. 50 g Hypochlorit und Rohwasser verwendet. Schließlich wurde eine weitere Variante auf Basis von Chlortabletten untersucht. Die Wirkung der Reinigung soll bei dieser Variante zusätzlich durch den Einsatz von Essig verbessert werden. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der unterschiedlichen Reinigungsvarianten bezogen auf die Erhöhung des Durchflusses und die Reduzierung der Gesamtkeimzahl.

Tabelle 11: Ergebnisse der durchgeführten Reinigungen bezogen auf den Durchfluss (Mittelwert aus 20 Tagen) und die GKZ

Variante	mittlerer Durchfluss		Bakterien im Permeat							
	vor R.	nach R.	vor Reinigung				nach Reinigung			
	L/min	L/min	GKZ 20 °C		GKZ 36 °C		GKZ 20 °C		GKZ 36 °C	
			cfu/ml	LRV	cfu/ml	LRV	cfu/ml	LRV	cfu/ml	LRV
1	1,4	2	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,6	0,6	14.217	1,5	29.583	0,9	0,8*	2,1	0,8*	2,9
3	0,7	0,6	10.400	1,2	55,0	3,2	1,0*	2,3	0,5*	3,1
6	0,5	0,5	182	1,6	613	1,1	345,8**	3,1	410,3**	2,7
7	0,5	0,5	400.000	0,0	400.000	-0,9	1,0*	2,1	3,5*	1,5
8	1	1,3	4.501	0,2	3.823	-0,2	5.058	-0,5	4.962	-0,2

* deutlich geringere GKZ im Zulauf; ** deutlich erhöhte GKZ im Zulauf

Es zeigt sich, dass die aufwändigste Reinigungsart (Variante 1) den besten Effekt bezogen auf den Durchfluss aufweist. Der Durchfluss nach der Reinigung ist um 45 % erhöht. Leider sind für diese Reinigungsvariante keine bakteriellen Untersuchungsergebnisse vorhanden. Die weiteren Reinigungsvarianten auf Chlorbasis zeigen längerfristig keinen oder nur einen minimalen direkten Effekt auf den Durchfluss. Hierbei ist zu erwähnen, dass zur Beseitigung der Deckschicht in der Membranreinigung neben Chlor noch ein saures Reinigungsmittel wie z.B. Zitronensäure verwendet wird.

Die einfachste Reinigungsart (mehrmaliges ausspülen mit Rohwasser und sauberem Wasser) führt hingegen zu einer Durchflusserhöhung um 32 %. Bezogen auf die Bakterienbelastung im Permeat zeigt sich bei den Chlorreinigungen ein deutlich positiveres Bild. Sämtliche Reinigungsvarianten auf Chlorbasis konnten die Bakterienzahl im Ablauf verringern. Die Qualität der verschiedenen Reinigungsvarianten lässt sich jedoch nur schwer miteinander vergleichen. Dies liegt zum einen daran, dass die Reinigungen nicht zur gleichen Zeit stattfanden und zum anderen unterschiedliche Verunreinigungen vorlagen.

Auf Basis der durchgeführten Reinigungsversuche sind keine angemessenen Aussagen zu Reinigungsintervallen bzw. der Reinigungshäufigkeit möglich. Die Häufigkeit der Reinigung hängt von zahlreichen, meist nicht genau bekannten Randbedingungen ab, die in diesem Projekt nicht ausführlich untersucht werden konnten. Die Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen macht eine Festlegung von Reinigungsintervallen nahezu unmöglich. Primär ist die Dauer zwischen zwei Reinigungen von der Rohwasserqualität abhängig.

Je nach Verschmutzungsgrad des Rohwassers müssen Reinigungen in unterschiedlichen Zeitintervallen durchgeführt werden. Neben der Rohwasserqualität spielen weitere Faktoren wie die Umgebungs- und Wassertemperatur, Luftfeuchtigkeit und z.B. auch der Standort eine wichtige Rolle. Je nach zugeführter Wassertemperatur wachsen unterschiedliche Erreger unterschiedlich schnell und führen so zu einer häufigeren Reinigungsnotwendigkeit. Außerdem kann es abhängig von z.B. der Umgebungstemperatur und der Sonneneinstrahlung schneller zu Faulungsprozessen auf der Rohwasserwasserseite kommen. Werden Faulungsprozesse durch Geruchsbeeinträchtigungen wahrgenommen, ist eine sofortige Reinigung von Nöten.

Im Bereich der Wartungsintervalle verhält es sich nicht anders. Je nach Schwebstoffen, Sanden etc. im Rohwasser fallen auf der Rohwasserseite schnell größere Schmutzmengen an. Diese können je nach Menge dazu führen, dass Teile der Membranoberfläche nicht mehr ausreichend mit Rohwasser versorgt werden. Diese unzureichende Rohwasserversorgung führt dazu, dass die besagten Bereiche nicht mehr oder nur noch geringfügig zur Filtration beitragen können und die filtrationsaktive Membranoberfläche somit zurückgeht.

Eine regelmäßige Wartung im Sinne einer Entleerung über den Bodenablass und einer Reinigung mit Permeat durch einfache Spülung und gelegentliches Schütteln des Wasserrucksackes ist dementsprechend empfehlenswert.

Da auch hier eine starke Abhängigkeit von den vorherrschenden Bedingungen besteht und eine zu lange Verfestigung des Materials zwischen den einzelnen Membranplatten verhindert werden soll, ist eine solche Wartung am besten wöchentlich durchzuführen.

Aus rein technischen Gesichtspunkten allein ist dies nicht unbedingt derart häufig nötig, jedoch spielt hier auch die Routine der Anwender eine wichtige Rolle. Wird ein zu langes Wartungsintervall empfohlen, so besteht die Gefahr, dass die Reinigungsnotwendigkeit unterschätzt und somit vernachlässigt bzw. letztlich vergessen wird. Schließlich führt eine seltenerer Wartung nicht direkt zu einem merklichen Rückgang der Filtrationsleistung. Die Reduzierung des Durchflusses kann ohne entsprechende Auswertung i.d.R. erst nach längerer Zeit festgestellt werden.

Ein einfaches Entleeren über den Bodenablass mit nachfolgender erneuter Teilbefüllung sollte vor jeder längeren Stillstandzeit durchgeführt werden. Durch das Ausspülen der Rückstände kann eine starke Verkeimung der Rohwasserseite ggf. verhindert werden. Eine zusätzliche Entleerung der Teilbefüllung nach der Stillstandzeit kann dazu führen, dass im Rohwasser gebildete Bakterien ausgespült werden. Die Bakterienbelastung im Rohwasser könnte dadurch zusätzlich deutlich verringert werden.

4.8 Verkeimung der Reinwasserseite

4.8.1 Inbetriebnahme

Es wurden drei Szenarien eines möglichen Fehlbetriebes getestet. Im ersten Szenario ist die Filtration nach der ersten Inbetriebnahme zu kurz, dies führt dazu, dass das Glycerin nicht vollständig ausgespült wird. Für das zweite Szenario ist ein Wasserrucksack falsch zusammengebaut worden. Der Dichtring zwischen Kugelhahn und Membrananschlusset wurde hierfür bewusst weggelassen. Dies kann in der Praxis entweder einen Produktionsfehler oder einen Fehlbetrieb nach einer Reinigung darstellen. Im letzten Szenario ist eine beschädigte Membran getestet worden. Eine Membranbeschädigung kann ebenfalls produktionsbedingt sein, wobei üblicherweise Kontrollen durchgeführt werden, um Schäden feststellen zu können.

Membranschäden können aber auch durch eine mechanische Reinigung der Membranplatten-Zwischenräume entstehen.

Eine zu kurze Filtration zu Beginn kann schwerwiegende Folgen haben. Der Grund hierfür ist das vorhandene Glycerin, welches die Membranen lagerungsfähig macht. Dieses Glycerin sollte bei der ersten Filtration direkt ausgespült werden. Ist die erste Filtration jedoch zu kurz, so wird das Glycerin nicht völlig ausgespült und befindet sich weiterhin im Wasserrucksack bzw. sogar auf der Reinwasserseite der Membran. Problematisch an Glycerin ist, dass es für Bakterien als Nährstoff dient. Sollten beim ersten, kurzen Betrieb Bakterien auf die Reinwasserseite gelangen und die Wasserrucksäcke dann längere Zeit stehen, so können sich die Bakterien dank des vorhandenen Glycerins rasch vermehren. Somit kann es zu einer starken Kontamination der Reinwasserseite kommen. Nach einer "Startfiltration" von ca. 50 L ist das Glycerin nahezu vollständig ausgespült.

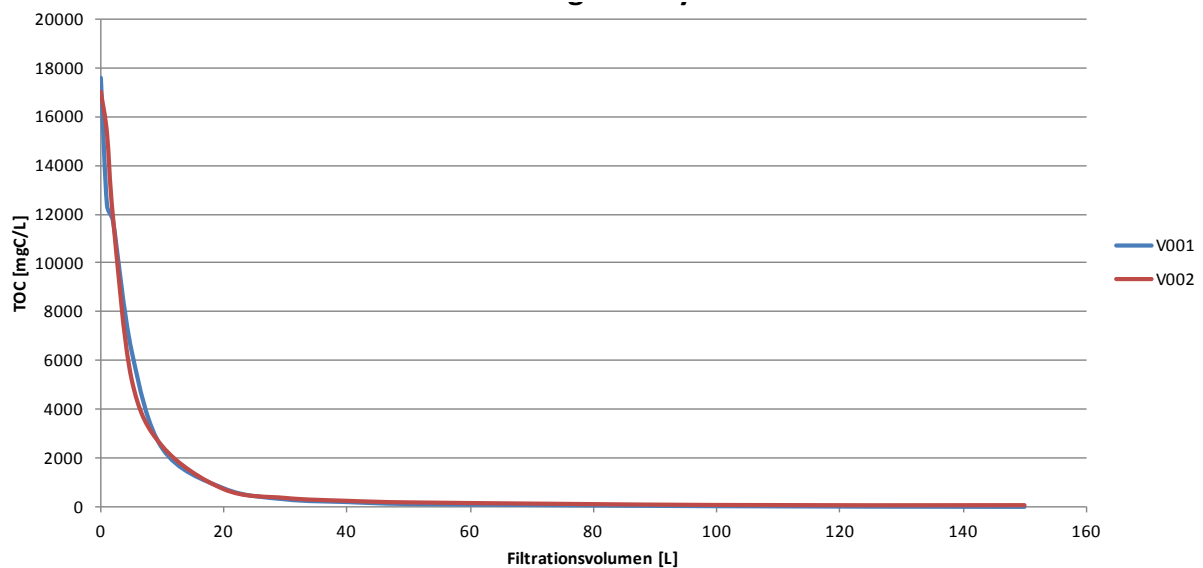


Abbildung 85: Auswaschung des Glycerins (dargestellt als TOC) aus zwei Wasserrucksäcken (V 001 und V 002)

Die Glycerinauswaschung ist in Abbildung 85 dargestellt, wobei die Glycerinkonzentration als Gesamtkohlenstoffkonzentration (TOC) bestimmt worden ist. Zwei PAULs sind dafür mit Trinkwasser gefüllt und betrieben worden. Der TOC im Permeat ist in kurzen Abständen bestimmt worden. Die Konzentrationen direkt nach Filtrationsbeginn liegen bei 17.600 mg/L bzw. 17.000 mg/L. Nach 50 L liegt die Konzentration bei nur noch 139 mg/L bzw. 173 mg/L. Die 100 L-Proben weisen eine TOC-Konzentration von 49 mg/L bzw. 67 mg/L auf. Der Versuch ist nach 150 L beendet worden, die Konzentration hat sich bis dahin auf 22 mg/L bzw. 59 mg/L reduziert. Die Glycerinkonzentration nimmt dementsprechend um über 99 % ab. Die Log-Stufen-Reduktion an TOC beträgt 2,9 Log-Stufen bzw. 2,5 Log-Stufen. Der Permeatfluss ist mit 180 L/h bestimmt. Die TOC-Konzentration im Trinkwasser liegt bei 1 mg/L bis 2 mg/L.

Die Verkeimung der Permeate mit (V 003 und V 004) und ohne Glycerin (V 001 und V 002) ist in Tabelle 12 dargestellt. Dabei wurden innerhalb einer Zeitspanne von 8 Tagen an drei nicht aufeinanderfolgenden Tagen Proben gezogen; lediglich für den kurzen Zeitraum dieser Probenahmen wurden die Wasserrucksäcke in Betrieb genommen; außerhalb dieser Probenahmezeiten fand keine Filtration statt. Am Versuchstag 3 wurden Proben direkt mit Beginn der Filtration sowie nach Filtration von 50 L und von 100 L gezogen.

Das Rohwasser, welches sich noch in den Wasserrucksäcken befand, war mit fortschreitender Zeit deutlich stärker verkeimt als das am Versuchstag 1 eingefüllte Rohwasser aus der Vorlage. Am Versuchstag 2 wurden im Rohwasser des Wasserrucksacks V 003 E.coli von 390.000 cfu/100 mL und Ges.Col. von 88.000.000 cfu/100 mL bestimmt worden. Am Versuchstag war auf die Analyse ver-

zichtet worden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Bakterienbelastung innerhalb dieser 5 Tage zwischen Versuchstag 2 und Versuchstag 3 noch einmal deutlich zugenommen hatte.

Tabelle 12: Versuchsergebnisse zur Wirkung des Glycerins auf die Bakterienreduktion; die Membranen V 001 und V 002 sind glycerinfrei; die Membranen V 003 und V 004 sind mit Glycerin beschichtet

	Probe	Probenahme nach	E .coli cfu/100 ml	Ges.Col. cfu/100 ml
Versuchstag 1 (Tag 1)	Rohwasser Vorlage		5.000	100.000
	V 001	10 L	1	19
	V 002	10 L	1	2
	V 003	10 L	1	52
	V 004	10 L	< BGr.	57
Versuchstag 2 (Tag 3)	Rohwasser aus V 003		390.000	88.000.000
	V 001	0 L	< BGr.	23
	V 002	0 L	< BGr.	16
	V 003	0 L	220	340.000
	V 004	0 L	70	160.000
Versuchstag 3 (Tag 8)	V 001	0 L	< BGr.	1
	V 002	0 L	< BGr.	< BGr.
	V 003	0 L	4.600	1.360.000
	V 004	0 L	809	5.820.000
	V 001	50 L	< BGr.	7
	V 002	50 L	< BGr.	< BGr.
	V 003	50 L	98	72.917
	V 004	50 L	39	58.750
	V 001	100 L	< BGr.	2
	V 002	100 L	< BGr.	< BGr.
	V 003	100 L	41	16.476
	V 004	100 L	22	15.215
	Chlorierung Versuchstag 3	V 001, V 002		< BGr.
V 003, V 004		< BGr.	< BGr.	
Hohe Konzentrationswerte sind rot hervorgehoben				

Die Glycerinbelastung führt v.a. an den Versuchstagen 2 und 3 zu einem deutlichen Anstieg der Bakterien im Permeat. Eine Chlorierung am Ende des dritten Versuchstages führt zu einer vollständigen Elimination der Bakterien in allen Versuchen.

Bereits für den Versuchstag 2 ist anzunehmen, dass eine permeatseitige Verkeimung vorlag. Dafür spricht eine E.coli-Konzentration von $2,2 \cdot 10^2$ cfu/100 mL im Permeat bei einer gleichzeitigen Rohwasserbelastung von $3,9 \cdot 10^5$ cfu/100 mL. In Kap. 4.3.8,

Tabelle 8 war gezeigt worden, dass eine Rohwasserbelastung mit E.coli von $4,7 \cdot 10^5$ cfu/100 mL auf unterhalb der Bestimmungsgrenze reduziert werden kann.

Die Ergebnisse für Versuchstag 3 bestätigen diese Aussage auf einem nochmals erhöhten Konzentrationsniveau. Dennoch ist mit Blick auf die Ergebnisse nach einer Filtration von 100 Litern zu konstatieren, dass trotz des unsachgemäßen Betriebes eines noch glycerinbehafteten Membranmoduls die daraus resultierenden negativen Effekte auf die Permeatqualität nach einer Filtration von schätzungsweise 200 Litern vollständig beseitigt wären.

4.8.2 Mechanische Schäden

Ein fehlerhaft montierter Wasserrucksack kann ebenfalls dazu führen, dass der Bakterienrückhalt negativ beeinflusst wird. Als Hauptfehlerquelle ist eine fehlende Dichtung zwischen dem Anschlusset der Membran und dem Kugelhahn zu sehen.

Neben dem falschen Zusammenbau stellt eine Beschädigung der Membran eine Fehlerquelle dar. Im Vorgängerprojekt wurde bereits gezeigt, dass eine kleine Membranbeschädigung (zwei 1 cm lange Risse in zwei unterschiedlichen Membranplatten) auf längere Sicht keinen signifikanten Einfluss auf die Filtrationsqualität hat. Tabelle 13 zeigt nochmals zusammengefasst die Ergebnisse des Vergleichs einer beschädigten und unbeschädigten Membran aus dem Vorgängerprojekt. Die gute Filtrationsqualität scheint durch die Deckschichtbildung zustande zu kommen. Diese Deckschicht „überwuchert“ die Risse und dichtet diese dadurch höchstwahrscheinlich ab.

Tabelle 13: Ergebnisse der bakteriellen Untersuchung einer beschädigten und intakten Membran

	beschädigte Membran			intakte Membran		
	E.coli	Ges.Col.	I.E.	E.coli	Ges.Col.	I.E.
	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml
Rohwasser	760.000	5.900.000	61.000	760.000	5.900.000	61.000
0 Liter	13.000	130.000	<1	164	829	<1
50 Liter	62	107	8,6	12,2	51	1
500 Liter	1	11	<1	3	21	1

Wegen der überraschend guten Ergebnisse im Vorgängerprojekt wurde in diesem Projekt nun eine deutlich größere Membranbeschädigung (siehe Abbildung 86), welche z.B. durch eine manuelle Entfernung von Teilen aus den Membranzwischenräumen entstehen kann, untersucht.

Trotz fehlenden Dichtungsringes bzw. des eindeutigen Schnitts in der Membran verhält sich der Durchfluss ähnlich wie bei einem normalen, intakten Wasserrucksack. Die Reinigungsleistungen sind jedoch deutlich geringer. Auf Bakterienuntersuchungen ist nach optischer Auswertung der Permeate verzichtet worden. Die geringere Filterqualität ist bereits an der Trübung des Permeats deutlich zu erkennen. Abbildung 87 (links, mittig) zeigt die Permeate der beiden fehlerhaften Wasserrucksäcke nach mehreren Wochen Filtrationsdauer im Vergleich zu einem klaren Permeat (rechts)



Abbildung 86: Membran mit deutlich sichtbarem Schnitt

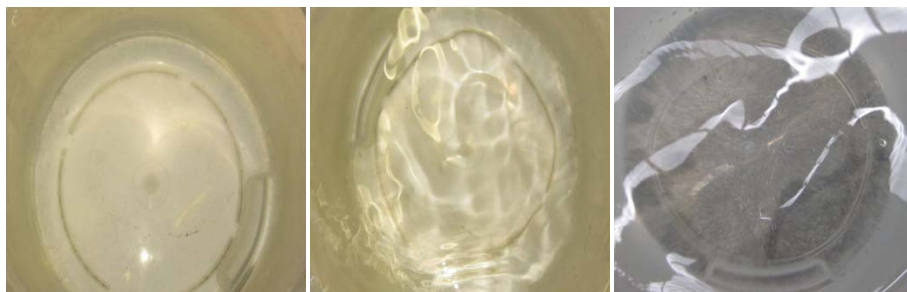


Abbildung 87: Permeate der Wasserrucksäcke mit Schnitt (links), ohne Dichtring (mittig), klares Permeat (rechts)

4.8.3 Bakterienwachstum bzw. Deckschichtbildung innerhalb des Membranmoduls oder der Armaturen

Zur Untersuchung der Verkeimung der Reinwasserseite sind Schläuche und andere Bauteile, die sich hinter der Membran befinden, bakteriologisch untersucht worden. Abbildung 88 zeigt beispielhaft Bilder der Innenseiten von Ablaufschläuchen.



Abbildung 88: Ablagerungen im Ablaufschlauch (10 mm)

In Tabelle 14 sind die bakterielle Verkeimung der Schläuche pro cm² und pro 10 mL dargestellt.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse kann darauf geschlossen werden, dass Betriebsweise 3, mit der abendlichen Spülung einer Verkeimung bzw. Bakterienablagerung in den Schläuchen entgegenwirken kann.

Tabelle 14: Bakterielle Verkeimung der Schläuche bezogen auf 1 cm² Schlauchfläche und 10 mL „kontaminiertes Wasser“

	BW	E.coli cfu/cm ²	Ges.Col. cfu/cm ²	I.E. cfu/cm ²	GKZ (22 °C) cfu/cm ²	GKZ (36 °C) cfu/cm ²
Schlauch (vor Ventil)	2	0	55	30	>30	>30
	3	0	0	0	>30	>30
	4	0	1.312	32	>30	>30
Schlauch (nach Ventil)	2	0	2.500	35	>30	>30
	3	0	0	0	>30	>30
	4	0	986	80	>30	>30
		cfu/10 ml	cfu/10 ml	cfu/10 ml	cfu/10 ml	cfu/10 ml
Schlauch (vor Ventil)	2	0	5.417	2.980	>3.000	>3.000
	3	0	0	0	>3.000	>3.000
	4	0	142.750	3.500	>3.000	>3.000
Schlauch (nach Ventil)	2	0	>250.000	3.486	>3.000	>3.000
	3	0	0	0	>3.000	>3.000
	4	0	104.500	8.500	>3.000	>3.000

Außerdem sind der Kugelhahn und zwei Winkelstücke auf Bakterienbelastung überprüft worden. Die Innenseite zweier Winkelstücke nach längerem Betrieb sind in Abbildung 89 gezeigt. Für die Untersuchungen sind der Kugelhahn und die Winkelstü-

cke mit steriler Glaswolle ausgewischt worden. Die Ergebnisse für die Verkeimung des Kugelhahnes und der Winkelstücke sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Bakterielle Verkeimung im Kugelhahn und in den Winkelstücken

	E.coli	Ges.Col.	I.E.	GKZ (22 °C)	GKZ (36 °C)
	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml
Kugelhahn	0	82.000	328	1.495.000	3.395.000
Winkelstück V1	0	7	3	95.900	46.800
Winkelstück V2	0	3.475	0	35.900	59.500



Abbildung 89: Innenseite des Winkelstücks zur Verbindung von Schlauch und Modul

Die Ergebnisse haben eine Verkeimung sowohl im Kugelhahn und den Winkelstücken als auch in den Schläuchen gezeigt. Die Keimzahlen können auch durch eine Rückverkeimung über die Entnahmestelle zustande kommen. Eine solche Rückverkeimung kann entstehen, wenn der Wasserrucksack leer läuft und dementsprechend keine Filtration mehr stattfindet. In diesem Fall können Bakterien möglicherweise durch den Schlauch bis in die Membran gelangen (Verkeimung durch die Luft, Schmierinfektion).

Es ist aber auch davon auszugehen, dass Bakterien in sehr geringer Anzahl von der Rohwasserseite aus durch die Membran hindurch gelangen und sich auf der Reinwasserseite ansiedeln können. Auf welche der beschriebenen Arten diese Bauteile verkeimt sind, kann jedoch abschließend nicht festgelegt werden.

Tabelle 16 zeigt weitere Ergebnisse von bakteriellen Untersuchungen der Schlauchoberflächen. Außerdem ist eine Verkeimung des innenliegenden Silikonschlauches zwischen Membranmodul und Kugelhahn dargestellt. Beispielhaft ist in Abbildung 90 die Innenseite eines nicht untersuchten Silikonschlauches nach längerem Betrieb gezeigt. Optisch waren auf der Innenseite keine Verschmutzungen zu erkennen.

Tabelle 16: *Bakterielle Verkeimung des Ablaufschlauches (Gewebeschlauch, neuer TW-Schlauch) und des innenliegenden Silikonschlauches*

	vor bzw. nach dem Ventil	E.coli cfu/cm²	Ges.Col. cfu/cm²	I.E. cfu/cm²	GKZ (22 °C) cfu/cm²	GKZ (36 °C) cfu/cm²
Gewebeschlauch	vor Ventil	-	326	325	9.457	9.278
	nach Ventil	-	362	151	11.688	11.787
neuer TW-Schlauch	vor Ventil	0	13	23	436	301
	nach Ventil	0	23	28	191	303
Silikonschlauch	vor Kugelhahn	0	0	0	0	0
	vor Kugelhahn	0	0	0	91	32
		cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml	cfu/100 ml
Gewebeschlauch	vor Ventil	-	25.075	25.000	853.875	838.125
	nach Ventil	0	25.813	10.875	835.625	842.750
neuer TW-Schlauch	vor Ventil	0	1.300	2.300	43.150	29.750
	nach Ventil	0	2.600	3.150	21.850	34.700
Silikonschlauch	vor Kugelhahn	5	5	23	7650	2.650

Tabelle 14, Tabelle 15 und Tabelle 16 lassen sich aus mehreren Gründen nicht direkt miteinander vergleichen. Zum einen sind die Proben zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Betriebsweisen genommen worden. Die Kombination der dargestellten Ergebnisse lässt die Vermutung zu, dass die Verkeimung von innen nach außen hin zunimmt. Es wird ebenfalls angenommen, dass die verwendeten Materialien der Schläuche sowie der Bauteile unterschiedliche Einflüsse auf die Verkeimung haben. In diesem Bereich besteht jedoch für die Zukunft noch weiterer Forschungsbedarf.



Abbildung 90: *Innenseite des Silikonschlauches zur Verbindung von Kugelhahn und Membranmodul*

Zusätzlich wurde der Silikonschlauch (Verbindung zwischen Kugelhahn und Membranmodul) von einem der Wasserrucksäcke in Betriebsweise 3 (P 3.2) nach einer Filtrationsdauer von 650 Stunden (10.12.2012) zur Untersuchung in die Abteilung Mikrobiologie der Universität Kassel gegeben.

Die Untersuchung des Wasserschlauchs ergab keine Anhaltspunkte für die Bildung eines Biofilms, weder visuell, noch mikroskopisch, noch kulturell.

4.8.4 Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Beseitigung einer Verkeimung der Reinwasserseite

4.8.4.1 Inbetriebnahme

Eine wichtige Maßnahme zur Verhinderung einer Verkeimung der Reinwasserseite ist das vollständige Ausspülen des vorhandenen Glycerins. Wie im Kapitel 4.8.1 beschrieben, wirkt Glycerin auf die Bakterien wachstumsfördernd. Glycerin wird wegen seiner stark wasserbindenden Wirkung eingesetzt, da es durch diese die Membranen feucht hält. Jedoch handelt es sich um einen Zuckeralkohol, welcher primär aus leichtverfügbarem Kohlenstoff besteht. Dieser Kohlenstoff dient den Bakterien als Nahrungsquelle und somit als Wachstumsgrundlage. Wie sich eine Auswaschung des Glycerins auf die Bakterienausbreitung auswirkt, wird aus Tabelle 12 sichtbar.

4.8.4.2 Chlorung

Der anfänglichen Verkeimung kann zusätzlich eine Chlorung entgegen wirken. Hierfür wurde untersucht, wie sich eine primäre Chlordosierung (Chlordosierung zu Beginn der Filtration) auf die Verkeimung der Reinwasser- aber auch der Rohwasserseite auswirkt. Abbildung 91 zeigt die Wirkung einer solchen Primärchlorung. Die Versuchsnummern 1 und 2 wurden vor bzw. kurz nach der ersten Filtration gechlort. In einem Wasserrucksack (Versuchsnummer 1) ist eine Chlortablette (20 g, 65 % akt. Chlor) gehängt worden. Im Anschluss wurde der Wasserrucksack mit Rohwasser befüllt. Vor der eigentlichen Bakterien-Probenahme sind 2 L Wasser gefiltert worden. Einem weiteren Wasserrucksack (Versuchsnummer 2) ist die gleiche Chlortablette nach der ersten Filtrationsstunde zugeführt worden. Im Anschluss an die Zugabe folgte eine kurze Einwirkzeit. Nach der Einwirkzeit wurde 1 Stunde filtriert, anschließend erfolgte die Probenahme.

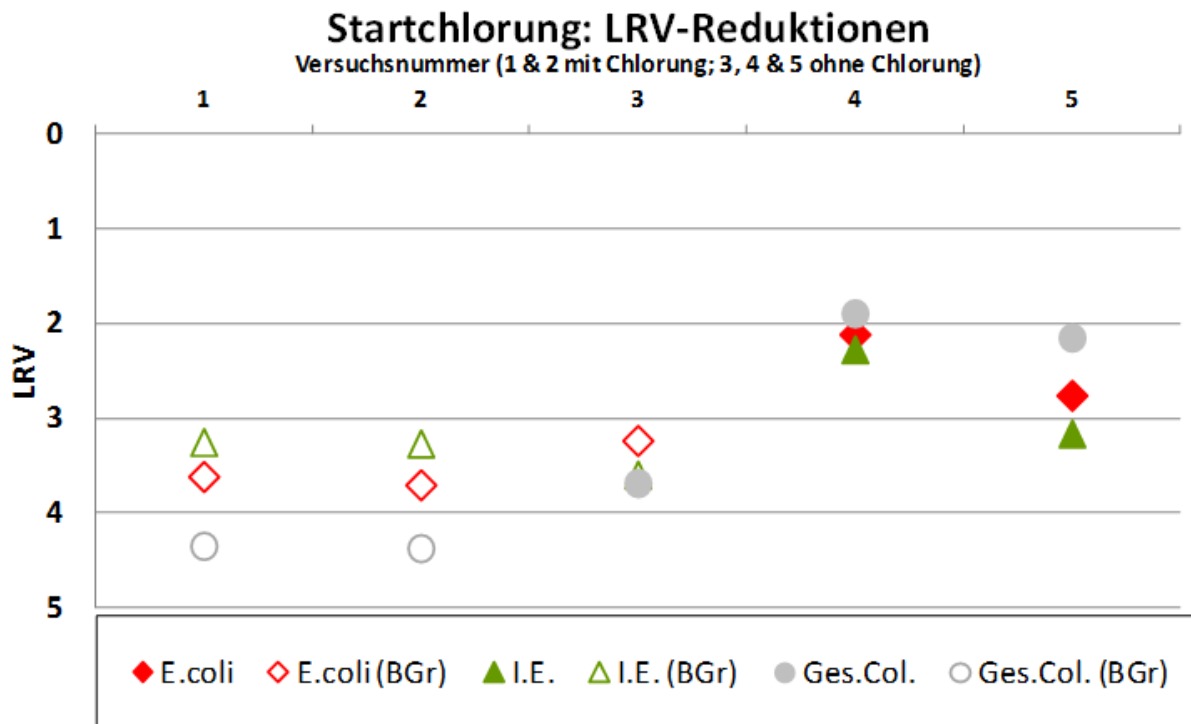


Abbildung 91: Bakterienreduktion mit (1,2) und ohne (3,4,5) Primärchlorung wenige Minuten bzw. Stunden nach der ersten Inbetriebnahme

Die Belastung des Permeats liegt bei den Versuchsnummer 1 und 2 unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Im Permeat von Versuch 3 konnten ebenfalls keine E.coli und keine I.E. nachgewiesen werden, es wurden jedoch 5 Ges.Col./100 mL festgestellt.

Bei den Versuchen 4 und 5 sind 11 bzw. 3 E.coli, 197 bzw. 162 I.E. sowie 14 bzw. 3 Ges.Col. pro 100 ml nachgewiesen worden.

4.8.4.3 Silbergewebe

Neben einer Primärchlorung ist die Wirksamkeit eines Membranmoduls mit eingearbeiteten Silberfäden (Silbermembran) getestet worden. Die Ergebnisse der Bakterienreduktion der Silbermembran sind in Abbildung 92 dargestellt. Die Proben 1 und 2 erfolgten am Tag der Inbetriebnahme bzw. am Folgetag. Die dritte Probe wurde nach ca. einem Monat und die vierte nach ca. zwei Monaten Laufzeit genommen.

Es zeigt sich keine signifikant bessere Filtrationsleistung. Es wurden wie bei nahezu allen Versuchen keine E.coli festgestellt. Jedoch waren v.a. die LRV für die GKZ gering. Somit scheint das Silbergewebe zur Verhinderung einer anfänglichen Verkeimung nur wenig geeignet.

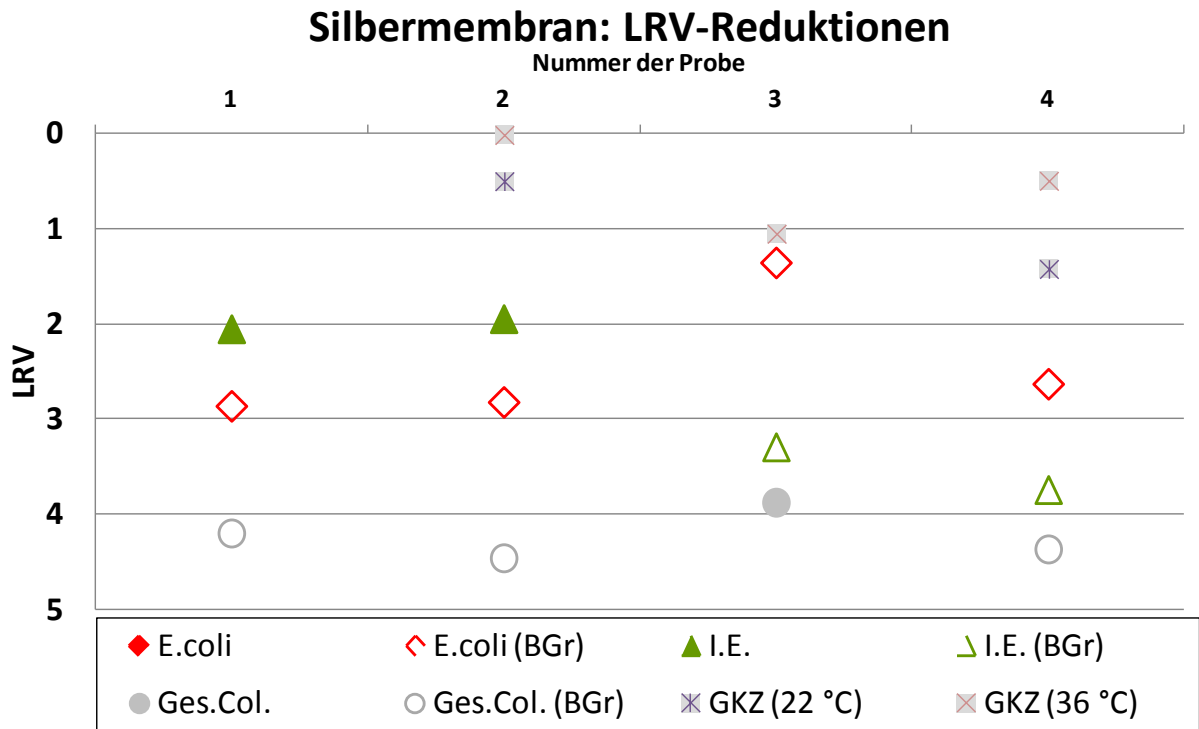


Abbildung 92: Bakterienreduktion einer Membran mit Silberfäden

Neben der bakteriellen Filtrationsleistung wurde auch die hydraulische Leistung dieses Moduls untersucht. Abbildung 93 zeigt die Ergebnisse im Vergleich mit einem zur gleichen Zeit in Betrieb genommenen Standardmoduls. Beide Module wurden über einen Zeitraum von 76 Tagen in Betriebsweise 4 untersucht.

Mit einem mittleren Flux von 4,0 L/m²*h lag das Silbermodul unter den Werten des Standardmoduls. Dieses erreichte einen mittleren Flux von 5,9 L/m²*h.

Im Hinblick auf die Verhinderung einer Verkeimung der Reinwasserseite zeigte demnach das „Silbermodul“ weder in mikrobiologischer noch in hydraulischer Hinsicht Vorteile gegenüber einem im Wasserrucksack verwendeten Standardmodul.

Membranmodul mit Silbergewebe (08.04.2013 bis 23.06.2013)

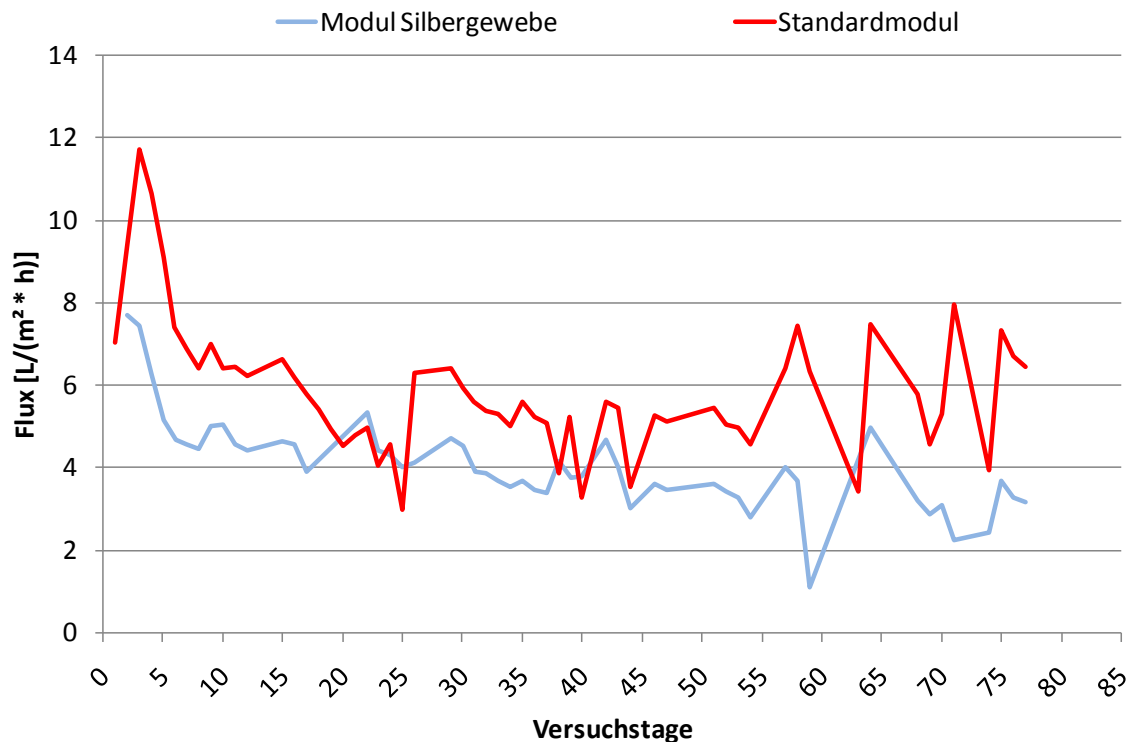


Abbildung 93: Vergleich eines Standardmoduls mit einem Modul, in welches ein Silbergewebe zwischen Membran und Membranplatte eingearbeitet ist

4.9 Rückhalt problematischer Inhaltsstoffe; feedseitige Aufkonzentrierung von Inhaltsstoffen und Entsorgung des Retentats

Unter problematischen Stoffen sind diejenigen Wasserinhaltsstoffe zu verstehen, die zusätzlich zu einer mikrobiologischen Belastung von Rohwässern zu gesundheitlichen Problemen führen können. Dazu zählen neben Parametern wie Nitrat oder Chlorid z.B. auch alle Schwermetallverbindungen, die in Grundwässern vorkommen können. Eines der in manchen Ländern verstärkt auftretenden Schwermetalle ist dabei Arsen, dessen Rückhalt durch den Wasserrucksack im Rahmen dieses Projektes intensiv untersucht wurde.

Der Rückhalt von Schwermetallen wurde bereits in früheren Projektphasen untersucht. Ein Rückhalt konnte dabei für alle getesteten Schwermetalle nachgewiesen werden. Tabelle 17 zeigt den Rückhalt und die erzielten Ergebnisse der Schwermetallversuche.

Tabelle 17: Ergebnisse zum Schwermetallrückhalt von zwei Wasserrucksäcken

	Modul mit Deckschicht	Modul ohne Deckschicht	Grenzwert TrinkwV (2011)	Roh- wasser	Permeat (Mittelwert)
	LRV	LRV	µg/L	µg/L	µg/L
Quecksilber	2,13	2,13	1	27	0,2
Arsen	0,97	1,04	10	51	5,05
Blei	1,44	1,44	10	69	2,5
Cadmium	2,42	1,35	3	29	0,705
Kupfer	1,85	0,11	2.000	500	198,5
Nickel	1,40	1,14	20	330	18,5
Chrom	0,93	0,96	50	230	26

Im Ergebnis zeigt sich, dass maßgebliche Reduktionen für alle Stoffe erreicht wurden und die ermittelten Konzentrationen in den Permeaten auch die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (2011) unterschreiten.

In den aktuell durchgeführten Versuchen wurden beispielhaft für problematische Inhaltsstoffe nun die Arsen- und Eisenkonzentrationen im Retentat mehrerer Wasserrucksäcke bestimmt. In den Retentaten der getesteten Wasserrucksäcke waren die Arsen- und Eisenbelastung größer als im Rohwasser. Damit werden die oben genannten Ergebnisse bestätigt, dass der Wasserrucksack unter Umständen auch die Konzentration an Inhaltsstoffen verringern kann, die aufgrund der Trenngrenze der Membran von 150 KDa eigentlich nicht zurückgehalten werden sollten. Es ist jedoch herauszustellen, dass der Rückhalt dieser Stoffe darauf zurückzuführen ist, dass sie wie z.B. im Fall der Schwermetalle zu einem mehr oder weniger großen Teil an Partikel adsorbiert oder in ihnen gebunden sind, so dass sich durch den Rückhalt dieser Partikel auch ein Rückhalt der Schwermetalle ergibt. Arsen z.B. wird durch Eisen gefällt liegt somit in einer Form vor, welche die Membran nicht passieren kann. Fehlen die für solche Fällungsreaktionen nötigen Inhaltsstoffe oder ist der Anteil der Feststoffe, an denen sich z.B. Schwermetalle anhaften können, so ist auch der Rückhalt nicht mehr gewährleistet.

Tabelle 18: Vergleich der Eisen- und Arsenkonzentration im Rohwasser und den Retentaten der verschiedenen Betriebsweisen

	Anzahl Proben	Arsen [µg/L]	Eisen [µg/L]
Rohwasser	4	0,95	431,75
Retentat BW 1	1	14,4	76.970
Retentat BW 2	1	7,2	34.596
Retentat BW 3	1	7,3	36.875
Retentat BW 4	1	25,8	132.860

Tabelle 19 zeigt, dass im Retentat ebenfalls eine Aufkonzentrierung von Bakterien stattfindet.

Tabelle 19: Bakterielle Belastung Retentatproben aus verschiedenen Betriebsweisen, Mittelwerte

	Anzahl Proben	TR [g/L]	E.coli	I.E.	Ges.Col.
Retentat BW 1	2	2,17	1.103	981.590	1.070.907
Retentat BW 2	2	2,48	3.403	1.587.270	1.489.543
Retentat BW 3	2	0,66	1.508	16.530	268.069
Retentat BW 4	1	3,64	270	120.000	360.455

Dass eine solche und noch darüber hinausgehende Aufkonzentrierung im Rohwasser den Betrieb des Wasserrucksacks nicht dauerhaft beeinträchtigt, ist in Kap. 4.8.1, Tabelle 12 erläutert.

4.10 Fazit

4.10.1 Hydraulik Langzeit

- ➔ Die Langzeittests haben gezeigt, dass die Wasserrucksäcke über einen sehr langen Zeitraum störungsfrei betrieben werden können. Selbst im kontinuierlichen Betrieb (24 h / 7 d) über einen Zeitraum von 340 Tagen (307 Tage mit Filtration) wurde in den letzten zehn Betriebstagen noch ein Flux von ca. 4,75 L/m²*h erreicht. Bei nicht kontinuierlichem Betrieb lag der Flux je nach Betriebsweise über einen Zeitraum von 221 Tagen im Mittel bei Werten zwischen 5,1 L/m²*h und 9,5 L/m²*h.

- ➔ Filtrationspausen wirken sich positiv auf den Flux aus und können die Filtrationsleistung erhöhen.
- ➔ Das verwendete Rohwasser aus der Ahna kann aufgrund der Mischwasserentlastung z.B. auch höhere EPS-Gehalte aufweisen. In früheren Versuchen hat sich gezeigt, dass sich das Vorhandensein von EPS negativ auf den Flux auswirken.
- ➔ Niedrige Temperaturen haben eventuell neben dem Einfluss auf die Eigenschaften des Wassers auch einen Einfluss auf die biologische Aktivität. Es ist denkbar, dass die Deckschicht mit abnehmender Temperatur und Aktivität undurchlässiger wird und somit den Flux verringert.
- ➔ Die zeitweise geringeren Durchflüsse der untersuchten Wasserrucksäcke im Vergleich zu den im Feld getesteten Geräten, können demnach auch aus Veränderungen der Rohwasserqualität und den niedrigen Wassertemperaturen resultieren.
- ➔ Eine Erhöhung des Transmembrandrucks (TMD) durch das Anbringen eines längeren Schlauches erhöht die Filtrationsleistung. Es ist aber nicht gewährleistet, dass sich der höhere Druck auch langfristig positiv auswirkt. Ein Betrieb mit höherem Transmembrandruck sollte mit kürzeren Spül- bzw. Reinigungsintervallen einhergehen.
- ➔ Voraussetzung für die Ausnutzung des maximal zu erreichenden TMD ist ein über die gesamte Länge komplett gefüllter Ablaufschlauch. Die Reduzierung des Schlauchquerschnitts von 13 mm auf 10 mm wirkt sich somit positiv auf den Durchfluss aus.
- ➔ Die alternativ untersuchte Membran der Fa. Membrana erzielte trotz höherer Permeabilität nur einen geringfügig höheren Flux. Laut Hersteller soll sich der Vorteil der höheren Permeabilität besonders bei hohen Wassertemperaturen von 20 °C zeigen. Da das in den Tests verwendete Rohwasser diese Temperaturen nicht erreichen konnte, sind weitere Versuche mit dieser Membran in Hinblick auf die meist hohen Temperaturen im Einsatzfall sinnvoll. Zudem kann das Fehlen der Glycerinschicht zur Konservierung dieser Membran auch Vorteile bezüglich der Reinigungsleistung und der möglichen Verkeimung der Reinwasserseite bringen.

4.10.2 Mikrobiologie Langzeit

- ➔ Ein kontinuierlicher Betrieb (24 h / 7 d) wirkt sich positiv auf den bakteriellen Rückhalt aus und führte in nahezu allen Proben für E.coli und I.E. zu Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze.
- ➔ Ist ein kontinuierlicher Betrieb nicht möglich, so kann eine Spülung mit Permeat vor der Stillstandzeit über Nacht die Qualität des Permeats bei Wiedereinbetriebnahme verbessern und einer eventuellen Verkeimung der Reinwasserseite entgegenwirken. Aufgrund des Bakterienwachstums auf der Rohwasserseite bei Stillstand kann auch eine zusätzliche Entleerung sinnvoll sein.
- ➔ Die nächtliche Stillstandzeit führte in den sofort nach Wiedereinbetriebnahme entnommenen Proben zu stellenweise hohen Konzentrationen an Ges.Col. und in der GKZ. Auch I.E. wurden nachgewiesen. Die Belastung ging aber nach einigen Minuten Filtrationszeit deutlich zurück. Daher sollten die ersten ca. 50 Liter nach Wiedereinbetriebnahme immer verworfen werden. Da auch die bakterielle Rohwasserbelastung bei Stillstandszeiten zunehmen kann, ist eine Entleerung vor Betriebsbeginn sinnvoll.

4.10.3 Verkeimung der Reinwasserseite

- ➔ In den Langzeitversuchen ist es zur Bildung von Ablagerungen bzw. eines Biofilms innerhalb der Schläuche und der Armaturen gekommen. Diese Effekte waren, abhängig von der Betriebsweise, unterschiedlich ausgeprägt. Ob es sich um eine Rückverkeimung oder ein Wachstum von Bakterien handelt, die durch die Membran gekommen sind, konnte nicht abschließend geklärt werden. Hauptsächlich wurden Ges.Col. und GKZ in hoher Zahl nachgewiesen, welche auch aus unschädlichen Umweltkeimen bestehen können. Da aber auch das Vorkommen möglicher Krankheitserreger nicht auszuschließen ist und auch I.E. nachgewiesen wurden, besteht diesbezüglich weiterer Forschungsbedarf.
- ➔ Das als Konservierungsmittel für die Membran verwendete Glycerin hat einen großen Einfluss auf das Bakterienwachstum auf der Roh- und Reinwasserseite und muss vor Verwendung des Permeats als trinkbares Wasser ausgespült werden. Glycerin wirkt als Nährstoffquelle für die Bakterien. Eine kurze Erstinbetriebnahme mit einer kurzen Filtrationsdauer und ein darauf folgender längerer Nichtbetrieb bei noch hohen Glycerinkonzentrationen im Roh- und Reinwasser sollten unbedingt vermieden werden.

4.10.4 Alternativ untersuchte Membran

- ➔ Die alternativ untersuchte Membran der Fa. Membrana hat neben der höheren Permeabilität noch die Besonderheit, dass sie nicht mit Glycerin konserviert werden muss. Daher sollte diese Membran dringend in einem weiteren Forschungsprojekt in Bezug auf ein Bakterienwachstum auf der Roh- bzw. Reinwasserseite untersucht werden.

4.10.5 Schwankungen in der Rohwasserbelastung

- ➔ Die Rohwasserqualität zeigte große Schwankungen. Die Belastung mit E.coli reicht von unterhalb der Bestimmungsgrenze bis 470.000 cfu/100 mL. Die I.E.-Belastung reicht von unterhalb der Bestimmungsgrenze bis 3.200.000 cfu/100 mL.
- ➔ Starkbelastungen mit 5 % Abwasser führten in keiner von acht Proben zu einem E.coli-Nachweis. I.E. konnten in zwei Proben nachgewiesen werden. Die LRV für E.coli lagen dabei zwischen 5,3 und 5,7 und damit korrespondierend für I.E. zwischen 3,9 und 6,1.

4.10.6 Lagerung

- ➔ Gebrauchte Wasserrucksäcke, welche für einen längeren Zeitraum außer Betrieb genommen werden, sollten nach Möglichkeit chemisch (nach Anleitung der Fa. Martin Systems) gereinigt und mit sauberem Wasser gefüllt gelagert werden. Ist eine chemische Reinigung im Einsatzfall nicht umzusetzen ist, sollten die Wasserrucksäcke mit vorher gesammeltem Permeat gespült, filtriert und anschließend, mit Permeat befüllt, gelagert werden.
- ➔ Eine derartige Lagerung von Membranen bzw. ganzen Wasserrucksäcken zeigte keinen wesentlichen negativen Einfluss auf die Filtration. Dabei spielte es keine Rolle, ob der Wasserrucksack zuvor betrieben worden war oder nicht. Eine vorherige Chlorung vor längeren Stillstandzeiten ist, wenn möglich, zu empfehlen.
- ➔ Nicht mit Wasser befüllt gelagerte Wasserrucksäcke können austrocknen. Dieses Trockenfallen der Membranmodule macht die Wasserrucksäcke unbrauchbar. Hohe Temperaturen und direkte Sonneneinstrahlung beschleunigen diesen Vorgang.

- ➔ Das Einfrieren einer Membran zeigte keine signifikanten Auswirkungen. Ein Einfrieren sollte jedoch wegen der Volumenveränderung des Wassers aus Sicherheitsgründen vermieden werden.

4.10.7 Reinigung

- ➔ Die Wasserrucksäcke sollten regelmäßig mit frischem Permeat gespült werden. Ist ein Sammeln von genügend frischem Permeat aufgrund des Wasserverbrauchs bzw. der Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks nicht möglich, so sollte möglichst sauberes Rohwasser für die Spülung verwendet werden.
- ➔ Eine komplette Reinigung mit Chlor hat einen positiven Effekt auf die Bakterienreduktion. Der Durchfluss verändert sich durch eine Chlorung jedoch nicht wesentlich.
- ➔ Eine Belastung des Permeats kurz nach Filtrationsbeginn kann durch eine primäre Chlordosierung verhindert bzw. verringert werden.
- ➔ Eine Entleerung vor Inbetriebnahme nach nächtlichem Stillstand kann sich positiv auf die Qualität des Permeats auswirken.

4.10.8 Rückhalt problematischer Inhaltsstoffe/Aufkonzentrierung/Entsorgung

- ➔ Die Wasserrucksäcke können ebenfalls Schwermetalle und andere problematische Stoffe zurückhalten. Dieser Rückhalt zeigte auch an der Aufkonzentrierung der Schwermetalle im Retentat und der diesen Untersuchungen vorausgegangen Versuche in einer früheren Projektphase.
Es ist jedoch herauszustellen, dass der Rückhalt dieser Stoffe darauf zurückzuführen ist, dass sie, wie z.B. im Fall der Schwermetalle, zu einem mehr oder weniger großen Teil an Partikel adsorbiert oder in ihnen gebunden sind, so dass sich durch den Rückhalt dieser Partikel auch ein Rückhalt der Schwermetalle ergibt. Arsen z.B. wird durch Eisen gefällt und liegt anschließend in einer Form vor, welche die Membran nicht passieren kann. Fehlen die für solche Fällungsreaktionen nötigen Inhaltsstoffe oder ist der Anteil der Feststoffe, an denen sich problematische Inhaltsstoffe anhaften können, sehr gering, so ist auch der Rückhalt nicht mehr gewährleistet. Dennoch kann der Wasserrucksack unter Umständen den Gehalt an Schwermetallen und anderen problematischen Inhaltsstoffen reduzieren.

- ➔ Aufgrund der möglichen Aufkonzentrierung problematischer Inhaltsstoffe und nicht auszuschließender hoher Bakterienkonzentrationen im Retentat, sollte der Wasserrucksack regelmäßig entleert werden. Bei der Entleerung sollte ein Kontakt des Retentats mit der Entnahmestelle vermieden werden. Die Entleerung bzw. Entsorgung des Retentats sollte zudem an einer Stelle stattfinden, welche sich nicht in der Nähe von für die Hygiene und Ernährung relevanten Orten befindet.

5 Feldtests unter realen Einsatzbedingungen

5.1 Übersicht

5.1.1 Vorgeschichte zum Wasserrucksack-Einsatz und zur Entwicklung der Gehäuseformen

Ende Juli und im August 2010 wurde Pakistan von einer Überschwemmungskatastrophe ungekannten Ausmaßes getroffen. Ein außergewöhnlich starker Monsunregen in Verbindung mit einem infolge ungewöhnlich hoher Temperaturen erhöhten Abfluss aus den Gletschergebieten des Hindukusch und Karakorum führten dazu, dass etwa 14 Millionen Menschen an den Flüssen Swat und Indus bis hin zu den Unterläufen in der Provinz Sindh über lange Zeit betroffen waren. Abbildung 94 zeigt die Ausdehnung der Überschwemmungen.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Indus_flooding_2010_en.svg
© Kmhmh

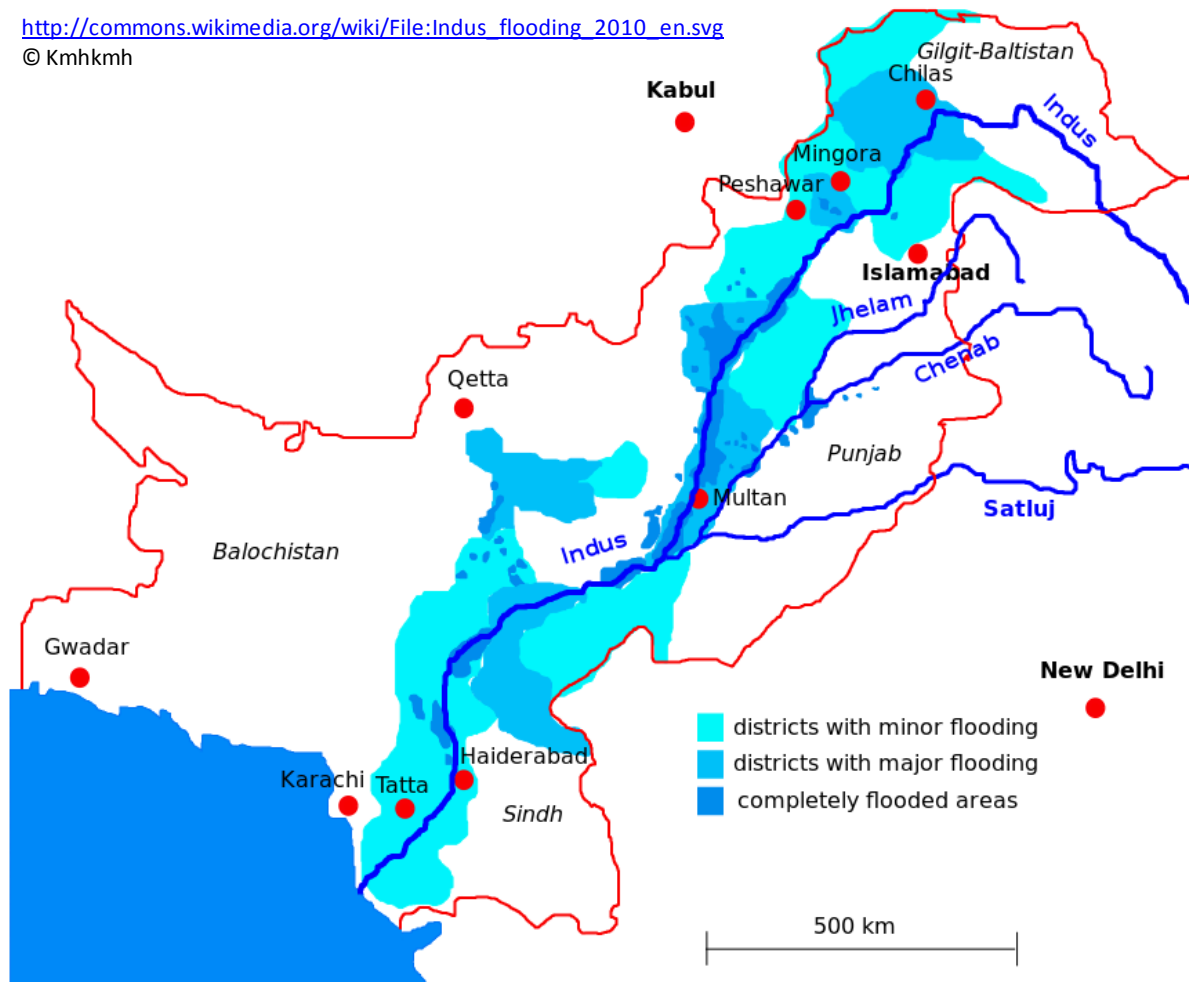


Abbildung 94: Überschwemmungsgebiete in Pakistan August 2010

Herr Folker Flasse, in den 70er Jahren Militärattachè der Deutschen Botschaft in Islamabad, ist Gründer und Präsident der Humanity Care Stiftung (HCS) mit Sitz in

Münster, siehe <http://www.humanity-care-stiftung.de/>. Die HCS, in Münster und in Islamabad registriert und mit einem hervorragenden Netz an pakistanischen Mitarbeitern ausgestattet, hat es sich zur Aufgabe gemacht, bedürftige Menschen in Pakistan und Afghanistan, aber auch in anderen Regionen der Welt zu unterstützen und betreibt z.B. Kinderheime, Krankenhäuser etc. mit besonderem Augenmerk auf benachteiligte Personengruppen, meist Kranke und Kinder.

Da Herr Flasse von den Arbeiten am Wasserrucksack am FG SWW Kenntnis hatte, z.B. durch FG SWW (2010), hat er sich im August 2010 an das FG SWW gewandt mit der Bitte, einige Wasserrucksäcke für den Noteinsatz in Pakistan zu erhalten.

Abgesehen von den 2 „Vor-Provisorien“, die im März 2010 aufgrund einer Privatinitiative nach Chile gebracht wurden, siehe dazu den Abschlussbericht zum DBU-Vorhaben AZ 23860/02 „Entwicklung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser für kleine Personengruppen in Notsituationen (2. Phase)“ aus März 2011, Vortrag Dipl.-Ing. Joachim Vogdt (ab S. 66), FG SWW (2006), war diese Anfrage der HCS die erste Anfrage nach einem Ernstfalleinsatz.

Dem Argument von Herr Flasse, man könne eine im Prinzip funktionstüchtige Technik den Hilfsbedürftigen nicht vorenthalten, auch wenn das Vorhaben noch nicht beendet sei, war unbedingt zu folgen.

Seinerzeit gab es allerdings nur 5 einsatzfähige, noch sehr provisorische Gehäuse. Diese wurden technisch ausgerüstet und am 1. September 2010 zum Flughafen Münster/Osnabrück gebracht, von wo aus sie in den Einsatz gingen.

Wegen der weiteren Nachfrage von Herrn Flasse/HCS und mangels schnell beschaffbarer neuer, geeigneter Gehäuse wurden in der unmittelbar folgenden Zeit mit Unterstützung des Fachgebietes Leichtbaukonstruktion im Fachbereich 15 „Maschinenbau“ der Universität Kassel 17 Gehäuse aus Edelstahl angefertigt. Großer Dank gebührt hier Herrn Prof. Dr.-Ing. Klein, seinerzeit Fachgebietsleiter, und Herrn Dipl.-Ing. Karl-Ludwig Tondera mit Mitarbeitern, die in unkonventioneller und unbürokratischer Weise die schnelle Fertigung dieser Gehäuse ermöglichten.

Insgesamt gesehen wurde das Gehäuse in den vergangenen Jahren vom FG SWW im Zuge der DBU-Vorhaben, stark getrieben ab September 2010 durch den dann zunehmenden Praxiseinsatz, maßgeblich weiterentwickelt.

In Abbildung 95 ist die „Ahnenreihe“ von den Anfängen bis heute dargestellt. Sie beginnt bei dem im Zuge des ersten DBU-Vorhabens aus 2006 als Machbarkeitsstudie entwickelten Prototyp, der der DBU Ende 2006 zum Abschluss des damaligen ersten

Projektes mit einem Fördervolumen von 20.000 € in einer öffentlichen Veranstaltung förmlich übergeben wurde, siehe auch FG SWW (2006).



Abbildung 95: Verschiedenen Bauformen des Wasserrucksacks, Erläuterungen siehe Text

Anhand von Abbildung 95 lassen sich auch die in den nachfolgenden Abschnitten näher besprochenen, in verschiedenen Ländern vor Ort untersuchten Wasserrucksäcke zeitlich einordnen.

Die in Abbildung 95 gezeigte Ahnenreihe, in der die beiden im März 2010 nach Chile gebrachten Exemplare (s.o.) nicht enthalten sind, ist wie folgt zu beschreiben:

- 0 erster Prototyp 2006 (3 Exemplare), siehe FG SWW (2006)
- 1 Erste Generation, Anfang September 2010, erste in den Praxiseinsatz gelieferte Version, 5 Exemplare, mit HCS nach Pakistan
- 2 Zweite Generation, September 2010, 17 Exemplare, mit HCS nach Pakistan, Gehäuse gefertigt vom FG Leichtbaukonstruktion des FB 15 Maschinenbau der Universität Kassel
- 3 Dritte Generation, September 2010 bis Januar 2011, 128 Exemplare, Einsatz in Pakistan, Haiti, Vietnam u.a.
- 4 Vierte Generation, Februar 2011 bis Juni 2011, 259 Exemplare, Einsatz weltweit

5 Fünfte Generation, Seit Juni 2011, 551 Exemplare, Einsatz weltweit (Stand Dezember 2013)

Nicht enthalten sind etwa 50 Exemplare des Typs 4 und 5, die nicht in den humanitären Einsatz gegangen sind, sondern von Privatleuten zu anderen Zwecken erworben wurden.

Ebenfalls nicht enthalten sind die vielen (>100) Exemplare, die zu Forschungszwecken am FG SWW verblieben sind.

5.1.2 Ziele

Da – wie oben geschildert – bereits zu Beginn des Projektes über 400 Exemplare bzw. Prototypen des Wasserrucksacks in etwa 30 Ländern zumeist von Hilfsorganisationen in den Einsatz gebracht worden waren, und da von keinem einzigen Exemplar bekannt war, dass es etwa von der jeweiligen Organisation zurückgeholt worden wäre, eröffnete sich die Möglichkeit, an einigen der bereits in Benutzung befindlichen Geräten mehr oder minder umfassende Untersuchungen vorzunehmen.

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes sollten an bereits existierenden Provisorien Praxistests

- ➔ an verschiedenen Standorten
- ➔ nach verschieden langer Einsatzdauer
- ➔ bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf
 - Klima,
 - Kultur,
 - Technik (Rohwasser etc.),
 - Situation (direkte Katastrophe, Schulen etc.),
 - Soziologie

durchgeführt werden. Die Praxistests umfassten in unterschiedlicher Tiefe folgende Teilschritte bzw. Teilaspekte:

- ➔ Messung der mikrobiologischen Leistungsfähigkeit der Wasserrucksäcke,
- ➔ Messung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Wasserrucksäcke,
- ➔ Ermittlung möglicher Rohwasserbelastungen im Einsatzfall.

5.1.3 Länder

Die Feldtests waren gemäß ursprünglichem Antrag für die Länder Kolumbien, Pakistan, Vietnam, Haiti, Zimbabwe, Indien und Indonesien geplant.

Als Antragsergänzung war im Rahmen dieses Arbeitsschrittes auf Anregung der Hilfsorganisation HelpAge Deutschland e.V., Osnabrück nachträglich geplant, Kenia aufgrund der seinerzeit aktuellen Situation in Ostafrika als Zielland im Bereich Afrika an Stelle von Simbabwe in das Untersuchungsprogramm aufzunehmen. Diese Antragsergänzung beinhaltete, zu Projektbeginn ca. 5 Wasserrucksäcke nach Kenia zu schicken und dort von HelpAge in Betrieb nehmen zu lassen, da sich zum Antragszeitpunkt noch keine Wasserrucksäcke in Kenia im Einsatz befanden. Die Messkampagne vor Ort durch Mitarbeiter des FG SWW sollte dann mit entsprechendem zeitlichen Versatz gegen Projektende erfolgen.

Im Zuge der umfangreichen Planungen des Transportes der Wasserrucksäcke und der nachfolgenden Vor-Ort-Messungen stellte sich allerdings heraus, dass die logistischen Möglichkeiten vor Ort (keine Partner-NGO vor Ort, keine angemessenen Transportmöglichkeiten der Wasserrucksäcke in die anvisierten Einsatzgebiete, keine zuverlässig planbaren Labormöglichkeiten, Aktuelle Sicherheitslage) die Durchführung einer solche Messkampagne nicht zuließen. Daraufhin wurde im Einvernehmen mit HelpAge vom Zielland Kenia Abstand genommen und in Abstimmung mit der DBU alternativ dieser Teilarbeitsschritt in Peru durchgeführt.

Insgesamt wurden Feldtests in Peru, Bénin, Pakistan, Myanmar, Nepal und Kolumbien durchgeführt.

5.1.4 Umfang der Untersuchungen

Die Untersuchungstiefe in den einzelnen Ländern war unterschiedlich je nach den Möglichkeiten, die sich aufgrund der Randbedingungen beim jeweiligen Vor-Ort-Besuch ergaben.

Im einfachsten Fall, bei Besuch nur durch eine Person ohne Feldlabor-Ausrüstung, konnten lediglich Beobachtungen aufgenommen und Eindrücke festgehalten werden, z.B. zum Nutzerverhalten, der Art der Nutzung etc.

Umfassende Untersuchungen einschließlich Analytik der Mikrobiologie und weiterer Parameter konnten dort durchgeführt werden, wo eine Bereisung mit zwei Personen und Mitnahme des Feldlabors, siehe Abschnitt 5.1.5, möglich war.

Welche Untersuchungen und Tests in den einzelnen letztlich besuchten Zielländern durchgeführt wurden, ist in den einzelnen Kapiteln näher beschrieben.

5.1.5 Feldlabor

Zur Vor-Ort-Analytik wurde ein **nicht aus DBU-Mitteln finanziertes Feldlabor** eingesetzt, welches in einem wasserdichten, gepolsterten Großkoffer Platz fand, siehe Abbildung 96.



Abbildung 96: *Feldlabor für mikrobiologische und weitere Analysen*

Die Messausstattung dieses Feldlabors ist in Tabelle 20 aufgelistet, ohne dabei das erforderliche, umfangreiche labortechnische Zubehör wie einen Autoklav oder einen Inkubator etc., Verbrauchsmaterialien sowie diverse elektrische Geräte zu berücksichtigen. Das Feldlabor wies zu Beginn der jeweiligen Auslandsaktivitäten ein Gesamtgewicht von ca. 30 kg auf.

Tabelle 20: Messausstattung des Feldlabors

Parameter	Messverfahren
Escherichia coli	NISSUI pharma - Compact Dry EC Platten mit Mischester Membranfilter
Gesamtcoliforme Bakterien	
Intestinale Enterokokken	NISSUI pharma - Compact Dry ETC Platten mit Mischester Membranfilter
Eisen	Merck Schnelltest Fe Best.Nr. 1.11136.0001
Arsen	Hach-Lange Test EZ Arsenic Best.Nr. 2822800
Nitrat	Merck Schnelltest
Gesamthärte	Merck Schnelltest
pH-Wert	HANNA Instruments Aquakombostick HI 98129
Temperatur	
Leitfähigkeit	
Trübung	WTW TURB 355IR

5.2 Peru

5.2.1 Situation im Untersuchungsgebiet

Nachhaltige Trinkwasser- und Sanitärversorgung ist für einen Großteil der peruanischen Bevölkerung noch nicht selbstverständlich. Sechs Millionen Peruaner (das sind 20% der Gesamtbevölkerung) haben keinen Zugang zu Trinkwasser, über 40% keine adäquate Sanitärversorgung. Darunter leiden insbesondere arme Familien in Stadtrandgebieten und ländlichen Regionen.

Im Juli 2012 wurden fünf Wasserrucksäcke im Auftrag des FG SWW durch das Medikamentenhilfswerk action medeor e.V. nach Cusco/Peru an Mitarbeiter/Vertreter der Kinderhilfe Cusco-Peru e.V. (KHC) gesandt. KHC ist in Georgsmarienhütte ansässig und engagiert sich seit vielen Jahren in vielfältiger Weise für die Verbesserung der Lebenssituation peruanischer Kinder in der Region Cusco. Auch insgesamt vier Wasserrucksäcke waren bereits seit Beginn des Jahres 2011 von KHC zu diesem Zweck an unterschiedlichen Orten in der Region Cusco in den humanitären Einsatz gebracht worden. Daher ergab sich die zusätzliche Möglichkeit, Messungen an Wasserrucksäcken durchzuführen, die bereits deutlich länger als die eingangs genannten fünf Wasserrucksäcke in Betrieb waren.

Cusco ist die Hauptstadt der gleichnamigen Region und der Provinz Cusco im Zentrum des peruanischen Andenhochlandes. Sie liegt in ca. 3.400 m Höhe. Das Temperaturspektrum liegt im Jahresverlauf zwischen 0°C und 22°C.

Der Besuch von Mitarbeitern des FG SWW zur Durchführung von hydraulischen und mikrobiologischen Kontrollmessungen fand im März 2013 statt. Es wurden drei der im Juli 2012 verschickten fünf Wasserrucksäcke beprobt. Die zwei weiteren Wasserrucksäcke kommen in Ortschaften zum Einsatz, die während des Zeitraumes der Vor-Ort-Messungen nicht mit vertretbarem Aufwand erreichbar gewesen wären.

Von den beprobten drei Wasserrucksäcken werden nachstehend die Ergebnisse von zwei Wasserrucksäcken dargestellt. Auf detaillierte Erläuterungen zum Einsatz des dritten Wasserrucksacks wird verzichtet, da dieser in einem Priesterseminar in Cusco eingesetzt wurde, in welchem das Rohwasser aus dem öffentlichen, gechlorten Leitungsnetz entnommen wurde und das Rohwasser infolge dessen keine mikrobiologische Belastung aufwies. Zwischenzeitlich ist dieser Wasserrucksack in die Ortschaft Cusibamba (siehe Abschnitt 5.2.4) überführt worden.

Zusätzlich wurden zwei weitere Wasserrucksäcke beprobt, die von KHC bereits seit längerer Zeit eingesetzt wurden und dementsprechend deutlich längere Betriebszeiten aufweisen.

Somit werden im Folgenden die mikrobiologischen und hydraulischen Messergebnisse von vier Wasserrucksäcken dargestellt werden.

5.2.2 Erläuterungen zu den Einsatzorten der Wasserrucksäcke

Ein Wasserrucksack wird in einem von Ordensschwestern geführten Kinderheim in dem auf 3.760 m Höhe und 25 km westlich von Cusco gelegenen Bergdorf Cusibamba betrieben, siehe Abbildung 97.





Abbildung 97: Bergdorf Cusibamba - Kinderheim

In diesem Kinderheim werden täglich bis an die 100 Kinder und zeitweise auch deren Eltern mit Nahrung und Lebensmitteln versorgt. Ihr Trinkwasser beziehen die Bewohner aus zwei miteinander verbundenen offenen Schachtbrunnen, die mikrobiologisch verunreinigtes Wasser liefern. Der hier im Einsatz befindliche Wasserrucksack wies zum Zeitpunkt der Kontrollmessungen eine Betriebsdauer von ca. 6 Monaten auf.

Ein weiterer Wasserrucksack wird in einer kirchlichen Mission in dem auf 3.890 m Höhe und 20 km südöstlich von Cusco gelegenen Bergdorf Punacancha betrieben (Abbildung 98). In dieser kirchlichen Mission werden täglich bis an die 80 Kinder und zeitweise auch deren Eltern mit Nahrung und Lebensmitteln versorgt. Ihr Trinkwasser beziehen die Bewohner aus einer Bergquelle, die mikrobiologisch nur gering verunreinigtes Wasser liefert. Der hier im Einsatz befindliche Wasserrucksack wies zum Zeitpunkt der Kontrollmessungen ebenfalls eine Betriebsdauer von ca. 6 Monaten auf.



Abbildung 98: Bergdorf Punacancha – kirchliche Mission

Der dritte Einsatzort, der im Rahmen dieser Vor-Ort-Mission besucht wurde, ist das auf ca. 3.230 m Höhe gelegene Bergdorf Quiquijana, welches ca. 70 km südöstlich von Cusco liegt. Hier hat die KHC in den letzten Jahren eine Schule inkl. Kinderheim für insgesamt ca. 200 Kinder gebaut, welches von den Schwestern eines kirchlichen Ordens betrieben wird. Zu dieser Einrichtung gehört auch die Gewächshausplantage Chacra, auf der Obst und Gemüse angebaut werden, siehe Abbildung 99 und Abbildung 100.

Ihr Trinkwasser beziehen die Bewohner jeweils aus einem offenen Wasserkanal an der Gewächshausplantage und aus einem geschlossenen Brunnen am Kinderheim. Das Wasser ist jeweils mikrobiologisch verunreinigt, am Kinderheim aber nur in geringem Ausmaß.



Abbildung 99: Bergdorf Quiquijana – Gewächshausplantage Chacra

Insgesamt werden hier drei Wasserrucksäcke eingesetzt, von denen sich zum Zeitpunkt der Kontrollmessungen ein Aggregat außer Betrieb befand. Der Wasserrucksack mit der Seriennummer 168 befindet sich seit Frühjahr 2011 in Betrieb (Abbildung 100, Bild rechts zeigt den Zeitpunkt des Eintreffens des Wasserrucksacks im Kinderheim Quiquijana), zum Zeitpunkt der Kontrollmessung also ca. 2 Jahre. Der Wasserrucksack mit der Seriennummer 648 befindet sich seit Frühjahr 2012 auf der Gewächshausplantage in Betrieb, zum Zeitpunkt der Kontrollmessung also ca. 10 Monate.



Abbildung 100: Bergdorf Quiquijana - Kinderheim

Somit ergibt sich die in Abbildung 101 dargestellte kartographische Standortverteilung der untersuchten Wasserrucksäcke in der Bergregion Cusco.



Abbildung 101: Standorte der Wasserrucksäcke in der Bergregion Cusco/Peru

5.2.3 Messergebnisse

In Tabelle 21 finden sich die Ergebnisse der in Peru durchgeführten Messungen.

Tabelle 21: Ergebnisprotokoll der Beprobungen in Peru

Probenahme		Ort		Probenahmestelle		Temp.	Leitfähigkeit	pH-Wert	Trübung	gel. Fe	Arsen	E.Coli	ges. Coliforme	i.E.	Durchfluss
Datum	Uhrzeit	Name	Nr.	Bezeichnung	lfd. Nr.	[°C]	[µS/cm]		[NTU]	[mg/l]	[µg/l]		[cfu/100ml]		l/h
04.03.2013	11:00	Cusibamba	1	Wasserhahn n. Brunnen	1	13,3	265	6,08	5,37	<0,1	0	890	45.000	1.500	n.a.
04.03.2013	11:30	Cusibamba	1	Permeat Paul 0005	2	14,6	249	6,45	0,01	<0,1	n.a.	0	4	0	100
05.03.2013	11:00	Punacancha	2	Quellwasser	3	14,3	622	6,85	0,30	<0,1	0	1	68	11	n.a.
05.03.2013	11:50	Punacancha	2	Permeat Paul 0009	4	13,4	514	7,01	0,00	<0,1	n.a.	0	0	0	120
06.03.2013	12:15	Quiquijana	3	Wasserkanal Chacra	5	20,5	539	7,27	70,37	<0,1	25	2.400	60.000	11.000	n.a.
06.03.2013	12:30	Quiquijana	3	Permeat Paul 648 Chacra	6	20,0	1.150	7,18	0,00	n.a.	25	1	970	5	200
06.03.2013	15:00	Quiquijana	4	Wasserleitung Kinderheim	7	16,6	1.311	7,07	0,25	<0,1	5	37	79	18	n.a.
06.03.2013	15:30	Quiquijana	4	Permeat Paul 168	8	15,7	401	7,27	0,02	n.a.	5	0	0	0	225

Erläuterungen:

lfd. Nr.	Farbe	Bemerkung:
1	leicht grau /min. Trübung	Probe aus Wasserhahn hinter einer Brunnenwasserpumpe
2	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration
3	klar	Probe direkt aus dem Quellwasser
4	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration
5	leicht grau /min. Trübung	Probe direkt aus dem Wasserkanal auf der Gewächshausanlage Chacra
6	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration
7	klar	Probe direkt aus der Wasserleitung
8	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Trübungsmessungen sowie die mikrobiologischen Ergebnisse der vier untersuchten Wasserrucksäcke an den drei Standorten in Abbildung 103 zusammengefasst. Die klimatischen Verhältnisse waren zu allen Probenahmezeitpunkten sehr ähnlich, nämlich 16°C bis 19°C bei wechselnder Bewölkungsintensität und einer Luftfeuchtigkeit zwischen 40% und 50%. Eine Bewertung dieser Ergebnisse findet sich im nachfolgenden Abschnitt.

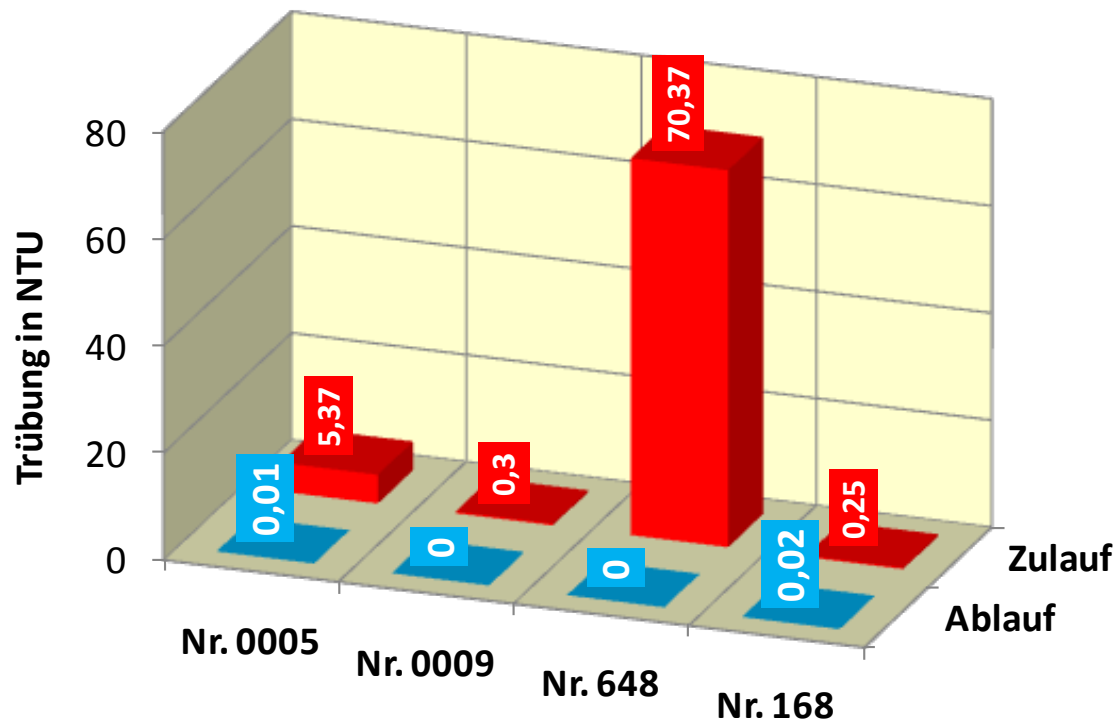


Abbildung 102: Ergebnisse der Trübungsmessungen – Peru

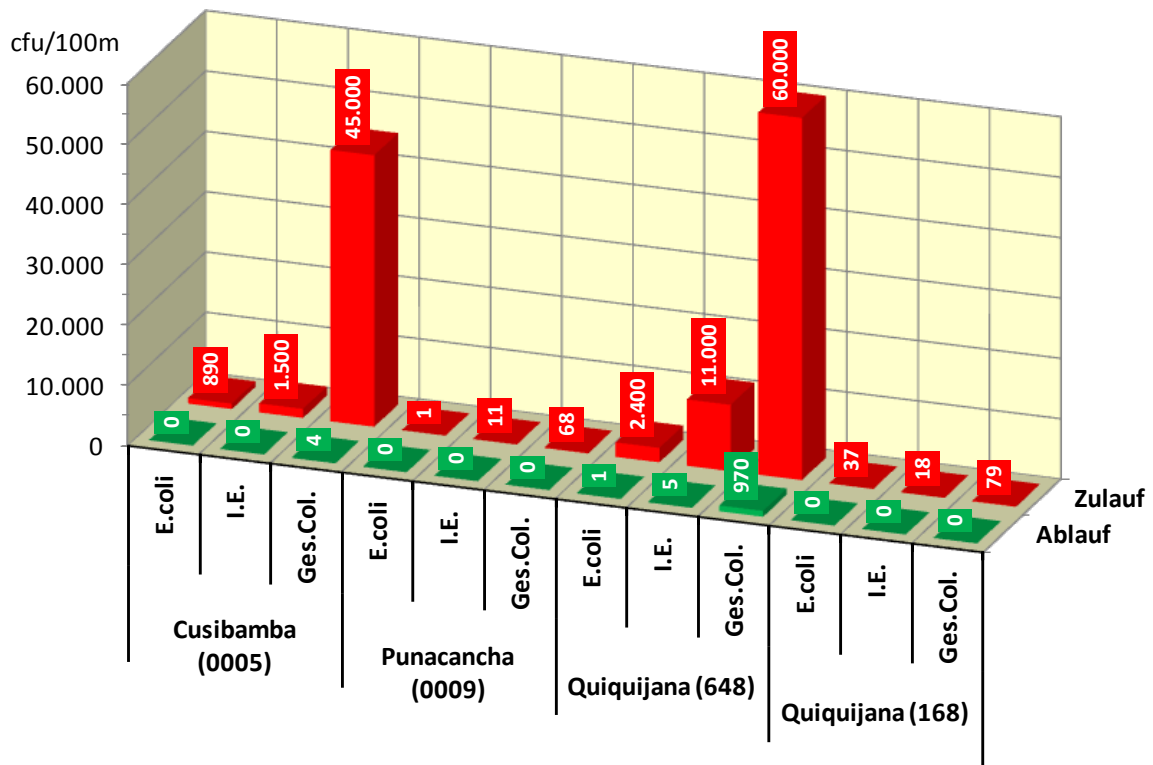


Abbildung 103: Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen - Peru

Aus diesen Werten lassen sich die LRVs ermitteln, die in Abbildung 104 dargestellt sind. Die LRVs sind graphisch unterschieden nach dem Unter- bzw. Überschreiten der analytischen Bestimmungsgrenze (BGr). Somit ist zu erkennen, dass in 8 von 12 Ablaufproben keine Bakterienbelastung mehr nachweisbar war.

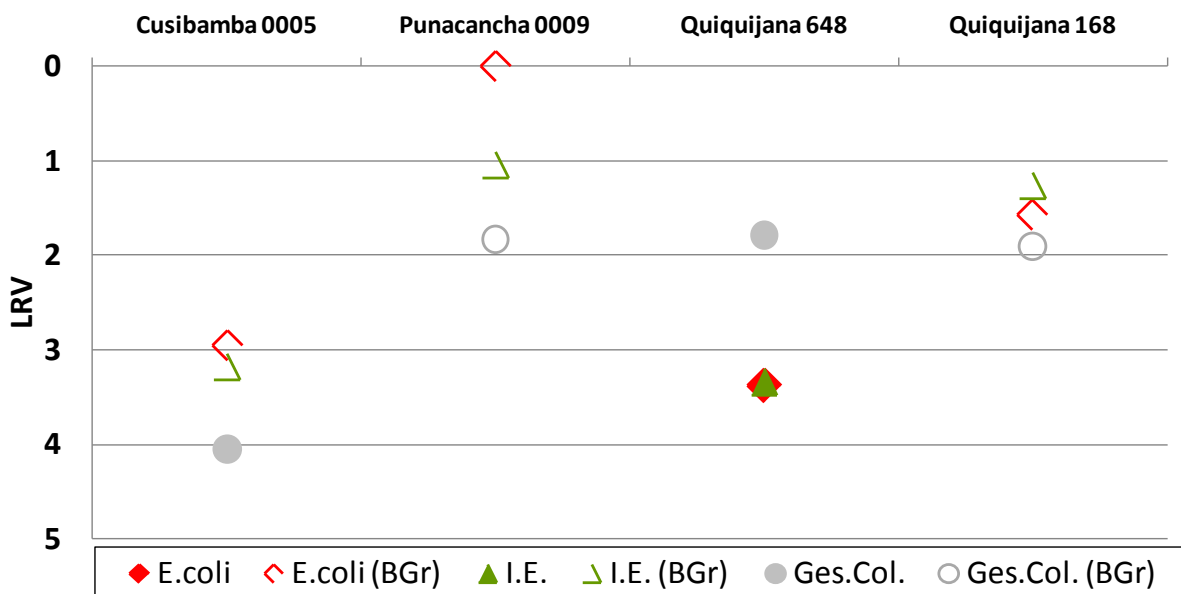


Abbildung 104: mikrobiologische Analysen in Peru: Bakterienrückhalt (LRV)

Es folgen in Tabelle 22 die hydraulischen Ergebnisse der vier untersuchten Wasserrucksäcke an den drei Standorten während des Vor-Ort-Besuches in Peru.

Tabelle 22: *Hydraulische Ergebnisse - Peru*

Wasserrucksack Nr.	hydraulische Leistungsfähigkeit	
	L/h	L/d
Cusibamba Nr. 0005	100	2.400
Punacancha Nr. 0009	120	2.880
Quiquijana Nr. 648	200	4.800
Quiquijana Nr. 168	225	5.400

5.2.4 Bewertung der Messergebnisse

Alle untersuchten Rohwässer waren mit Fäkalorganismen (E.coli, Intestinale Entero kokken (I.E.)) kontaminiert, wobei der Grad der Kontamination an den vier untersuchten Standorten durchaus unterschiedlich hoch ausfiel. Die mikrobiologische Belastung der Wasserquelle in Punacancha war gering, das Rohwasser im Kinderheim Quiquijana demgegenüber etwas erhöht und die Rohwässer aus dem Brunnen in Cusibamba und aus dem Wasserkanal auf der Gewächshausplantage Chacra mit Werten bis zu $1,1 \cdot 10^4$ cfu/100ml sehr hoch.

Diese Aussage gilt analog für die in den Rohwässern festgestellte Trübung. Der Maximalwert wurde dabei auf der Gewächshausplantage Chacra mit ca. 70 NTU gemessen.

Erstaunlich war die Analyse einer erhöhten Arsenkonzentration (gelöst) von 25 µg/L im Rohwasser aus dem Wasserkanal der Gewächshausplantage Chacra, da Peru bislang nicht als Risikogebiet im Hinblick auf Arsen im Grundwasser gilt. Diese Konzentration wurde entsprechend auch im Filtrat des Wasserrucksacks 648 wiedergefunden, da gelöste Stoffe durch eine Filtration über eine offene Porenmembran nicht zurückgehalten werden können. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt seit 1992 einen Grenzwert für Arsen im Trinkwasser von 10 µg/L.

Dieses Analyseergebnis einer erhöhten Arsenkonzentration wurde an die KHC kommuniziert mit dem Hinweis bzw. der Empfehlung, diesen Sachverhalt den zuständigen lokalen Behörden bekannt zu machen und in der Folge mit Hilfe lokaler Umweltlaboratorien zu verifizieren.

Die mikrobiologische Leistungsfähigkeit der Wasserrucksäcke, dargestellt in Abbildung 103 und Abbildung 104 anhand der Parameter E.coli, I.E. und Ges.Col., war nach einer Betriebszeit von maximal 2 Jahren sehr gut. Insbesondere in Bezug auf

die fäkalen Ausgangskontaminationen (E.coli, I.E.) konnten nur in einer einzigen Probe überhaupt eine minimale Kontamination (Quiquijana 648) analysiert werden. Die Rückhalterate lag in diesem Fall bei **3,4 Log₁₀-Stufen** für E.coli-Bakterien und bei **3,3 Log₁₀-Stufen** für I.E. Die Werte der Ges.Col. sind an dieser Stelle nicht aussagekräftig, da hierunter auch gesundheitsunschädliche Umweltkeime fallen.

In den Filtraten aller Wasserrucksäcke konnte keine Trübung mehr festgestellt werden.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Wasserrucksäcke, dargestellt in Tabelle 22, zeigte sich bei allen Aggregaten deutlich erhöht gegenüber den Versuchsergebnissen des FG SWW in den zurückliegenden Jahren. Aus diesen Untersuchungen resultierte die Angabe, dass der Wasserrucksack im Langzeitbetrieb eine hydraulische Leistungsfähigkeit von 1.200 L/d aufweist. Tatsächlich konnten im Rahmen der Kontrollmessungen vor Ort in Peru Volumenströme der einzelnen Aggregate zwischen 2.400 L/d und 5.400 L/d festgestellt werden.

Im Rahmen des ersten Wasserrucksack-Einsatzes durch KHC im Frühjahr 2011 sowie aller nachfolgenden Wasserrucksack-Transfers durch KHC war im Vorfeld seitens des FG SWW immer ausführlich auf die Vorgehensweise bei der „Pflege“, „Lagerung“, „Reinigung“ und „Wartung“ des Wasserrucksacks hingewiesen worden. Diese Informationen waren dann von Mitarbeitern der KHC an die Ordensschwestern, die die Wasserrucksäcke vor Ort betreuen, weitergereicht worden.

Der Vor-Ort-Besuch im März 2013 zeigte, dass an allen besuchten Einsatzorten diesen Hinweisen und Empfehlungen sehr penibel gefolgt worden war. Der Aspekt „Lagerung“ spielte dabei eine untergeordnete Rolle, da alle Aggregate täglich genutzt wurden. Während der Betriebspausen bzw. über Nacht wurden in Cusibamba und in Punacancha (Abbildung 98, unten links) die Wasserrucksäcke an der Einfüllöffnung abgedeckt. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen und zur Vermeidung direkter Sonneneinstrahlung wurden alle Wasserrucksäcke im überdachten Terrain aufgestellt und betrieben. Hinsichtlich der „Pflege“ waren überall Spülungen und gelegentliche Komplettentleerungen über den Bodenablass durchgeführt worden. Dieser Umstand war bei den Revisionsarbeiten im Rahmen dieser Kontrollmessungen auch anhand des sehr geringen Verschmutzungsgrades im Inneren der Wasserrucksäcke deutlich zu erkennen. Es ist allerdings hinzuzufügen, dass die verwendeten Rohwässer an allen Standorten nur minimal feststoff- bzw. trübstoffbelastet waren.

Über Schwierigkeiten bei diesen Tätigkeiten wurde nicht berichtet und es kam dabei offensichtlich auch zu keinen Fehlbedienungen der Wasserrucksäcke. Die Bedeutung der Piktogramme war an den besuchten Einsatzorten nachrangig, da die Inbetriebnahme durch Mitarbeiter der KHC betreut worden war. Auch ergaben sich aus

den Betriebserfahrungen der diversen Nutzer keine neuen Hinweise für die Bedienungsanleitung.

Die Akzeptanz der Wasserrucksäcke war an allen Einsatzorten sehr hoch. Die Wasserrucksäcke werden von den betreuenden Ordensschwestern gerne verwendet und sie wie auch die einheimische Bevölkerung selbst registrieren die Verbesserung der Wasserqualität.

In Cusibamba wurde von den Ordensschwestern geäußert, dass sich die Anzahl an Erkrankungen bei den Kindern merklich reduziert hätte. Die Ordensschwestern meldeten auch unmittelbar einen Mehrbedarf für wenigstens einen weiteren Wasserrucksack an. Im Nachgang zu diesem Vor-Ort Besuch konnte diesem Wunsch sogar entsprochen werden, in dem der Wasserrucksack aus dem Priesterseminar in Cusco hierher überführt wurde.



Abbildung 105: Bewohner der Kinderheime in Cusibamba und Quiquijana

5.3 Bénin

5.3.1 Situation im Untersuchungsgebiet

Abbildung 1 zeigt die Lage Bénins in Mittel-West-Afrika. Bénin liegt an der Bucht von Bénin im Golf von Guinea zwischen 6° und 12° nördlicher Breite zwischen Togo und Nigeria. Bénins Bevölkerung zählt rund 9 Mio. Einwohner auf einer Landesfläche von 113.000 km². Klimatisch gesehen befindet sich Bénin in einer Übergangszone zwischen den immerfeuchten und sommerfeuchten Tropen. Angesichts der relativ hohen Niederschlagsmenge würde man nicht zwingend mit Wasserversorgungsproblemen rechnen.



Abbildung 106: Einsatzgebiet in der Region Lokossa im Südwesten Bénins

5.3.2 Erläuterungen zu den Einsatzorten der Wasserrucksäcke

Im April 2012 wurden von der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn ins gesamt sechs Wasserrucksäcke an vier Standorten in Betrieb genommen. Einsatzgebiet ist die Region Lokossa im Südwesten Bénins an der Grenze zu Togo. Lokossa ist die Hauptstadt des Departments Mono und liegt auf ca. 60 m Höhe wie in etwa auch alle nachfolgend beschriebenen Einsatzorte. Das Temperaturspektrum liegt im Jahresverlauf zwischen 22°C und 35°C.

Der Besuch von Mitarbeitern des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft (FG SWW) der Universität Kassel zur Durchführung von hydraulischen und mikrobiologischen Kontrollmessungen fand im Juli 2013 statt.

Als erster Einsatzort für einen Wasserrucksack wurde das Dorf Awacou in der Kommune Athieme gewählt. In Awacou leben ca. 80 Personen. Dieses Dorf verfügt zwar

über einen gebohrten Tiefbrunnen mit Handpumpe, der auch mikrobiologisch unbedenkliches Wasser liefert, jedoch ist dieser stark calciumhaltig und wird nur zur Palmölproduktion verwendet. Ihr Trinkwasser beziehen die Bewohner aus einem offenen Schachtbrunnen, der zwar technisch intakt und verhältnismäßig wenig mikrobiologisch verunreinigt ist, als trinkbar lässt sich dieses Wasser jedoch nicht einordnen.



Abbildung 107: Awacou - links: unbenutzter Tiefbrunnen mit Handpumpe, mitte/rechts: offener Schachtbrunnen



Abbildung 108: Awacou – Inbetriebnahme

Am zweiten Einsatzort, dem Dorf Djonougou ebenfalls in der Kommune Athieme, wurden aufgrund seiner Bewohnerzahl (ca. 250 Personen) zwei Wasserrucksäcke installiert, um das dort mikrobiologisch belastete Rohrbrunnenwasser aufzubereiten.



Abbildung 109: Djonougou – Vorführung und Installation

Der dritte Einsatzort zweier Wasserrucksäcke ist das Dorf Akplenou in der Kommune Bopa mit ca. 250 Einwohnern (ca. 60 km und 2 Autofahrstunden von Lokossa entfernt), welches über einen einfachen und schlecht gewarteten Schachtbrunnen verfügt, der ebenfalls von vielen Dorfbewohnern als Trinkwasserquelle verwendet wird. Dieser weist eine sehr hohe Verunreinigung mit Fäkalbakterien und Trübstoffen auf.



Abbildung 110: Akplenou - links: offener Schachtbrunnen, rechts: installierte Wasserrucksäcke

Der sechste Wasserrucksack wird in dem Dorf Kladjémé (Abbildung 111), dessen offener Brunnen die ca. 100 Bewohner mit Wasser versorgt, betrieben. Der Wasserrucksack wurde auf einem zentralen Platz in Kladjémé aufgestellt, ist aber auch für die Bewohner des Nachbardorfes Fifadji (ebenfalls ca. 100 Einwohner) zugänglich, die denselben Brunnen als Wasserquelle benutzen.



Abbildung 111: Kladjémé – oben: offener Schachtbrunnen, unten: Installation und Vorführung des Wasserrucksacks

Somit ergibt sich die in Abbildung 112 dargestellte kartographische Standortverteilung aller Wasserrucksäcke in der Region Lokossa.

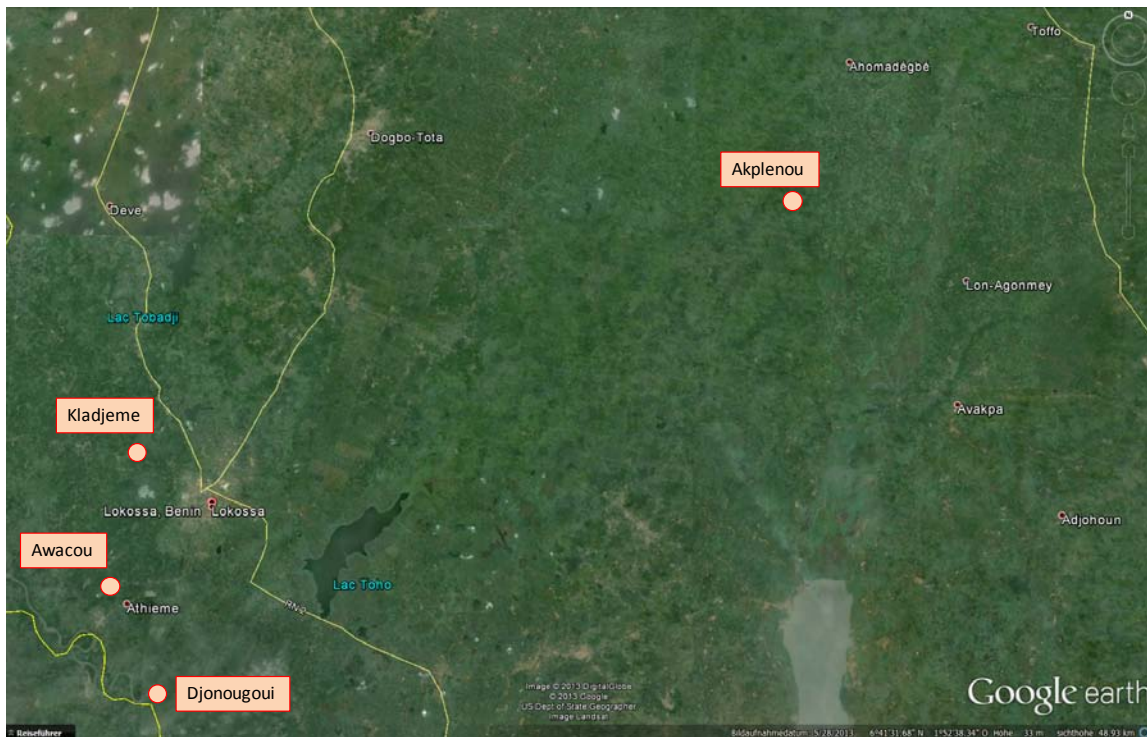


Abbildung 112: Standorte der Wasserrucksäcke in der Region Lokossa/Bénin

5.3.3 Messergebnisse

In Tabelle 23 finden sich die Ergebnisse der in Bénin durchgeführten Messungen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Trübungsmessungen sowie die mikrobiologischen Ergebnisse aller sechs Wasserrucksäcke an allen vier Standorten in Abbildung 114 zusammengefasst. Die klimatischen Verhältnisse waren zu allen Probenahmezeitpunkten sehr ähnlich, nämlich 27°C bis 29°C bei wechselnder Bewölkungsintensität und einer Luftfeuchtigkeit zwischen 75% und 80%. Eine Bewertung dieser Ergebnisse findet sich im nachfolgenden Abschnitt.

Tabelle 23: Ergebnisprotokoll der Beprobungen in Bénin

Probenahme		Ort		Probenahmestelle		Temp.	Leitfähigkeit	pH-Wert	Trübung	gel. Fe	Arsen	NO ₃ -N	E. Coli	ges. Coliform	i.E.	Durchfluss
Datum	Uhrzeit	Name	Nr.	Bezeichnung	lfd. Nr.	[°C]	[µS/cm]		[NTU]	[mg/l]	[µg/l]	[mg/l]		[cfu/100ml]		l/h
08.07.2013	11:30	Djonougou	1	Rohwasser	1	28,6	697	6,41	13,70	<0,1	0	2,3-5,6	3.800	11.000	860	n.a.
08.07.2013	12:00	Djonougou	1	Permeat Paul 677	2	28,5	689	6,65	0,01	n.a.	n.a.	n.a.	0	40	1	180
08.07.2013	12:15	Djonougou	1	Permeat Paul 676	3	28,5	689	7,05	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	120
09.07.2013	12:00	Akplenou	2	Rohwasser	4	27,9	772	6,84	22,54	<0,1	0	0	8.200	60.000	9.100	n.a.
09.07.2013	12:30	Akplenou	2	Permeat Paul 675	5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0	217	2	225
09.07.2013	12:45	Akplenou	2	Permeat Paul 695	6	28,1	773	7,03	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	0	189	1	138
10.07.2013	10:00	Kladjémé	3	Rohwasser	7	27,2	100	7,5	6,33	<0,1	0	0	100	11.000	1.600	n.a.
10.07.2013	10:20	Kladjémé	3	Permeat Paul 694	8	27,1	96	7,57	0,01	<0,1	0	0	0	1	0	212
10.07.2013	12:30	Awacou	4	Rohwasser	9	28	227	7,6	6,57	<0,1	0	2,3	180	19.000	1.000	n.a.
10.07.2013	13:00	Awacou	4	Permeat Paul 693	10	28,3	301	7,47	0,00	<0,1	0	2,3	0	5	0	78

Erläuterungen:		Farbe	Bemerkung:
lfd. Nr.			
1	leicht trüb	Probe direkt aus geschlossenem Flachbrunnen	
2	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration	
3	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration	
4	bräunlich trüb	Probe direkt aus offenem Schachbrunnen	
5	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration	
6	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration	
7	gelblich grün	Probe direkt aus offenem Schachbrunnen	
8	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration	
9	trüb	Probe direkt aus offenem Schachbrunnen	
10	klar	Probe nach Behälterspülung und 50 Litern Filtration	

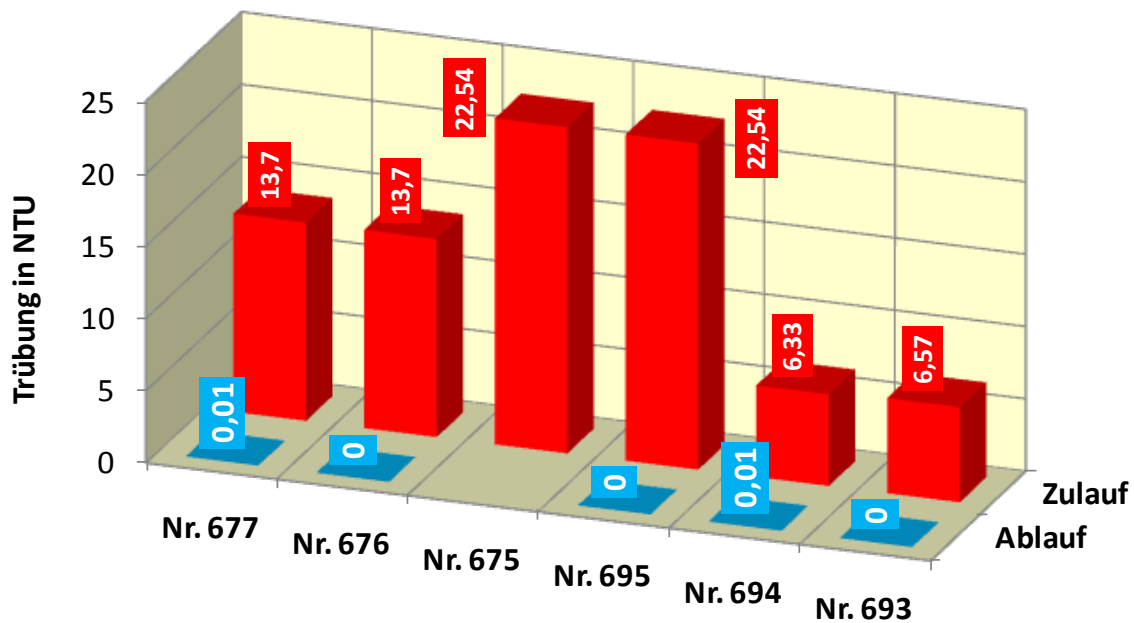


Abbildung 113: Ergebnisse der Trübungsmessungen – Bénin

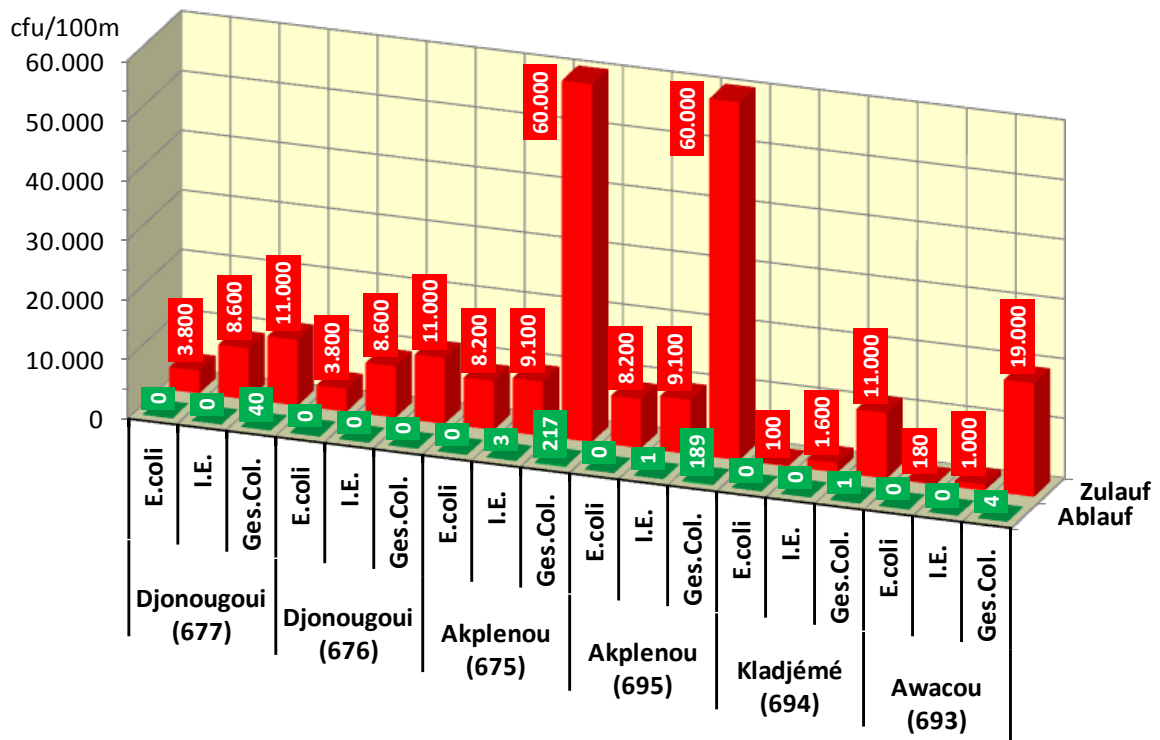


Abbildung 114: Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen - Bénin

Aus diesen Werten lassen sich die LRVs ermitteln, die in Abbildung 115 dargestellt sind. Die LRVs sind graphisch unterschieden nach dem Unter- bzw. Überschreiten der analytischen Bestimmungsgrenze (BGr). Somit ist zu erkennen, dass in 11 von 18 Ablaufproben keine Bakterienbelastung mehr nachweisbar war.

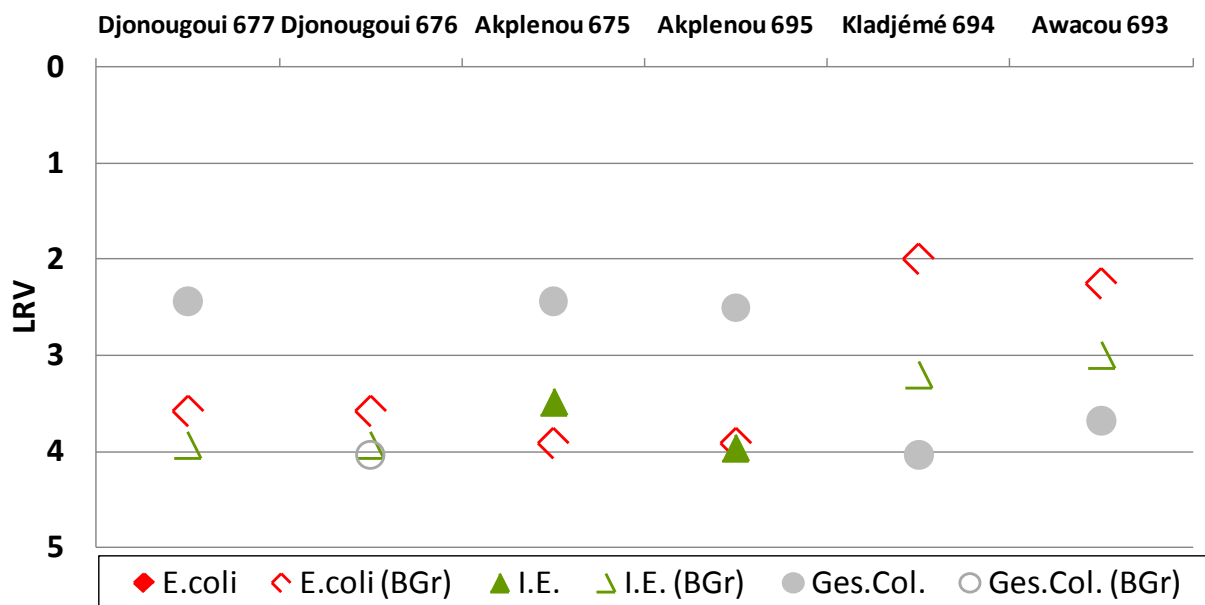


Abbildung 115: Mikrobiologische Analysen in Bénin: Bakterienrückhalt (LRV)

Es folgen in Tabelle 24 die hydraulischen Ergebnisse aller sechs Wasserrucksäcke an allen vier Standorten während des Vor-Ort-Besuches in Bénin.

Tabelle 24: Hydraulische Ergebnisse - Bénin

Wasserrucksack Nr.	hydraulische Leistungsfähigkeit	
	L/h	L/d
Djonougou Nr. 677	180	4.320
Djonougou Nr. 676	120	2.880
Akplenou Nr. 675	225	5.400
Akplenou Nr. 695	138	3.312
Kladjieme Nr. 694	212	5.088
Awacou Nr. 693	78	1.872

Dabei wird erkennbar, dass an allen Untersuchungsstandorten die hydraulische Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks zum Teil sehr deutlich über dem bisher prognostizierten Wert von 1.200 L/d liegt. Dies geht jedoch nicht zu Lasten der mikrobiologischen Ablaufqualität, wie die vorherigen Abbildungen dokumentieren.

5.3.4 Bewertung der Messergebnisse

Alle untersuchten Rohwässer waren erheblich mit Fäkalorganismen (E.coli, Intestinale Enterokokken (I.E.)) kontaminiert, wobei der Grad der Kontamination an den vier untersuchten Standorten unterschiedlich hoch ausfiel. Die mikrobiologischen Belas-

tungen der Brunnenwässer in Awacou und Kladjémé waren hoch, die Brunnenwässer in Djonougou und Akplenou demgegenüber nochmals sehr deutlich erhöht mit Werten bis zu $9,1 \cdot 10^3$ cfu/100ml.

Diese Aussage gilt analog für die in den Rohwässern festgestellte Trübung. Der Maximalwert wurde dabei in Akplenou mit ca. 22,5 NTU gemessen.

Die mikrobiologische Leistungsfähigkeit der Wasserrucksäcke, dargestellt in Abbildung 114 und Abbildung 115 anhand der Parameter E.coli, I.E. und Ges.Col., war nach einer Betriebszeit von maximal 15 Monaten sehr gut. In Bezug auf die fäkalen Ausgangskontaminationen (E.coli, I.E.) konnten an keinem Standort im Ablauf E.coli-Bakterien nachgewiesen werden. Die Rückhalteraten lagen in diesen Fällen bei bis zu **3,9 Log₁₀-Stufen**. In zwei Ablaufproben wurden minimale Restbelastungen an I.E. (Akplenou 695) analysiert. Die Rückhalteraten lagen in diesen Fällen bei **3,5 Log₁₀-Stufen** und bei **4,0 Log₁₀-Stufen**. Die Werte der Ges.Col. sind an dieser Stelle nicht aussagekräftig, da hierunter auch gesundheitsunschädliche Umweltkeime fallen.

In den Filtraten aller untersuchten Wasserrucksäcke konnte keine Trübung mehr festgestellt werden.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Wasserrucksäcke, dargestellt in Tabelle 24, zeigte sich bei allen Aggregaten deutlich erhöht gegenüber den Versuchsergebnissen des FG SWW in den zurückliegenden Jahren. Aus diesen Untersuchungen resultierte die Angabe, dass der Wasserrucksack im Langzeitbetrieb eine hydraulische Leistungsfähigkeit von 1.200 L/d aufweist. Tatsächlich konnten im Rahmen der Kontrollmessungen vor Ort in Bénin im Juli 2013 Volumenströme der einzelnen Aggregate zwischen 1.900 L/d und 5.400 L/d festgestellt werden.

Im Rahmen der Inbetriebnahme im April 2012 wurde an allen Standorten durch Mitarbeiter der GIZ ausführlich die Vorgehensweise bei der „Pflege“ und „Lagerung“ des Wasserrucksacks erläutert. Diese Erläuterungen betrafen v.a. diejenigen Dorfbewohner, die zukünftig für die Wasserrucksäcke verantwortlich zeichnen sollten. Aspekte wie „Reinigung“ und „Wartung“ wurden ebenfalls angesprochen.

Der Vor-Ort-Besuch im Juli 2013 zeigte, dass diesbezüglich an den einzelnen Einsatzorten durchaus unterschiedlich verfahren worden war. Der Aspekt „Lagerung“ spielte eine untergeordnete Rolle, da alle Aggregate täglich betrieben wurden. Hinsichtlich der „Pflege“ war eine gelegentliche Spülung inkl. Komplettentleerung über den Bodenablass empfohlen worden, um die zurückgehaltenen Feststoffe aus den Wasserrucksäcken zu spülen. Dies war an zwei Standorten (Awacou und Fifadji-Kladjémé) unterlassen worden. Einbußen bei der Leistungsfähigkeit konnten an beiden Standorten trotzdem nicht festgestellt werden. Die Aggregate zeigten sich also auch in dieser Hinsicht als robust und nicht störanfällig.

In Awacou und Djonougou war nach den „Pflege“-Empfehlungen des FG SWW vorgefahren worden. Über Schwierigkeiten bei diesen Tätigkeiten wurde nicht berichtet und es kam dabei offensichtlich auch zu keinen Fehlbedienungen der Wasserrucksäcke. Die Bedeutung der Piktogramme war an den besuchten Einsatzorten nachrangig, da die Inbetriebnahme durch Mitarbeiter der GIZ betreut worden war. Auch ergaben sich aus den Betriebserfahrungen der Dorfbewohner keine neuen Hinweise für die Bedienungsanleitung.

Die gewonnenen Daten und Erkenntnisse sagen eindeutig aus, dass alle 6 Wasserrucksäcke nach maximal 15 Monaten Betrieb weiterhin die volle hydraulische und mikrobiologische Leistungsfähigkeit aufweisen. Festzustellen waren bei der Bevölkerung eine sehr hohe Akzeptanz sowie Anwendungsfreudigkeit und ein sehr hohes Engagement im betrieblichen Umgang mit den Wasserrucksäcken.

Während der Besuche der Einsatzorte stellte sich durchgehend heraus, dass der Wasserrucksack gerne von den Bewohnern verwendet wird und sie auch die Verbesserung der Wasserqualität wahrnehmen.

An zwei Standorten (Djonougou und Akplenou) wurde zudem darauf hingewiesen, dass die Anzahl an Magen-Darm- und Durchfallerkrankungen in den vergangenen Monaten zurückgegangen sei. Diese Aussagen sind wichtige Hinweise, können aber nicht weiter quantifiziert werden. Dafür brauchte es eine wissenschaftliche Studie in Zusammenarbeit mit medizinischen Fachkollegen.

Den an diesem Untersuchungsprogramm beteiligten Gemeinden und Verwaltungsbehörden wurden von Vertretern des FG SWW am 12. Juli 2013 im Rahmen einer Abschlussveranstaltung in Lokossa die Ergebnisse der gesamten Evaluation präsentiert. Die vorherrschende Frage der Bevölkerung und der Gemeindevertreter zum Ende dieser Veranstaltung war immer und überall dieselbe: „Wann bekommen wir weitere Wasserrucksäcke?“.



Abbildung 116: Bewohner der Dörfer Akplenou und Kladjémé (und FG SWW – Delegation)

5.4 Pakistan

5.4.1 Situation im Untersuchungsgebiet

In Abschnitt 5.1.1 ist bereits die Vorgeschichte zum Einsatz von Wasserrucksäcken in Pakistan, die gleichzeitig die Ursache für den humanitären Einsatz im heutigen Umfang ist, erläutert worden.

Wie auch aus Abbildung 94 hervorgeht, war u.a. ein Bereich zwischen Islamabad und Peshawar maßgeblich betroffen durch das Hochwasser des Swat. Daher hatte die HCS u.a. in diesem Bereich etliche Wasserrucksäcke gleich zu Beginn, also im August 2010, positioniert.

Die Bereisung fand Anfang April 2013 statt, also 2 ½ Jahre nach Eintreffen der ersten von HCS nach Pakistan gebrachten Rucksäcke. Hierbei wurde ein Gebiet unmittelbar östlich des Swat und nordöstlich von Peshawar besucht. In Abbildung 118 ist eine Übersichtskarte zu sehen, die von Islamabad im Osten bis Peshawar im Westen reicht. Das besuchte Gebiet ist rot gestrichelt eingetragen.



Abbildung 117: Kontrollpunkt in Islamabad

die Zentralregierung in Islamabad. In Abbildung 119 ist der Großraum, der auch das Besuchsgebiet umfasst, politisch dargestellt.

Grün dargestellt ist die Provinz Khyber Pakhtunkhwa mit 24 Distrikten. Hier ist der Einfluss der Zentralregierung bereits recht gering. In den Distrikten Makalnd und Swat wird seit 2009 die Scharia angewandt. Die Analphabetenrate von Männern liegt bei 49%, von Frauen bei 81% (http://de.wikipedia.org/wiki/Khyber_Pakhtunkhwa).

Allgemein ist Pakistan ein Land mit Sicherheitsproblemen. In Islamabad finden sich seit dem Anschlag auf das Marriott-Hotel am 20.09.2008 an vielen Stellen Straßensperren und Kontrollpunkte. Das Diplomatenviertel ist mehrfach gesichert. Je weiter westlich von Islamabad man sich befindet, also je näher an Afghanistan, desto instabiler ist die Lage und desto weniger Einfluss hat

Abbildung 118: Übersicht über die Lage des Untersuchungsgebietes in Pakistan (rot gestrichelt umrandet)



Abbildung 119: Übersicht über die Provinz Khyber Pakhtunkhwa und die Federally Administered Tribal Areas (FATA)

Blau dargestellt ist der Bereich der Federally Administered Tribal Areas (FATA). Hier endet der Einfluss der Zentralregierung weitgehend. Die Analphabetenrate, bereits in der Provinz Khyber Pakhtunkhwa sehr hoch, liegt hier bei 70% (Männer) bzw. 97% (Frauen) (http://de.wikipedia.org/wiki/Stammesgebiete_unter_Bundesverwaltung).

Wie der Vergleich von Abbildung 118 mit Abbildung 119 zeigt, befindet sich das Besuchsgebiet in der Provinz Khyber Pakhtunkhwa im Distrikt Charsadda.

Zu beachten ist zudem, dass etwa 6 Wochen nach der Bereisung Wahlen angesetzt waren, was die Situation etwas unruhiger machte.

Herr Flasse von HCS hatte freundlicherweise angeboten, ihn auf einer seiner Reisen nach Pakistan zu begleiten, was den unschätzbaren Vorteil hatte, dass die Organisation von HCS übernommen wurde. Zudem war dadurch eine Sicherung durch bewaffnete Sicherheitskräfte gegeben, was Voraussetzung ist, um in das fragliche Gebiet vordringen zu können.

5.4.2 Erläuterungen zu den Einsatzorten der Wasserrucksäcke

5.4.2.1 Übersicht

Abbildung 120 zeigt, an welchen Orten die Beprobungen stattgefunden haben.

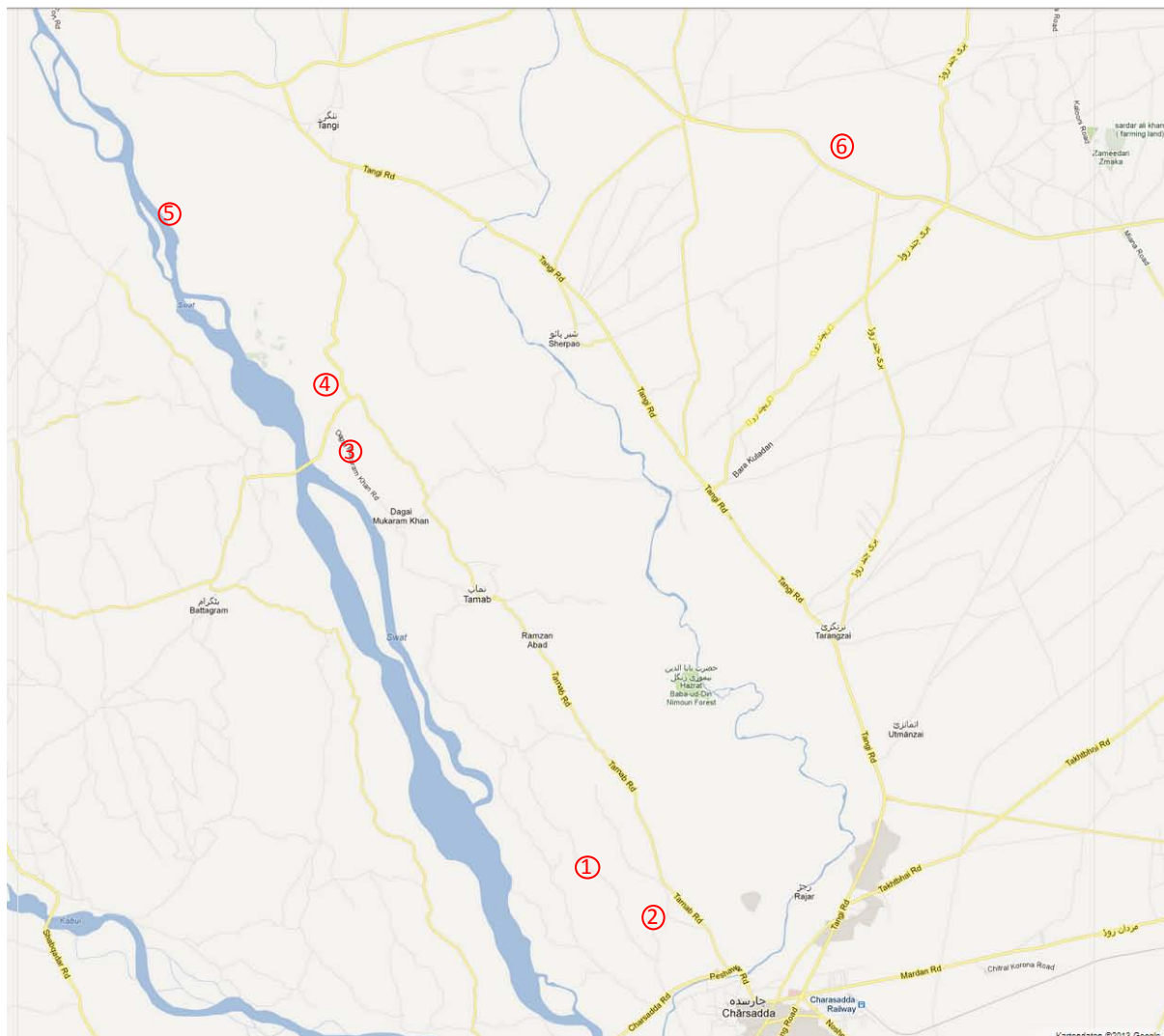


Abbildung 120: Ortslage der untersuchten Wasserrucksäcke in Pakistan

5.4.2.2 Ort 1 – Schule in Tarnab (Nord)

Beim ersten besuchten Ort handelt es sich um eine Schule. Der Wasserrucksack Nr. 319 aus der 4. Generation, siehe Abbildung 95, wird aus zwei etwa 30 m tiefen Brunnen beschickt und nach Angaben der Anwesenden etwa „4 Mal pro Tag“ befüllt. Etwa 250 Kinder trinken Wasser aus diesem Wasserrucksack. Abbildung 121 verschafft einen Eindruck.



Abbildung 121: Wasserrucksack Nr. 319 in der Schule in Tarnab (Nord)

Nach den Gesprächen mit den Anwesenden kann geschätzt werden, dass etwa 250 Liter am Tag gefiltert werden.

5.4.2.3 Ort 2 – Schule in Tarnab (Süd)

Ebenfalls in einer Schule ist Wasserrucksack Nr. 356, auch aus der 4. Generation, siehe Abbildung 95, in Benutzung. Hier versorgt ein ca. 30 m tiefer Brunnen über einen Hochbehälter und anschließende Passage durch einen Kühler etwa 250 Kinder an 6 Tagen pro Woche, siehe auch Abbildung 122. Nach Angaben des Lehrers wird der Wasserrucksack täglich 6 Mal befüllt.



Abbildung 122: Verhältnisse in der Schule in Tarnab (Süd) – oben :Toilettenhaus mit Wasser-Hochbehälter (links); Wasserkühler (rechts) – unten: Schulkinder am Wasserrucksack Nr. 356 (links); Toilette (rechts)

Es ist eine Schultoilette mit Latrine vorhanden.

Nach den Gesprächen mit den Anwesenden kann geschätzt werden, dass ebenfalls etwa 250 Liter am Tag gefiltert werden.

5.4.2.4 Ort 3 – Privatanwesen

In einem Privatanwesen des Dorfältesten in Dildar Ghari befanden sich zwei Wasserrucksäcke, siehe Abbildung 123, mit den Nummern 88 (dritte Generation, siehe Abbildung 95) und Nr. 177 (vierte Generation, siehe Abbildung 95).



Abbildung 123: Nr. 88 (links) und Nr. 177 (rechts) in Dildar Ghari

Beide Wasserrucksäcke waren längere Zeit außer Betrieb gewesen und lieferten praktisch keinen Durchfluss mehr. Es wurde nach Teildemontage als Ursache vermutet, dass dies durch Trockenfallen und durch kalkhaltiges Wasser begründet ist.

Es wurde empfohlen, die Wasserrucksäcke mit klarem, sehr warmem Wasser und Essig zu füllen und einen Tag stehen zu lassen. Leider ist nicht bekannt geworden, ob dieser Hinweis durchgeführt wurde und welcher Effekt festgestellt wurde.

5.4.2.5 Ort 4 – Sanger

Am Dorfeingang, öffentlich zugänglich unter einem schattenspendenden Dach mit Liege-Gelegenheiten für den müden und durstigen Wanderer, steht ein Wasserrucksack aus der Edelstahl-Serie, also aus der zweiten Generation, die nur in 17 Exemplaren gebaut und nur in Pakistan verwendet wurde/wird. Seriennummern wurden seinerzeit noch nicht vergeben. Der Wasserrucksack gehört jedenfalls zu den ersten 24 Exemplaren weltweit (incl. Chile März 2010), die überhaupt in die Anwendung gelangt sind.

Abbildung 124 zeigt die örtlichen Verhältnisse.



Abbildung 124: Wasserrucksack in Sanger – oben: Ansichten; – unten: Brunnenhaus mit geöffnetem Brunnen (links); Blick in den (am Besuchstag nicht in Betrieb befindlichen) Brunnen (rechts)

Direkt neben dem Wasserrucksack befindet sich das Brunnengebäude, aus dem auch früher das Wasser in den Wasserrucksack gegeben wurde. Da nun ein Wasserleitungssystem mit Versorgung der Haushalte über ein festes Leitungsnetz aus dem Brunnen existiert, wird dieser Wasserrucksack nur noch sehr selten benutzt, da üblicherweise das Brunnenwasser getrunken wird. Daher wurde hier nur die Durchflussmenge gemessen.

5.4.2.6 Ort 5 – Tarlandi

Der Ort Tarlandi liegt unmittelbar in der Nähe des Swat. Auch wenn der Fluss bei den beim Besuch herrschenden Verhältnissen einige hundert Meter entfernt war, so ist doch klar, dass Tarlandi bei erhöhten Wasserspiegeln eines der ersten Überflutungsoffer ist. In der Tat war Tarlandi dem sehr eindrucksvollen Vortrag des Dorfältesten zufolge völlig zerstört. Viel Wiederaufbauarbeit wurde hier geleistet.

So wurde unter anderem aus Mitteln, die vor allem aus Spenden von Bürgern der Stadt Celle stammen, ein provisorischer Deich erstellt, der sog. „Celler Dike“, siehe



Abbildung 125: Tarlandi – oben: Celler Dike. Im linken Bild recht vorne der Dorfälteste von Tarlandi – unten: Blick auf das Swat-Vorland mit Feldern; im Hintergrund fließt der Swat

In der Dorfmitte von Tarlandi steht Wasserrucksack Nr. 83 (dritte Generation, siehe Abbildung 95), der seit Ende 2010 von 70 Familien genutzt wird. Die Beschickung erfolgt aus einem ca. 10 m tiefen Brunnen, der mit einem Handrad bedient wird, siehe Abbildung 126.



Abbildung 126: Tarlandi – oben: Wasserrucksack Nr. 83 mit Handpumpe (links); Probenahme und Feldmessung (rechts) – unten: dörfliches Anwesen (links); Zaungäste bei der Vor-Ort-Messung (rechts)

5.4.2.7 Ort 6 – Azizabad

Es handelt sich um ein Privathaus mit überwiegender Wochenendnutzung, bei dem zwei Wasserrucksäcke, Nr. 320 und Nr. 453 (beide vierte Generation, siehe Abbildung 95) vorhanden sind. Die Beschickung erfolgt aus einem Brunnen von etwa 22 m Tiefe, von dem aus das Wasser in einen Speicher auf dem Hausdach (eingeschossig) geführt wird.



Abbildung 127: Azizabad – Wasserrucksäcke 453 (hinten) und 320 (vorne)

5.4.3 Messergebnisse

Abbildung 128 vermittelt einen Eindruck von der am Abend und in der Nacht nach der Beprobung im Hotel durchgeführten Analytik, Tabelle 25 fasst die Ergebnisse der durchgeführten Messungen und Analysen zusammen.



Abbildung 128: Analytik im Hotelzimmer

Tabelle 25: Ergebnisse der Beprobungen in Pakistan

Probenahme		Ort		Probenahmestelle		Temp.	Leitfähigkeit	pH-Wert	Trübung	gel. Fe	Arsen	NO ₃ -N	E.Coli	ges. Coliforme	i.E.	Durchfluss
Datum	Uhrzeit	Name	Nr.	Bezeichnung	lfd. Nr.	[°C]	[µS/cm]		[NTU]	[mg/l]	[µg/l]	[mg/l]		[cfu/100ml]		l/h
09.04.2013	13:15	Tarnab (Nord)	1	Rohwasser Paul 319	1	22,7	610	6,66	20,77	<0,1	0	0	0	490	311	n.a.
09.04.2013	13:15	Tarnab (Nord)	1	Permeat Paul 319	2	22,4	613	6,41	20,56	n.a.	n.a.	n.a.	10	1.800	2.836	202
09.04.2013	13:40	Tarnab (Süd)	2	Rohwasser Paul 356	3	22,1	537	7,1	4,31	<0,1	0	0	2	2.500	28	n.a.
09.04.2013	13:40	Tarnab (Süd)	2	Permeat Paul 356	4	24,5	533	6,64	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	0	547	0	154
09.04.2013	15:00	Dildar Ghari	3	Paul 88	5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
09.04.2013	16:00	Sanger	4	Edelstahl	6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	124
09.04.2013	17:00	Tarlandi	5	Rohwasser Paul 83	7	21,9	834	6,65	20,28	<0,1	0	0	0	310	395	n.a.
09.04.2013	17:00	Tarlandi	5	Permeat Paul 83	8	23,9	849	6,9	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	0	12	0	540
09.04.2013	18:40	Azizabad	6	Azizabad Brunnen	9	22,6	907	7,86	0,55	<0,1	0	5,6	5	421	29	n.a.
09.04.2013	18:40	Azizabad	6	Azizabad Dach	10	22,6	917	7,44	0,46	n.a.	n.a.	2,6	2	3.005	1.005	n.a.
09.04.2013	18:40	Azizabad	6	Permeat Paul 453	11	25,0	905	7,69	0,18	n.a.	n.a.	n.a.	4	636	391	135
09.04.2013	18:40	Azizabad	6	Permeat Paul 320	12	23,2	884	8	0,70	n.a.	n.a.	n.a.	0	827	18.200	15

Erläuterungen:		Farbe	Bemerkung:
lfd. Nr.			
1	leicht gelb /minimale Trübung		Probe aus Brunnenwasser direkt
2	leicht gelb /minimale Trübung		PAUL war bereits befüllt, unbekannt mit weichem Wasser
3	leicht gelb		
4	klar		
5	n.a.		kein Durchfluss / zweiter PAUL (177, hellblau): keine Probe, läuft auch nicht mehr (nur kurz etwas Ausfluss nach Befüllung). Anweisung: mit Essig in nicht zu heißem Wasser stehen lassen
6	n.a.		Gerät nur noch selten in Benutzung, da Neuer Brunnen
7	klar		
8	klar		
9	klar		
10	klar		Brunnenwasser nach Aufenthalt im Speicher auf dem Dach
11	n.a.		"fest" installiert (mit Dach)
12	klar		nicht regelmäßig benutzt; bereits mit Wasser gefüllt
			n.a. = nicht analysiert

Abbildung 129 zeigt die Ergebnisse der Trübungsmessungen in Pakistan.

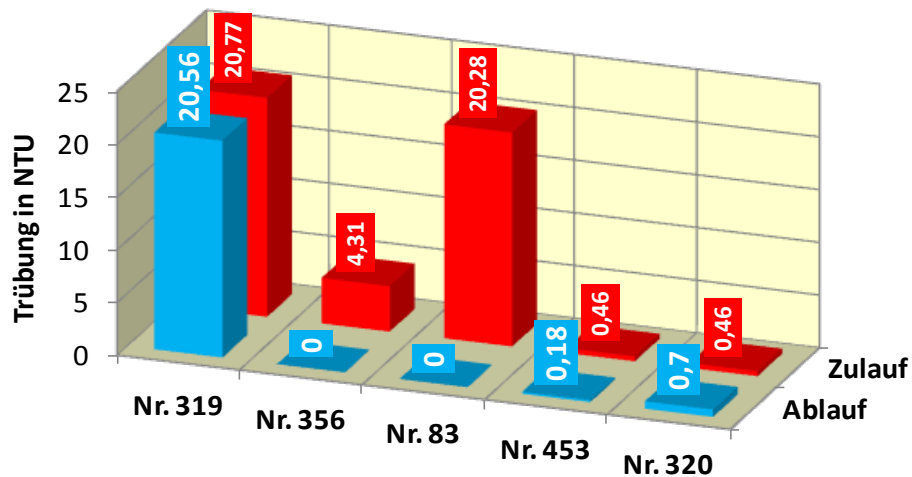


Abbildung 129: Ergebnisse der Trübungsmessungen – Pakistan

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen sind in Abbildung 130 wiedergegeben.

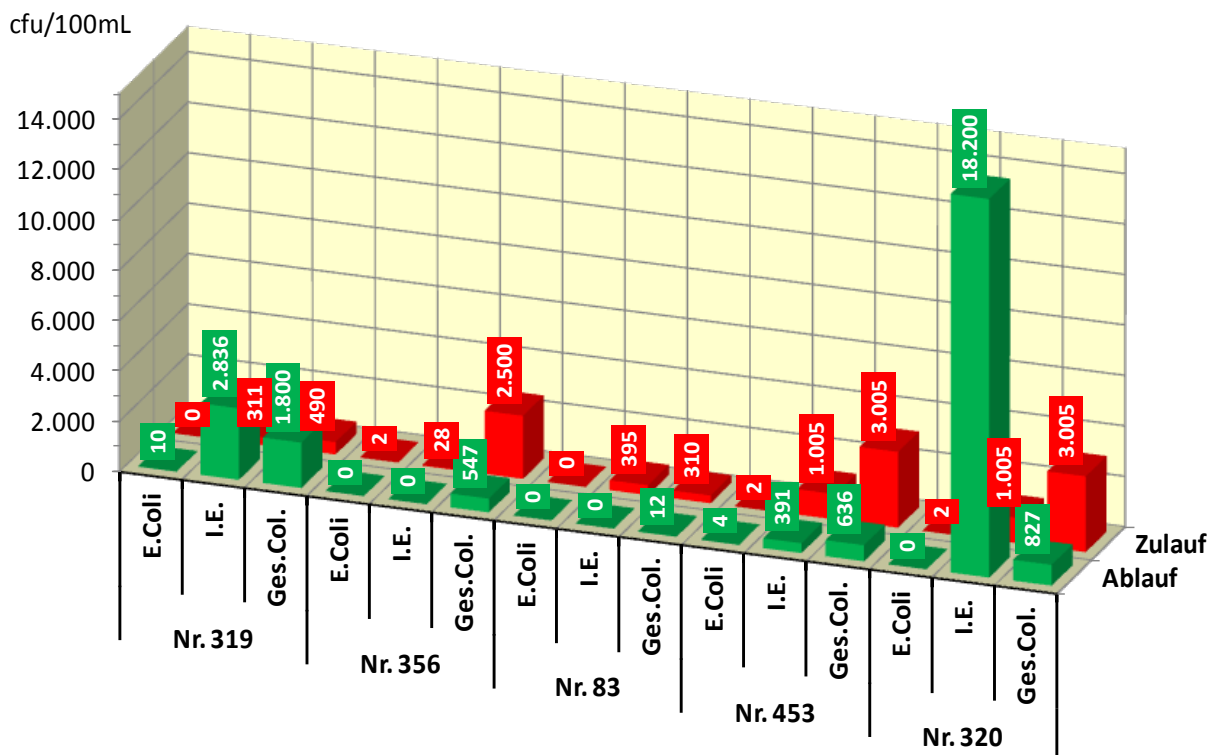


Abbildung 130: Ergebnisse der mikrobiologischen Analysen – Pakistan

Eine Darstellung der LRV bezüglich E.Coli, I.E. und Ges.Col. ist insoweit wenig sinnvoll, als teilweise negative Rückhaltung beobachtet wurde und bis auf wenige Ausnahmen die Zulaufbelastung nicht ausreichend hoch war, um zu sinnvollen Aussagen zu kommen.

Nachfolgend sind in Tabelle 26 die gemessenen Durchflüsse aufgelistet.

Tabelle 26: *Hydraulische Ergebnisse – Pakistan*

Wasserrucksack Nr.	hydraulische Leistungsfähigkeit	
	L/h	L/d
Nr. 319	202	4.848
Nr. 356	154	3.696
Nr. 83	540	12.960
Nr. 453	135	3.240
Nr. 320	15	360

5.4.4 Bewertung der Messergebnisse

Bei den in Pakistan untersuchten Wasserrucksäcken handelt es sich um die ältesten überhaupt im Betrieb befindlichen Wasserrucksäcke. Nr. 83 wurde im Januar 2011, Nr. 319, 320 und 356 wurden im Februar 2011 und Nr. 453 im September 2011 ausgeliefert, so dass eine Betriebszeit von etwas über 2 Jahren bzw. etwa 1½ Jahren geschätzt werden kann.

Zur Beprobung und zu den Vor-Ort-Messungen ist anzumerken, dass bei der gegebenen Sicherheitslage – kurz von den Wahlen in einem politisch recht instabilen Gebiet – an den Einsatzorten selbst nur unter Polizeischutz gearbeitet werden konnte. Daher war die Aufenthaltszeit an den einzelnen Orten sehr begrenzt.

Bei **Wasserrucksack Nr. 319** stellte sich die Situation beim Eintreffen so dar, dass er bereits befüllt war, wobei unklar war, mit welchem Wasser und wie lange er befüllt gestanden hatte. Die Zulaufprobe wurde direkt aus dem Brunnen entnommen, mit dem der Wasserrucksack nach Angaben der lokalen Personen beschickt wird. Es zeigte sich bei allen drei Hygieneparametern eine erhöhte Koloniezahl im filtrierten Wasser. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass der Wasserrucksack bereits länger gefüllt gestanden hat. Zudem wurde die Probe aus Zeitgründen (s.o. Sicherheitslage) kurz nach dem Öffnen des Hahns genommen.

Der Umstand, dass die Trübung im Zu- wie im Ablauf praktisch gleich war, lässt sich in Verbindung mit den Ergebnissen bei den hygienischen Parametern so deuten, dass hier die Integrität der Membran nicht mehr gewährleistet ist. Die hydraulische Leistungsfähigkeit war mit fast 5 m³/d deutlich erhöht gegenüber der Nennleistung.

Wasserrucksack Nr. 356 zeigte bei insgesamt sehr geringen Zulaufkonzentrationen der hygienischen Parameter im Filtrat weder E.coli noch I.E., so dass auch die gefundene Koloniezahl bei den Ges.Col. nicht sehr beunruhigend erscheint. Das Wäh-

rend der Zulauf eine leicht gelbe Färbung und eine Trübung von 4,3 NTU aufwies, war der Ablauf klar mit 0 NTU. Die hydraulische Leistungsfähigkeit mit fast 4 m³/d war ebenfalls deutlich erhöht gegenüber der Nennleistung.

Nachdem an **Wasserrucksack Nr. 83** vor Ort die hydraulische Leistungsfähigkeit mit über 12 m³/d, also dem Zehnfachen der Nennleistung, gemessen worden war, wurde eigentlich erwartet, dass dieser Wasserrucksack defekt ist und keine Filterwirkung mehr zeigt, zumal er der älteste komplett beprobte Wasserrucksack war. Bereits die Trübungsmessung zeigte jedoch, dass ein Rückgang von über 20 NTU auf 0 NTU gegeben war, also Wirksamkeit offenbar gegeben war. Zwar waren im Zulauf wie im Ablauf keine E.coli zu finden, aber die Rückhalteleistung bei I.E. mit einem LRV von 2,6 ebenso wie diejenige bei Ges.Col mit einem LRV von 1,4 belegen, dass eine Filterwirkung stattgefunden haben muss.

Die **Wasserrucksäcke Nr. 453 und 320** befanden sich an einem privaten Wochenendhaus. Hier wird das Wasser aus einem Brunnen zunächst in einen Hochbehälter auf den Dach des eingeschossigen Hauses gefördert und gelangt von dort vorzugsweise, aber eben infolge der Nutzung des Anwesens mit großen Pausen, in Wasserrucksack Nr. 453, der fest installiert und mit einem „Vordach“ versehen ist, siehe Abbildung 127. Wasserrucksack Nr. 320 wird nicht regelmäßig benutzt, wurde aber zu diesen Untersuchungen herbeigeholt. Er war bereits seit längerem unbenutzt; zudem war er beim Eintreffen bereits gefüllt.

Das Brunnenwasser ist demjenigen im Ablauf des Hochbehälters bezüglich Trübung und Hygieneparametern qualitativ ähnlich mit Ausnahme von I.E. und Ges.Col., die im Wasser aus dem Hochbehälter erhöht waren gegenüber dem Brunnenwasser.

Während Wasserrucksack Nr. 453 bezüglich I.E. und Ges.Col. einen geringen Rückhalt von LRV = 0,4 bzw. LRV = 0,7 zeigte, ergab sich bei Wasserrucksack Nr. 320 zwar ein Rückhalt von LRV = 0,6 bezüglich Ges.Col., aber die Konzentration an I.E. im Filtrat war um 1,3 Log-Stufen höher als im Zulauf. Dies lässt darauf schließen, dass die Lagerung nicht abgedeckt erfolgte und dadurch tierische Keime in den Wasserrucksack gelangt sind; insbesondere dürften, wie auch der sehr geringe Durchfluss zeigt, eine Rückverkeimung stattgefunden haben.

Die hier betrachteten Wasserrucksäcke gehören zu den am längsten im Einsatz befindlichen Einheiten, was aus zweierlei Sicht wichtig ist: zum einen es sich um die technologisch ältesten Geräte, zum anderen habe sie bereits die längste Betriebsdauer aufzuweisen; beides erschwert natürlich die Effizienz ein wenig.

Was die Akzeptanz in der Bevölkerung angeht, stehen mindestens die besuchten Wasserrucksäcke bei der lokalen Bevölkerung (Schulen, Dorfgemeinschaft) nach wie vor hoch im Kurs, einmal abgesehen von dem Edelstahl-Exemplar, welches kaum

mehr benutzt wird, da mittlerweile Trinkwasserleitungen in die Häuser verlegt sind. Aber auch hier wird der Wasserrucksack bei Ausfällen der leitungsgebundenen Versorgung noch verwendet.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die besuchten Wasserrucksäcke unter hygienischen Aspekten nur gering belastet sind. Ihre Anwesenheit ist also nicht mehr so dringend, wie sie zur Zeit der Flutkatastrophe 2010 gewesen ist, da sich die Versorgungssituation gebessert hat. Für den Anwendungsfall „Dauerversorgung“, wie er jetzt nach der Flutkatastrophe einschlägig ist, haben sie nicht mehr die zentrale Bedeutung, die sie in der akuten Katastrophenphase hatten. Heute wären komplexere Modell, z.B. mit nachgeschalteter UV-Bestrahlung, angebracht. Aber auch die vor Ort befindlichen Exemplare können bei Eintritt der nächsten Flut wieder gute Dienste leisten.

5.5 Myanmar

5.5.1 Situation im Untersuchungsgebiet

Myanmar gehört zu den ärmsten Ländern der Erde. Verlässt man die großen Städte, so stellt man fest, dass auf dem Lande sehr einfache Verhältnisse vorherrschen.

Die Stiftung „Stiftunglife“ (www.stiftunglife.de), die im Land durch einheimische Kräfte gut vernetzt ist, hat sich in den vergangenen Jahren durch vielfältiges Engagement sehr für die arme Landbevölkerung eingesetzt. Insbesondere wurden, neben anderen Aktivitäten, in 24 Orten Schulen mitfinanziert. Hervorzuheben ist, dass die Stiftung die Bevölkerung stets unterstützt, d.h. von der Bevölkerung auch einen Eigenbeitrag erwartet. Diese sehr vorteilhafte Strategie führt dazu, dass die Bewohner eine viel stärkere Bindung an und ein viel tieferes Verantwortungsbewusstsein für die in gemeinsamer Anstrengung erstellten Bauwerke und Einrichtungen entwickelt,

Die Stiftung hatte nunmehr den 24 Schulen den Einsatz von je einem Wasserrucksack an jeder Schule bei einer geforderten Eigenleistung von 100 US\$ angeboten. Zunächst hatte sie einen Wasserrucksack, nämlich Nr. , zu Test- und Erprobungszwecken vorab nach Myanmar geschafft. Dieser bereits an verschiedenen Orten zur Vorführung und Einsatzdemonstration durch die Stiftung genutzte Wasserrucksack war der erste in Myanmar befindliche Wasserrucksack. Die 24 Wasserrucksäcke für die Schulen befanden sich zur Zeit des Besuchs in Myanmar noch im Zollbereich in Yangon.

5.5.2 Erläuterungen zum Einsatz, Messergebnis

Im Zuge des Aufenthaltes war es vorrangiges Ziel, die 24 Dorfvorsteher anhand einer Vorführung mit der Arbeitsweise und der Bedienung des Wasserrucksacks vertraut zu machen. Basis hierbei war die der Stiftunglife übergebene Bedienungsanleitung vom 23.01.2013., siehe Abschnitt 7.2

Übliche Wasserquelle sind Tümpel und Teiche, die während der Regenzeit das Niederschlagswasser aufnehmen und aus denen sich die Bevölkerung dann bedient, wie dies in Abbildung 131 dargestellt ist.



Abbildung 131: Myanmar – Wassertümpel zur Versorgung der Bevölkerung

Bei einem Wasser der in Abbildung 131 ersichtlichen Qualität, das extrem stark mit Trübstoffen belastet ist, dürfte es sich aber um landwirtschaftlich genutztes Wasser handeln.

In der Nähe des in Abbildung 131 gezeigten Tümpels befand sich zudem eine Wasserabgabestelle, die mit Pumpe aus dem nächstgelegene Fluss versorgt wird. Hier zahlen die Nutzer für das erhaltene Wasser, welches Flusswasserqualität hat, also deutlich weniger mit Trübstoffen belastet ist. Abbildung 132 zeigt eine solche Wasserabgabestelle, bei der an der hinteren Gebäudeseite die auf Ochsenkarren transportierten Fässer befüllt werden und bei der an den Kleinzapfstellen, die im Bild zu sehen sind, auch kleinere Gefäße gefüllt werden, die dann von den Frauen nach hause getragen werden, siehe Abbildung 133.



Abbildung 132: Myanmar – Abgabestelle für mit Pumpen gefördertem Flusswasser



Abbildung 133: Myanmar – Wassertransport

Wasserbecken zur Trinkwasserversorgung sind üblicherweise – anders als der in Abbildung 131 gezeigte Tümpel für landwirtschaftlich verwendetes Wasser – mit technischen Zu- und Abläufen versehen, siehe Abbildung 134 und Abbildung 135. Wie die Abbildungen zeigen, ist die Wasserqualität besser bzw. die Trübstoffbelastung nicht so hoch wie in Abbildung 131 zu ersehen. Am in Abbildung 135 gezeigten

Wasserbecken und mit dem dort vorzufindenden Wasser wurde die Vorführung abgehalten.



Abbildung 134: Myanmar – Wasserbecken zur Trinkwasserversorgung, leer



Abbildung 135: Myanmar – Wasserbecken zur Trinkwasserversorgung, teilgefüllt; im Hintergrund das Zulaufbauwerk

Dabei wurde den versammelten Dorfältesten die Funktionsweise unter Zuhilfenahme eines Dolmetschers detailliert erläutert und mit dem Wasser aus dem Wasserbecken

vorgeführt, siehe Abbildung 136. Auftretende Fragen wurden beantwortet, Sinn und Funktion des Bodenablasses wurden diskutiert.



Abbildung 136: Myanmar – Vorführung des Wasserrucksacks

Da bei diesem Besuch das mobile Feldlabor nicht mitgeführt worden war, konnte nur die Durchflussmenge bestimmt werden.

Der Wasserrucksack war bereits in der Zeit vor dem Termin am 11.06.2013 einige Male kurz zu Vorführzwecken benutzt worden.

Anlässlich der Vorführung wurde nach ca. 10 Minuten Filtrationsdauer ein Durchfluss von 5 m³/d gemessen.

5.5.3 Bewertung des Messergebnisses

Hier wie auch an vielen anderen Vor-Ort-Standorten zeigte sich, dass der Durchfluss in der Praxis meist höher ist als der im Labor gemessene. Dieser Umstand wird weiter unten im Abschnitt 6.1 diskutiert.

5.6 Nepal

5.6.1 Örtliche Situation

In Nepals Hauptstadt Kathmandu fand man früher an viele Stellen Wasserbrunnen, die der Versorgung der Bevölkerung dienten. Heute ist Kathmandu von zunehmender Wasserknappheit geprägt. Nur noch wenige Brunnen liefern noch Wasser, die meisten sind versiegt, siehe Abbildung 137.



Abbildung 137: Kathmandu – Versiegte Wasserquelle (links), Wasserquelle mit geringer Schüttung (rechts)

Die Wasserversorgung erfolgt in weiten Teilen entweder durch fliegende Händler, die abends oder nachts Wasser aus den umliegenden Bergen herantransportieren und auf der Straße oder in Geschäften verkaufen, siehe Abbildung 138, oder durch Hausbrunnen, siehe Abbildung 139.



Abbildung 138: Kathmandu – Wassertransport



Abbildung 139: Kathmandu – „Achtung – der Nachbar bohrt einen Brunnen“ (links), Brunnen mit Pumpe (rechts)

Da immer mehr Bewohner auf ihren Grundstücken Brunnen bohren, sinkt der Grundwasserspiegel mit dramatischer Geschwindigkeit ab, was immer wieder eine konkurrierende Vertiefung der Brunnen nach sich zieht.

Selbst von gebildeten Einheimischen, so z.B. einer einheimischen GIZ-Mitarbeiterin, die zuvor einige Jahre in Deutschland gearbeitet hatte, wird der Standpunkt vertreten, dass Kathmandu als Stadt nicht zu retten sei.

5.6.2 Erläuterungen zum Einsatz, Messergebnisse

Durch eine Privatinitiative des Arbeitervereins Oberhausen wurden im Jahr 2012 fünf Wasserrucksäcke nach Kathmandu gebracht und dort an verschiedenen Standorten eingesetzt. Diese wurden Mitte 2012 besucht.

Anlässlich dieser Reise konnten keine Messungen selbst durchgeführt werden, es konnte aber auf Ergebnisse von Messungen, die im Auftrag von Nutzern der Wasserrucksäcke durchgeführt worden waren, zurückgegriffen werden.

Diese sind in Abbildung 140 zusammengetragen.

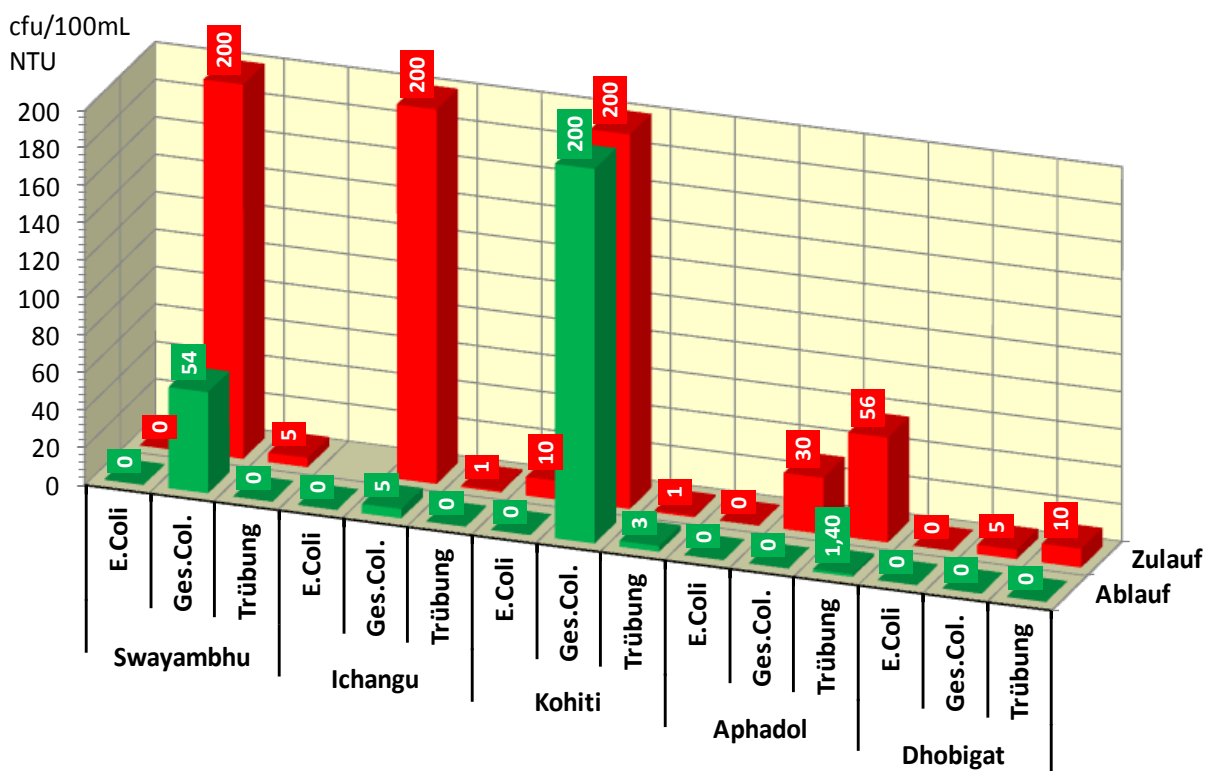


Abbildung 140: Kathmandu – Analyseergebnisse

Insgesamt zeigen sich geringe Belastungen, die durch die eingesetzten Wasserrucksäcke gut reduziert werden konnten.

Anlässlich des Aufenthaltes wurde einigen Bürgern sowie Offiziellen der Wasserrucksack vorgestellt, und es wurden eine Vorführung veranstaltet. Es konnte den Bewohnern eindringlich klargemacht werden, welche Leistungsfähigkeit – allein schon visuell – beim Wasserrucksack zu erwarten ist.



Abbildung 141: Kathmandu – Vorführung des Wasserrucksacks

5.7 Kolumbien

In Kolumbien wurden umfassenden Untersuchungen vorgenommen. Diese sind in einem separaten Bericht zusammengefasst, der als erste Anlage diesem Abschlussbericht beigefügt ist; daher sei hier darauf verwiesen.

6 Zusammenfassende Gegenüberstellung der Ergebnisse der Vor-Ort-Messungen und der Versuche in Kassel

6.1 Rohwasserqualität und hydraulische Leistungsfähigkeit

Eins der augenfälligsten Ergebnisse der Vor-Ort-Messungen ist, dass der festgestellte Durchfluss in allen Fällen mit Ausnahme derjenigen Wasserrucksäcke, die aus erkennbaren Gründen nicht mehr filtrationsfähig waren, weit über dem als üblicher Basiswert kommunizierten Wert von 1.200 Liter pro Tag lag. Als verantwortlich hierfür ist die Qualität des jeweils verwendeten Rohwassers zu sehen.

Wie bereits in Abschnitt 4.1.1 und Abschnitt 4.3.2 erläutert, handelt es sich bei dem in Kassel zur Verfügung stehenden Rohwasser um Wasser aus dem Fluss „Ahna“, der zeitweise planmäßig mit ungereinigtem Abwasser belastet ist.

Gerade Abwasserbeimengungen haben auf die hydraulische Leistungsfähigkeit von Membranen einen sehr negativen Einfluss, wie Abbildung 142 deutlich macht.

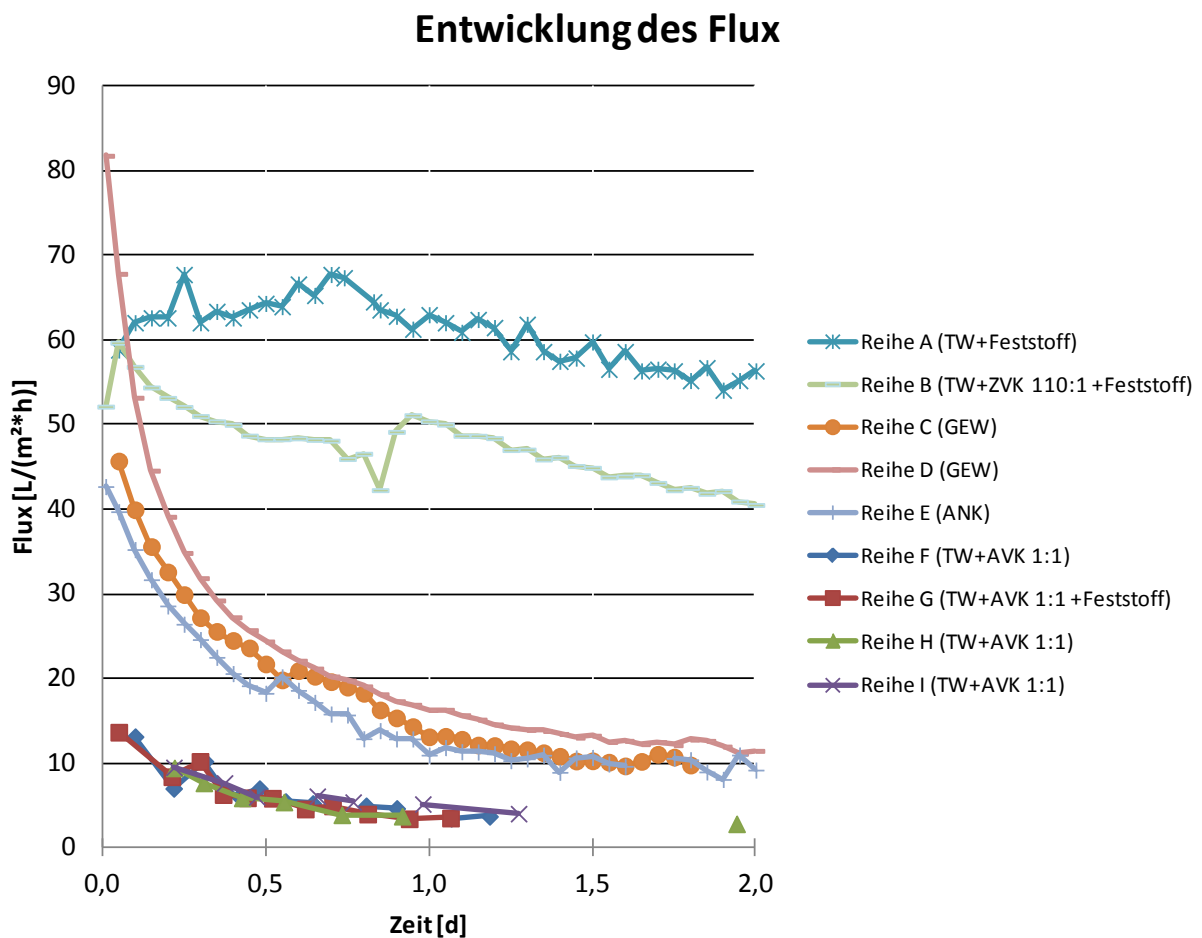


Abbildung 142: Entwicklung des Flux (temperaturkompensiert 20 °C) für alle Versuche (Exler, Frechen, Telgmann 2013)

Hier wurde die Entwicklung des Flux bei unterschiedlichen Wasserarten über 2 Tage gemessen.

Reihe A bestand wasserseitig aus Trinkwasser und zeigte den bei weitem besten Verlauf.

Reihe B besteht aus Trinkwasser mit einer Beimischung von knapp 1% Abwasser, nämlich Zulauf Vorklärung. Diese Beimengung liegt in derselben Größenordnung, wie sie auch das UBA in seinen Untersuchungen als realitätsnah bezeichnet und verwendet hat, siehe Abschnitt 3.3.3 des in der Anlage beigefügten Abschlußberichtes. Dort wurden 1,4% Abwasser zugegeben. Nach hiesiger und in Übereinstimmung mit dem UBA stehender Auffassung kann gesagt werden, dass im Einsatzfall eine Abwasserqualität vorliegen dürfte, die dieser Qualität nahe kommt.

Die Reihen C und D sind Wasser aus dem Fluss „Ahna“, der, soweit nicht anders vermerkt, das standardmäßige Rohwasser für alle Versuche in Kassel lieferte. Reihe F besteht aus dem Ablauf der Nachklärung der Kläranlage Kassel. Alle drei Reihen verlaufen signifikant schlechter als die Reihe B.

Nur die Reihen F, G, H und I weisen einen noch etwas schlechteren Verlauf auf, bedingt durch massive Anteile an biologisch nicht gereinigtem Abwasser, stets in einem Anteil von 50% zugegeben.

Diese Auswertung zeigt, dass das für die Versuche in Kassel zumeist verwendete Rohwasser ein deutlich ungünstigeres Filtrationsverhalten aufweist als ein Wasser, wie es seitens des UBA wie auch aus unserer Sicht für realitätsnah eingeschätzt wird. Es soll hier nicht in strenger Analogie zu den Abbildung 142 abzulesenden Endwerten von einem um den Faktor 4 schlechteren Flux ausgegangen werden. Deutlich wird aber, dass das für die Versuche in Kassel verwendete Wasser in Bezug auf die hydraulische Leistungsfähigkeit als sehr ungünstig zu bezeichnen ist.

Bisher war für den Wasserrucksack eine hydraulische Leistung von 1.200 L/d angegeben worden. Die Langzeit-Untersuchungen verschiedener Betriebsweisen, die in Abschnitt 4.3 ausführlich erläutert wurden, haben gezeigt, dass mit dem in Kassel als Rohwasser verwendeten Wasser aus der Ahna bei ununterbrochenem Filtrationsbetrieb rund um die Uhr eine Tagesleistung von 1.074 L/d erreicht werden kann, wie aus Tabelle 5 für die Betriebsweise 1 zu errechnen ist.

Angesichts der oben angedeuteten Verhältnisse konnte schon vor den ersten praktischen Feldtests gesagt werden, dass die bisherige nominelle hydraulische Leistungsfähigkeit in Höhe von 1.200 L/d in der Praxis vor Ort – außer bei ungewöhnlichen Rohwasserzusammensetzungen – übertroffen werden würde, wenn auch vermutlich nicht um den Faktor 4.

Die **Messungen vor Ort** zur hydraulische Leistungsfähigkeit wurden in einer Betriebsart durchgeführt, die der Betriebsweise 2 der Kasseler Versuche entspricht, also einer Betriebsweise mit Filtrationspausen. Im Mittel ergibt sich dabei, siehe Tabelle 5, für die Zeiten, in denen filtriert wird, eine Vergleichsleistung für die Zeiten der Filtration von 1.953 L/d.

Demgegenüber ergeben sich, wie Abbildung 143 zeigt, bei den Messungen im Rahmen der Feldtests Vergleichsleistungen zwischen 1.872 L/d und 5.400 L/d bei einem Mittelwert über alle Messungen von 3.860 L/d, wobei der Extremwert des Wasserrucksacks Nr. 83 in Pakistan jeweils **nicht** mit einbezogen wurde.

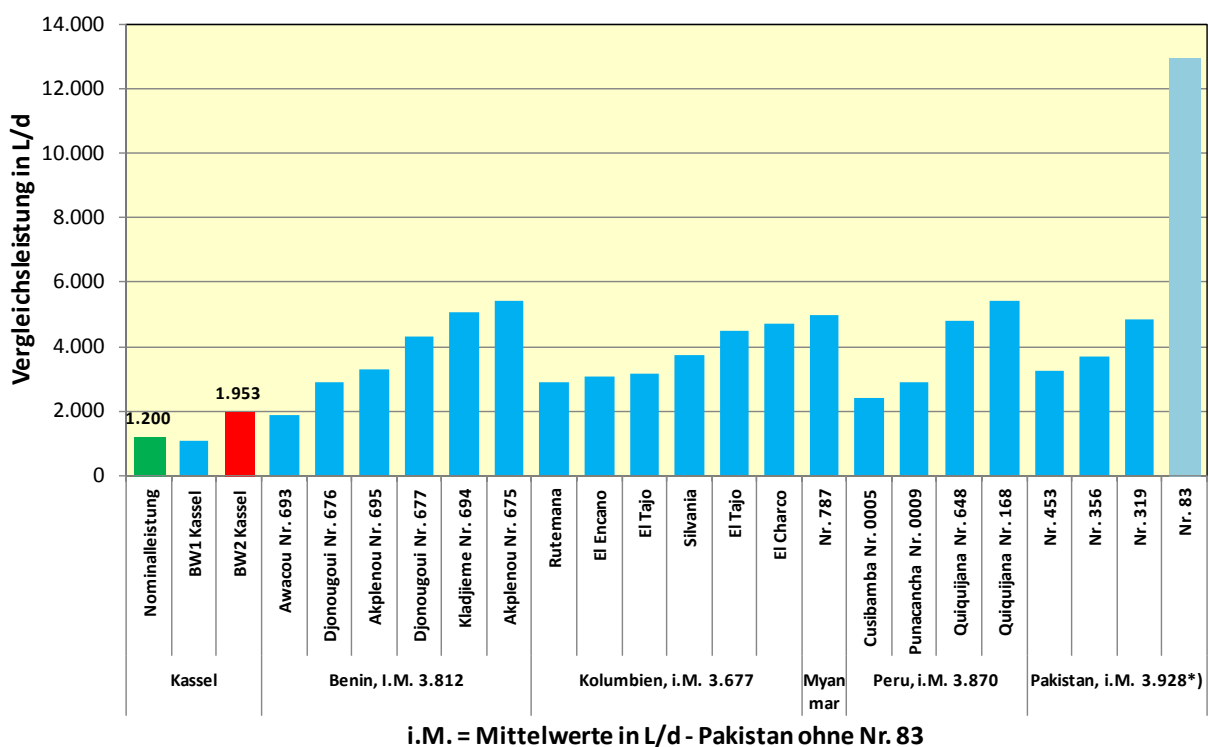


Abbildung 143: Hydraulische Leistungsfähigkeit – Gegenüberstellung der Werte aus der Versuchsanlage in Kassel, betrieben mit Ahna-Wasser, und der Werte der Feldtests

Alle Ergebnisse der Feldtests liegen, wie Abbildung 143 zeigt, über der bisher angegebenen Nennleistung von 1.200 L/d. Benchmark ist allerdings eine Betriebsweise, die der Betriebsweise BW2 der Versuche entspricht; hier liegt nur ein Wert sehr knapp unter dem in Kassel gemessenen Wert von 1.953 L/d.

Der in die Auswertung nicht mit einbezogene, aber in Abbildung 143 ebenfalls mit dargestellte Wert des Wasserrucksacks Nr. 83 in Pakistan ist insoweit sehr bemerkenswert, als dieser Wasserrucksack ausweislich der in Abbildung 129 und Abbildung 130 sowie Tabelle 25 wiedergegebenen Werte – entgegen der ersten Vermu-

tung aufgrund des hohen Durchflusses – nicht defekt war, sondern vorzügliche Qualität in hygienischer Siecht wie auch bei den Trübungs-Messwerten zeigte.

Wasserrucksack Nr. 320 aus Pakistan, der offensichtlich defekt war, siehe Tabelle 26, wurde nicht in die Auswertung mit einbezogen.

6.2 Hygienische Parameter

Auch in Bezug auf die hygienischen Parameter ergab sich ein Unterschied zwischen den Verhältnissen in Kassel und den Feldtests, wie Abbildung 144 zeigt.

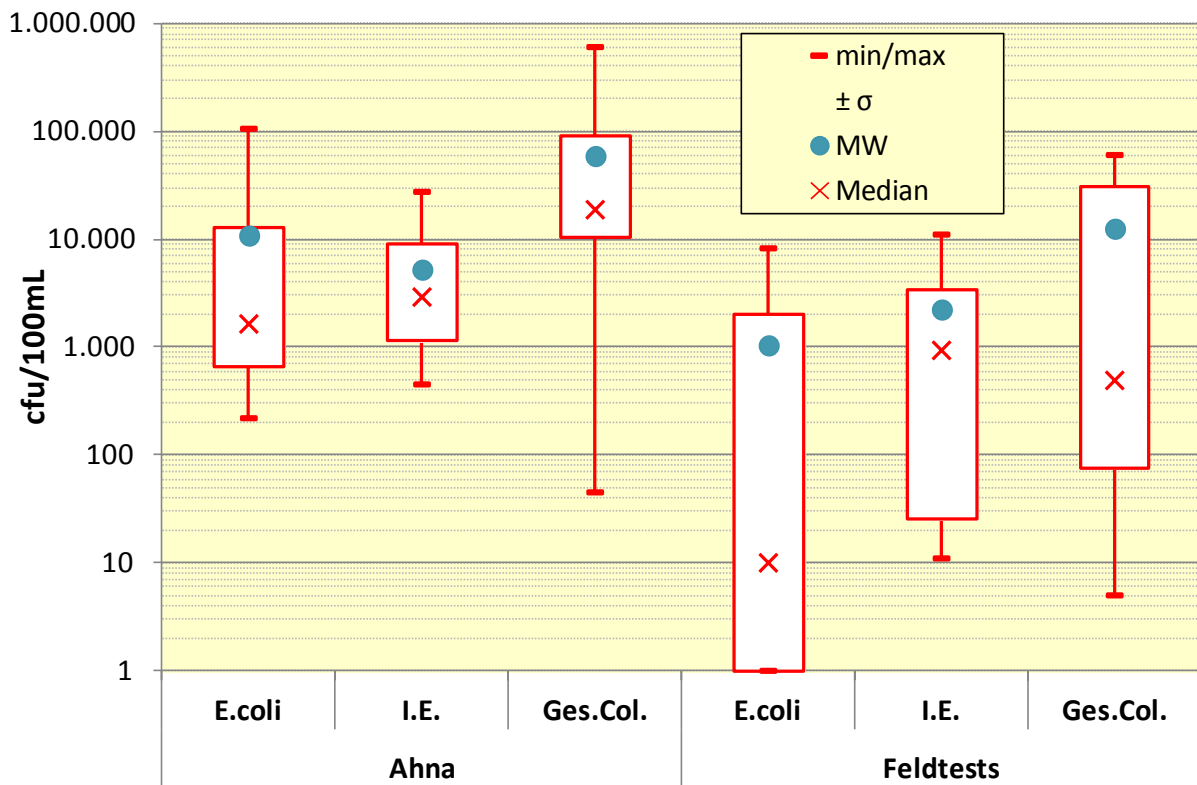


Abbildung 144: Hygieneparameter – Gegenüberstellung der Werte aus der Versuchsanlage in Kassel, betrieben mit Ahna-Wasser, und der Werte der Feldtests

Es zeigt sich, dass bei den Versuchen in Kassel mit belasteterem Wasser gearbeitet wurde als vor Ort zu erwarten ist. Dies gibt eine zusätzliche Sicherheit bei der Übertragung der Versuchsergebnisse aus Kassel.

Hinsichtlich der Rohwasserqualitäten bei den Versuchen des UBA sei auf den bericht in der Anlage verwiesen.

7 Weiterentwicklung Anleitungen

7.1 Piktogramme

Zur Veranschaulichung der Entwicklung der Piktogramme ist in Abbildung 145 noch einmal die erste Version der Piktogramme abgebildet. Die Piktogramme sollen dem Nutzer des Wasserrucksacks eine Bedienung ermöglichen, ohne auf schriftliche Anweisungen zurückgreifen zu müssen. Die Reihenfolge der Piktogramme entspricht der Vorgehensweise "Wasserentnahme Rohwasser", "Befüllung mit Rohwasser", "Entnahme des gefilterten Wassers" und "Trinken des gefilterten Wassers".

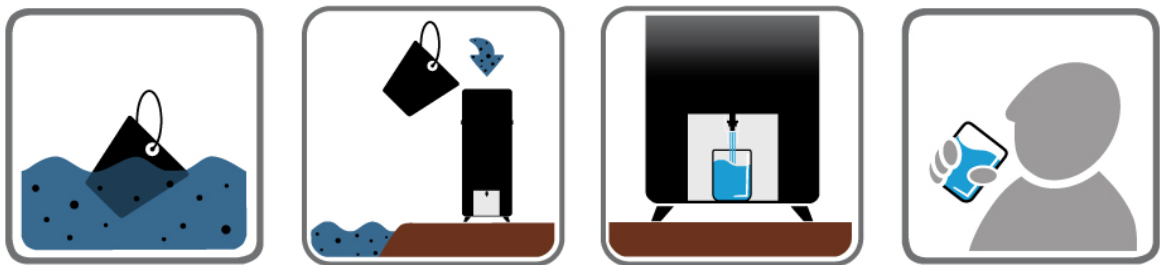


Abbildung 145: Erste Version der Piktogramme

Im Rahmen des Vorgängerprojektes wurden die Piktogramme an die entwickelte Gehäuseform angepasst. Da in Feldtests aufgefallen war, dass es für den Nutzer nicht ersichtlich ist, dass der Wasserrucksack komplett gefüllt sein muss, um die für die Filtration notwendige Druckhöhe bei Inbetriebnahme zu erreichen, wurden die Piktogramme zusätzlich in der Art ergänzt, dass in der Reihenfolge der Piktogramme auch der Wasserstand im Behälter verdeutlicht ist. Während des realen Befüllvorganges schimmert der Wasserspiegel insbesondere bei trübem Wasser durch den Behälter und ist für den Nutzer erkennbar.

Abbildung 146 zeigt die im Vorgängerprojekt unter dem beschriebenen Aspekt weiterentwickelten Piktogramme.

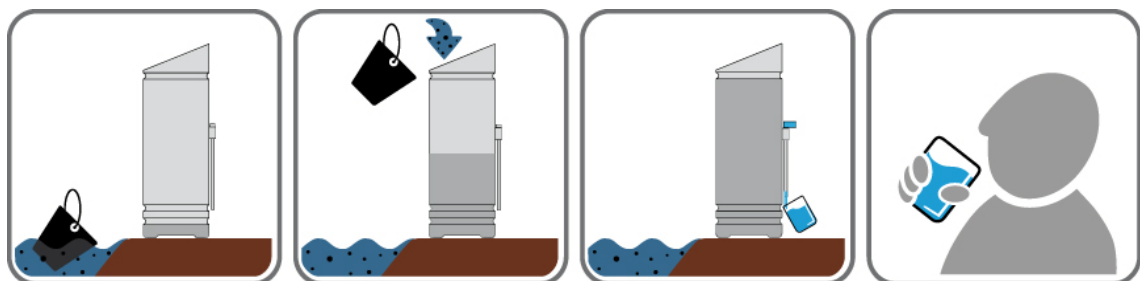


Abbildung 146: Zweite Version der Piktogramme

Ein Ziel dieses Projekts war, die Piktogramme in den Feldversuchen auf Ihre Eignung zu prüfen und eventuell weiterzuentwickeln. In den Feldversuchen hat sich gezeigt,

dass die vier Piktogramme verständlich sind und die Benutzung des Wasserrucksacks ohne schriftliche Anleitung vermitteln.

Dennoch wurde ein zusätzliches Piktogramm entworfen, welches dem Benutzer die Bedienung des Kugelhahns ("offen", "geschlossen") verdeutlichen soll. Abbildung 148 zeigt dieses Piktogramm, welches nicht in die Reihe der vier Hauptpiktogramme integriert ist und oberhalb des Kugelhahns angebracht wird.

Die vier Hauptpiktogramme wurden ausschließlich bezüglich der Konturen des abgebildeten Wasserrucksacks der neuen Version angepasst und bleiben ansonsten unverändert. Abbildung 147 zeigt die finale Version der Piktogramme.

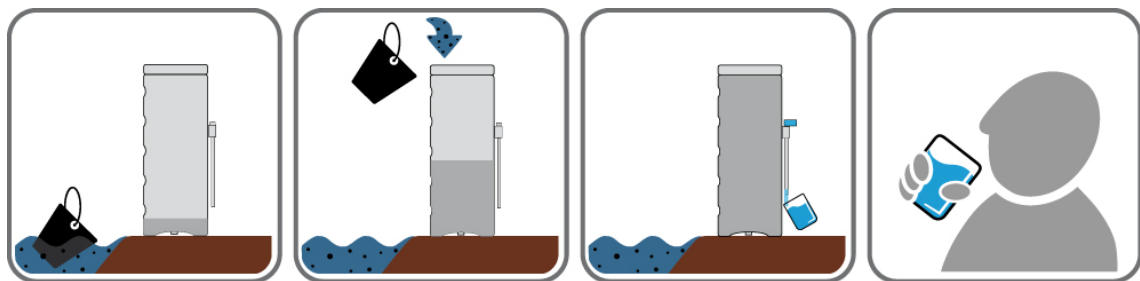


Abbildung 147: Finale Version der Piktogramme inkl. flachem Deckel

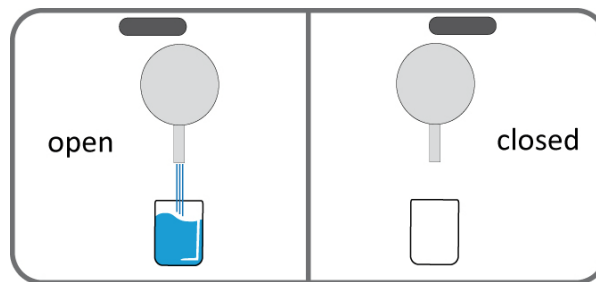


Abbildung 148: Neu entwickeltes Piktogramm zur Bedienung des Kugelhahns

Die Überlegung, auch die Entleerung über den Bodenablass in einem Piktogramm darzustellen, wurde nach Auswertung der Feldtests nicht umgesetzt. Zudem ist eine zu große Anzahl von Piktogrammen nicht zielführend. Der Vollständigkeit halber ist der Entwurf zu diesem Piktogramm in Abbildung 149 dargestellt.



Abbildung 149: Entwurf für ein zusätzliches Piktogramm zur Entleerung über den Bodenablass bei Nichtbetrieb über Nacht

7.2 Kurzanleitung

Neben den Piktogrammen wird jedem Wasserrucksack eine Kurzanleitung in Schriftform in der Größe DIN A4 beigelegt. Zur besseren Haltbarkeit ist die Anleitung laminiert und liegt zur Zeit in den Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch, Vietnamesisch, Singhalesisch, Tamil, Urdu, Indonesisch und Mongolisch vor. Die Anleitung geht über den Inhalt der Piktogramme hinaus und gibt gut strukturierte Anweisungen über die Leistungsfähigkeit, den Betrieb sowie die Pflege bzw. Wartung des Wasserrucksacks. Technische und fachspezifische Kenntnisse sind zum Verständnis der Anleitung nicht notwendig. Die erste Version ist vom 10.11.2010 und ist in Abbildung 150 dargestellt.

Die Anleitung gliedert sich in folgende Abschnitte.

- ➔ Was ich für Sie tun kann
- ➔ Was ich nicht für Sie tun kann
- ➔ Was Sie tun sollten
- ➔ Wie ich verwendet werde
- ➔ Was Sie beachten sollten
- ➔ Wie ich gepflegt werde

Hallo, Ich bin **PAUL**, der **Wasserrucksack** ...!

Was ich für Sie tun kann ... ?

Ich kann **pathogene Bakterien** aus dem Wasser entfernen mit Hilfe einer **Membranfilters** in meinem Inneren. Das gefilterte Wasser wird daher höchstwahrscheinlich keine pathogenen Bakterien enthalten, die **Cholera, Typhus oder andere Krankheiten** verursachen.

Was ich **NICHT** für Sie tun kann ... !

Ich kann keine **toxischen Stoffe, Schwermetalle** oder **andere Schmutzstoffe**, die **gelöst** sind oder **kleiner sind als ca. 0,1 µm (100 nm)** aus dem Wasser entfernen. Ich bin **kein Gerät zur Abwasserreinigung!** **Ich ersetze keine Kläranlage!** **Befüllen Sie mich nicht mit Rohabwasser!** (Wenn Ihre **einzigste Möglichkeit** aber darin besteht, Rohabwasser zu trinken, dann benutzen Sie mich vorher ...)

Was Sie tun sollten ...

Sie sollten das bestmögliche Wasser auswählen, das Sie finden können, wie Flusswasser oder Brunnenwasser, und mich dann mit diesem Wasser auffüllen, damit ich es filtrieren und die pathogenen Bakterien entfernen kann

A) Wie ich verwendet werde

- **Schließen Sie zuerst den Abflusshahn und befüllen Sie mich danach vollständig.**
- Dann können Sie den Abflusshahn öffnen und erhalten gefiltertes Wasser. Wenn ich am Anfang leer war, brauche ich einige Sekunden oder manchmal auch Minuten, weil zuerst die Luft aus dem Membranfilter entweichen muss, bevor Sie gefiltertes Wasser bekommen können.

B) Was Sie beachten sollten

Ich weiß nicht, mit welchem Wasser Sie mich befüllen. Daher kann ich keine Garantie für die Qualität des filtrierten Wassers übernehmen. Das filtrierte Wasser wird aber eine **höhere Qualität** aufweisen als das Wasser, mit dem Sie mich befüllt haben.

C) Wie ich gepflegt werde

1. Es ist hilfreich, mich täglich oder wöchentlich **auszuspülen**. Dafür müssen Sie mich mit etwas Wasser auffüllen, ein paar Mal schütteln, mich **auf den Kopf drehen** und durch das Sieb an der Oberseite entleeren.
2. Wenn Sie mich **für eine längere Zeit nicht benutzen**, füllen Sie mich mit Wasser auf. Wenn ich für einige wenige Tage entleert bin, ist das grundsätzlich kein Problem. Aber wenn ich für längere Zeit nicht benutzt werde und während dieser Zeit gefüllt bin, fällt es mir leichter, dann wieder Wasser zu filtrieren, wenn Sie es benötigen.
3. Der **Wasserdurchsatz** wird nach der ersten Benutzung **innerhalb der nächsten 5 bis 10 Tage nachlassen**. Danach sollte eine **konstanter Wasserdurchsatz über Monate erreicht werden**.
4. Wenn Sie den **Wasserdurchsatz erhöhen** möchten (und mich auch bereits ausgespült haben, siehe unter 1.), können Sie den **Schlauch am Abflusshahn verlängern**. Stellen Sie mich dazu etwas erhöht auf. **Je tiefer** sich das – möglicherweise verlängerte – Schlauchende **gegenüber dem Wasserspiegel in meinem Inneren** befindet, desto **mehr filtrierte Wasser** bekommen Sie!

Abbildung 150: Kurzanleitung, Stand 10.11.2010

Im Laufe des gesamten Projektes wurde die Anleitung ständig weiterentwickelt und aktualisiert. Zur Vereinfachung werden in diesem Bericht nur die Versionen mit den wichtigsten Änderungen aufgeführt. Abbildung 151 zeigt den Stand Januar 2013.

Hallo, ich bin PAUL, der Wasserrucksack ...!

Was ich für Sie tun kann...?

Ich kann **pathogene Bakterien** aus dem Wasser entfernen mit Hilfe eines **Membranfilters** in meinem Inneren. Das gefilterte Wasser wird daher höchstwahrscheinlich keine pathogenen Bakterien enthalten, die **Cholera, Typhus, typhoides Fieber oder andere Krankheiten** verursachen.

Was ich NICHT für Sie tun kann...!

Ich kann **keine toxischen Stoffe, gelösten Schwermetalle** oder **andere Schmutzstoffe**, die **gelöst** sind oder **kleiner sind als ca. 0,1 µm (100 nm)** aus dem Wasser entfernen. Ich bin **kein Gerät zur Abwasserreinigung! Ich ersetze keine Kläranlage! Befüllen Sie mich nicht mit Rohabwasser!** (Wenn aber Ihre **einzigste Möglichkeit** darin besteht, Rohabwasser zu trinken, dann benutzen Sie mich vorher ...)

Was Sie beachten müssen

Ich weiß nicht, mit welchem Wasser Sie mich befüllen. Daher kann ich überhaupt keine Garantie für die Qualität des filtrierte Wassers übernehmen. Das filtrierte Wasser wird aber eine **höhere Qualität** aufweisen als das Wasser, mit dem Sie mich befüllt haben. Sie sollten das bestmögliche Wasser auswählen, das Sie finden können, wie Flusswasser oder Brunnenwasser, und mich dann mit diesem Wasser auffüllen, damit ich es filtrieren und die pathogenen Bakterien entfernen kann

Wenn Sie mich zum ersten Mal verwenden

1. Öffnen Sie zuerst den Ablaufhahn und befüllen Sie mich danach **vollständig**.
2. Zuerst entweicht die Luft aus dem Membranfilter, dann (nach einigen Minuten) fange ich an zu filtrieren – bitte etwas Geduld.
3. Filtrieren Sie **mindestens 2 Stunden ohne Pause und schütten Sie dieses Wasser weg**.
4. Danach können Sie das filtrierte Wasser aus dem Ablaufhahn trinken.

Wie Sie mich verwenden

1. **Am liebsten möchte ich pausenlos (Tag und Nacht) filtrieren.**
Je weniger Filtrationspausen ich machen muss, desto besser ist das für mich.
Bei kontinuierlichem Betrieb sollten Sie mich ein Mal pro Woche über den Bodenablass an meiner Unterseite entleeren und somit die sedimentierten Stoffe entnehmen.
2. Wenn Betriebspausen aber nicht zu vermeiden sind, muss ich nach der täglichen Benutzung **ausgespült** werden. Mich dafür mit **ca. 5 Eimern (50 L) des filtrierte Wassers** befüllen, ein paar Mal schütteln, und **über den Bodenablass entleeren**. Dann Bodenablass schließen, einen Eimer filtrierte Wasser in mich hinein gießen und die Einfüllöffnung, z.B. mit einer Folie, abdecken. Bei längerer Lagerung wöchentlich prüfen, dass noch Wasser in mir drin ist, ggf. nachfüllen. Meine Membran darf **nicht austrocknen!**
Zur Lagerung gilt: feucht, kühl, dunkel, aber **keinesfalls Frost!** Wenn ich nach einer Pause wieder Wasser filtriere, sollten **die ersten ca. 5 Eimer (50 L) des filtrierte Wassers verworfen** werden.
3. Der **Wasserdurchsatz** wird nach der ersten Benutzung **innerhalb der nächsten 5 bis 10 Tage nachlassen**. Danach sollte ein **konstanter Wasserdurchsatz über Monate erreicht werden**.

Abbildung 151: Kurzanleitung, Stand 21.01.2013

Die wichtigsten Neuerungen sind:

- ➔ Öffnen Sie zuerst den Ablaufhahn und befüllen Sie mich danach vollständig.

Eine Befüllung bei geschlossenem Kugelhahn belastet die Schweißnaht der Membran und die Vollenfüllung ist notwendig, um den für die Inbetriebnahme erforderlichen Wasserdruck zu erzeugen.

- ➔ Filtrieren Sie mindestens 2 Stunden ohne Pause und schütten Sie dieses Wasser weg.

Das zur Konservierung der Membran verwendete Glycerin beeinflusst den Geschmack und kann bei langen Stillstandszeiten bei sehr kurzer Filtration nach der ersten Inbetriebnahme als Nährstoff für Bakterien dienen. Daher sollte das Glycerin vor der Nutzung des Permeats als Trinkwasser vollständig ausgespült sein.

- ➔ Am liebsten möchte ich pausenlos (Tag und Nacht) filtrieren. Je weniger Filtrationspausen ich machen muss, desto besser ist das für mich. Bei kontinuierlichem Betrieb sollten Sie mich ein Mal pro Woche über den Bodenablass an meiner Unterseite entleeren und somit die sedimentierten Stoffe entnehmen.

Die Versuche haben gezeigt, dass sich eine kontinuierliche Filtration positiv auf den bakteriellen Rückhalt auswirkt. Damit die hydraulische Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks aufgrund des damit verbundenen Retentataufkommens durch eine Verringerung der filtrationswirksamen Membranfläche nicht leidet, sollte das Retentat regelmäßig entfernt werden.

- ➔ Wenn Betriebspausen aber nicht zu vermeiden sind, muss ich nach der täglichen Benutzung ausgespült werden. Mich dafür mit ca. 5 Eimern (50 L) des filtrierten Wassers befüllen, ein paar Mal schütteln, und über den Bodenablass entleeren.

Da es bei längeren Filtrationspausen zu einem Bakterienwachstum auf der Rohwasserseite und eventuell auch auf der Reinwasserseite kommen kann, sollte bei der Lagerung des Wasserrucksacks das im Gehäuse befindliche Wasser so sauber wie möglich sein. Zudem können längere Stillstandszeiten mit stark verschmutztem Wasser aufgrund von Fäulnisprozessen zur Geruchsbildung führen.

- ➔ Meine Membran darf nicht austrocknen. Zur Lagerung gilt: feucht, kühl, dunkel, aber keinesfalls Frost!

Trocknet die Membran aus, so kann dies zu einem irreversiblen Verlust der Durchlässigkeit führen. Der Wasserrucksack wäre somit nicht mehr verwendbar. Kommt es bei der Lagerung zur Eisbildung innerhalb des Wasserrucksacks, so kann die Volumenänderung des Wassers die Membran dauerhaft beschädigen.

- ➔ Wenn ich nach einer Pause wieder Wasser filtriere, sollten die ersten ca. 5 Eimer (50 L) des filtrierten Wassers verworfen werden.

Wie bereits erwähnt, kann es bei längerem Stillstand unter Umständen zu einem Bakterienwachstum auf der Reinwasserseite und zu Geruchs- bzw. Geschmacksänderungen kommen. Daher sollten bei Wiederinbetriebnahme ca. die ersten 50 L verworfen werden.

Nach Auswertung all in diesem Projekt durchgeführten Versuche und den Erfahrungen aus den Feldtests wurde die finale Version der Kurzanleitung, die in Abbildung 152 wiedergegeben ist, im Abschnitt „Wie Sie mich verwenden“ ab Punkt 2 noch um einigen Präzisierungen zum Betrieb mit Unterbrechungen ergänzt.

Hallo, ich bin PAUL, der Wasserrucksack ...!

Was ich für Sie tun kann...?

Ich kann **pathogene Bakterien** aus dem Wasser entfernen mit Hilfe eines **Membranfilters** in meinem Inneren. Das gefilterte Wasser wird daher höchstwahrscheinlich keine pathogenen Bakterien enthalten, die **Cholera, Typhus, typhoides Fieber oder andere Krankheiten** verursachen.

Was ich NICHT für Sie tun kann...!

Ich kann **keine toxischen Stoffe, gelösten Schwermetalle** oder **andere Schmutzstoffe**, die **gelöst** sind oder **kleiner sind als ca. 0,1 µm (100 nm)** aus dem Wasser entfernen. Ich bin **kein Gerät zur Abwasserreinigung! Ich ersetze keine Kläranlage! Befüllen Sie mich nicht mit Rohabwasser!** (Wenn aber Ihre **einzigste Möglichkeit** darin besteht, Rohabwasser zu trinken, dann benutzen Sie mich vorher ...)

Was Sie beachten müssen

Ich weiß nicht, mit welchem Wasser Sie mich befüllen. Daher kann ich überhaupt keine Garantie für die Qualität des filtrierte Wassers übernehmen. Das filtrierte Wasser wird aber eine **höhere Qualität** aufweisen als das Wasser, mit dem Sie mich befüllt haben. Sie sollten das bestmögliche Wasser auswählen, das Sie finden können, wie Flusswasser oder Brunnenwasser, und mich dann mit diesem Wasser auffüllen, damit ich es filtrieren und die pathogenen Bakterien entfernen kann ...

Wenn Sie mich zum ersten Mal verwenden

1. Öffnen Sie zuerst den Ablaufhahn und befüllen Sie mich danach **vollständig**.
2. Zuerst entweicht die Luft aus dem Membranfilter, dann (nach einigen Minuten) fange ich an zu filtrieren – bitte etwas Geduld.
3. Filtrieren Sie **mindestens 2 Stunden ohne Pause und schütten Sie dieses Wasser weg**.
4. Danach können Sie das filtrierte Wasser aus dem Ablaufhahn trinken.

Wie Sie mich verwenden

1. **Am liebsten möchte ich pausenlos (Tag und Nacht) filtrieren.**
Je weniger Filtrationspausen ich machen muss, desto besser ist das für mich.
Bei kontinuierlichem Betrieb sollten Sie mich ein Mal pro Woche über den Bodenablass an meiner Unterseite entleeren und somit die sedimentierten Stoffe entnehmen.
2. Wenn **Betriebspausen über Nacht** nicht zu vermeiden sind, muss ich nach der täglichen Benutzung **ausgespült** werden. Mich dafür über den Bodenablass entleeren und bei geöffnetem Bodenablass mit einigen Eimern **Rohwasser** ausspülen. Dann Bodenablass schließen und mich mit **ca. 8 Eimern (80 L) des filtrierte Wassers** (mindestens so viel, dass filtrierte werden kann) befüllen und möglichst viel Wasser filtrieren. Das filtrierte Wasser wieder in mich hinein gießen und die Einfüllöffnung, z.B. mit einer Folie, abdecken, ebenso den **Ablaufschlauch** verschließen. Bei Beginn der Filtration am nächsten Morgen die ersten **ca. 50 Liter wegschütten**.
3. Bei **längerer Außerbetriebnahme** wöchentlich prüfen, dass noch Wasser in mir drin ist, ggf. nachfüllen. Meine Membran darf **nicht austrocknen!** Feucht, kühl und dunkel lagern, aber **keinesfalls Frost!** Wenn ich dann wieder Wasser filtriere, muss ich über den Bodenablass entleert und mit Rohwasser gespült werden. **Die ersten ca. 5 Eimer (50 L) des filtrierte Wassers müssen weggeschüttet werden.**
4. Der **Wasserdurchsatz** wird nach der ersten Benutzung **innerhalb der nächsten 5 bis 10 Tage nachlassen**. Danach sollte ein **konstanter Wasserdurchsatz über Monate erreicht werden**.

Abbildung 152: Kurzanleitung, Stand 31.01.2014

8 Abschließende Risikoabschätzung und Bedarfsanalyse

Zum Zweck der Risikoabschätzung wurden die Arbeiten des Umweltbundesamtes in das Gesamtprojekt integriert. Der abschließende Bericht ist in der Anlage enthalten.

Zur Bedarfsanalyse kann ein einfaches Rechenbeispiel gegeben werden:

In Pakistan waren nach der Flutkatastrophe ca. 14 Mio. Menschen ohne Zugang zu Trinkwasser bzw. trinkbarem Wasser. Geht man gemäß *The Sphere Project* (2011) von einem lebensnotwendigen Bedarf für Essen und Trinken von 2,5 L/E*d bis 3 L/E*d aus, ergibt sich unter Zugrundelegung der bisher für einen Wasserrucksack angegebenen Nennleistung von 1.200 L/d pro Wasserrucksack eine zu versorgende Personenanzahl von ca. 400 bis 500 Personen. Daraus wiederum errechnet sich allein für Pakistan ein Bedarf von rund 32.000 Wasserrucksäcken.

Geht man nun mit zunehmendem zeitlichen Abstand zum eigentlichen Katastrophenereignis von einem steigenden Bedarf pro Person, nämlich dem gesamten Grundbedarf an Wasser von 7,5 L/E*d bis 15 L/E*d (*The Sphere Project*; 2011) aus, ergibt sich bei der angegebenen Nennleistung von 1.200 L/d pro Wasserrucksack eine zu versorgende Personenanzahl von ca. 80 bis 150 Personen. Damit erhöht sich der Bedarf auf rund 130.000 Wasserrucksäcke.

Wie aus Kap. 6.1 hervorgeht, haben die hydraulischen Ergebnisse aus den in diesem Projekt durchgeführten Langzeituntersuchungen und insbesondere aus den Feldtests gezeigt, dass offenbar eine deutlich höhere hydraulische Leistungsfähigkeit als die bisher zugrundegelegte Nennleistung von 1.200 L/d zu erwarten ist. Legt man statt dessen einen Wert von 2.000 l/d, der als Minimalwert in den Feldtests nicht unterschritten wurde, zu Grunde, reduzieren sich die ermittelten Bedarfszahlen für das Beispiel Pakistan auf 20.000 Wasserrucksäcke für den lebensnotwendigen Bedarf und auf 80.000 für den gesamten Grundbedarf.

9 Fazit

9.1 Ergebnisse des Projekts

Zielsetzung dieses Projektes (AZ 23860/04) war es, den Entwicklungsschritt von der Kleinserie eines leistungsfähigen, energieautarken, leicht transportierbaren und einfach zu bedienenden Membranfiltrationsgerätes zur Serienreife zu vollziehen.

Dieses Ziel konnte vollständig erreicht werden.

Die dafür erforderlichen Entwicklungsschritte umfassten in konstruktiver Hinsicht Verbesserungen am Gehäuse (Abflachung des Deckels, Integrierung einer zusätzlichen Versteifungs-Quersicke) sowie die Anpassung der Dämmung auf die inneren Konturen des Gehäuses des Wasserrucksacks. Gleichzeitig wurde durch die Wahl eines neuen Kunststoffes die Ebenheit der Platten des im Inneren befindlichen Membranmoduls erhöht.

Gleichzeitig galt es, die mikrobiologische und hydraulische Leistungsfähigkeit unter zahlreichen betrieblichen Aspekten in Langzeittests unter labortechnischen Bedingungen sowie in Feldtests unter realen Einsatzbedingungen zu untersuchen. Ein zusätzlicher Focus lag hierbei auf der Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks bezüglich der Reduktion von Viren. Dieser Untersuchungsteil wurde vom Umweltbundesamt (UBA), Berlin bearbeitet.

Die wichtigsten Erkenntnisse werden nachfolgend aufgelistet:

- ➔ Es wurde in den Langzeittests gezeigt, dass die Wasserrucksäcke über einen sehr langen Zeitraum störungsfrei betrieben werden können.
- ➔ Ein kontinuierlicher Betrieb (24h / 7d) wirkt sich positiv auf den bakteriellen Rückhalt aus und führte in nahezu allen Proben für E.coli und I.E. zu Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze.
- ➔ Für Viren wurde mit Trinkwasser eine durchschnittliche Reduktion um 4 Log₁₀-Stufen über eine lange Betriebszeit festgestellt (Untersuchungsteil des UBA).
- ➔ Ist ein kontinuierlicher Betrieb nicht möglich, so kann eine Spülung mit Permeat vor der Stillstandzeit über Nacht die Qualität des Permeats bei Wiedereinbetriebnahme verbessern und die Verkeimung der Reinwasserseite verlangsamen.
- ➔ Das als Konservierungsmittel für die Membran verwendete Glycerin hat einen großen Einfluss auf das Bakterienwachstum auf der Roh- und Reinwasserseite und muss vor Verwendung des Permeats als trinkbares Wasser ausgespült werden.

- ➔ Die Rohwasserqualität wurde in den Untersuchungen in einem weiten Spektrum (E.coli: bis zu 470.000 cfu/100 mL, I.E.: bis zu 3.200.000 cfu/100 mL) variiert, zeitweise wurde auch 5 % Abwasser zugegeben. E.coli konnten dabei nicht nachgewiesen werden, I.E. auf geringstem Niveau in zwei Proben.
- ➔ Gebrauchte Wasserrucksäcke, welche für einen längeren Zeitraum außer Betrieb genommen werden, sollten nach Möglichkeit chemisch gereinigt und mit sauberem Wasser gefüllt gelagert werden.
- ➔ Nicht mit Wasser befüllt gelagerte Wasserrucksäcke können austrocknen. Dieses Trockenfallen der Membranmodule macht die Wasserrucksäcke unbrauchbar.
- ➔ Die Wasserrucksäcke können unter bestimmten Randbedingungen (Fällung, Adsorption an Feststoffe) ebenfalls Schwermetalle und andere problematische Stoffe zurückhalten. Aufgrund der möglichen Aufkonzentrierung problematischer Inhaltsstoffe und nicht auszuschließender hoher Bakterienkonzentrationen im Retentat sollte der Wasserrucksack regelmäßig entleert werden.
- ➔ Die Feldtests in den Ländern Pakistan, Peru, Bénin, Myanmar, Kolumbien und Nepal zeigten nach zum Teil mehrjährigem Betrieb eine hohe mikrobiologische Leistungsfähigkeit und an einigen Standorten eine unerwartet hohe hydraulische Leistungsfähigkeit von täglichen Filtrationsmengen bis zu 5.400 L/d. Die bisher angegebene Nominalleistung von 1.200 L/d ist offensichtlich der untere Wert; in der Praxis ist mit u.U. doppelt so hohen Werten zu rechnen.

Aus den Langzeittests ergaben sich ergänzende Betriebshinweise, die in die Kurzanleitung eingearbeitet wurden.

Die vorhandenen Piktogramme blieben unverändert und wurden um die Darstellung der „offen/geschlossen-Stellung“ des Ablaufhahns ergänzt.

9.2 Zukünftig notwendige Arbeiten

- ➔ Weitere Untersuchung der Betriebsweisen (Pausenzeiten) zur Optimierung von Flux **und** Bakterien- und Virenelimination
- ➔ Einfluss verschiedener Schlauch- und Armaturmaterialien auf die Bildung eines Biofilms
- ➔ Konstruktive Ausbildung der Armaturen und Verbindungen zur Verhinderung eines Biofilms
- ➔ Untersuchung der Bedingungen, die die Bildung eines Biofilms begünstigen (Temperatur, trocken oder unter Wasser)

- ➔ Bestandteile und Entfernung des Biofilms
- ➔ Einfluss der Temperatur auf Flux und die Durchlässigkeit der Deckschicht, Einfluss auf die biologische Aktivität
- ➔ Untersuchungen mit Hohlfasermembranmodulen
- ➔ Integration einer UV-Desinfektionseinheit
- ➔ Epidemiologische Studien und Feldtests
- ➔ Soziologische Studien zur Akzeptanz
- ➔ Präzisierung der Startelimination und Einfahrphase
- ➔ Taxonomische Aufklärung der Keime im Ablauf zur Bewertung des Auftretens möglicher Krankheitserreger
- ➔ Ermittlung der Wiederverkeimungsgeschwindigkeit nach Desinfektion
- ➔ Entwicklung von Verfahren zu Reduktion der Verkeimung
- ➔ Einfluss von Extremereignissen auf die Funktionsfähigkeit (Trockenfallen, begünstigende Bedingungen für Schimmelbildung, häufige Desinfektion)
- ➔ Funktionsprüfung nach Rückführung von im praktischen Einsatz befindlichen Wasserrucksäcken

Kassel, den 31.01.2014

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen

Dr.-Ing. W. Schier

Dipl.-Ing. J. Romaker

Chr. Fortenbacher M.Sc.

J.A. Ordonez M.Sc.

Dipl.-Ing. M. Grigo

10 Literatur

- EU-Badegewässerrichtlinie (2006): *Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG*
Amtsblatt I. 64 der Europäischen Union vom 4.3.2006, S. 37-51
- Exler, H.; Telgmann, U.; Frechen, F.-B. (2013): *Einfluss gelöster organischer Verbindungen (EPS) auf die hydraulische Leistungsfähigkeit von Membranen.*
gwf – Wasser, Abwasser, Juni 2013, Heft 6, S. 716-722, ISSN 0016-3651
- FG SWW (2006): *Bau eines einfachen Membranfiltrationsgerätes (Prototyp) zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser für kleine Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie – 1. Projektphase*
Abschlussbericht zum DBU-Vorhaben AZ 23860/01, Kassel, September 2006
- FG SWW (2010): *Bau eines einfachen Membranfiltrationsgerätes (Prototyp) zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser für kleine Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie*
Wasser • Abwasser • Umwelt. Schriftenreihe des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft, Band 25. Hrsg. F.-B. Frechen. Kassel University Press. 2010. ISBN 978-3-89958-159-1
- FG SWW (2011): *Entwicklung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser für kleine Personengruppen in Notsituationen (2. Phase)*
Abschlussbericht zum DBU-Vorhaben AZ 23860/02, Kassel, März 2011
- Marambio-Jones, C. (2010): *A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment*
2010, Springer Science+Business Media B.V.
- Schoenen, D. (2011): *Mikrobiologie des Trinkwassers - Grundlegendes Fachwissen zum Betrieb einer seuchenhygienisch einwandfreien Trinkwasserversorgung*
2011, Oldenbourg Industrie Verlag, München
- The Sphere Project (2011): *Humanitäre Charta und Mindeststandards in der humanitären Hilfe.* 3. Auflage, 2011, ISBN 978-3-88579-473-8
- Utikal, J., Kersten, N. (2006): *Dezentrale Wasseraufbereitung in der humanitären und entwicklungsorientierten Nothilfe*
2006, arche nova, Initiative für Menschen in Not
- WHO (2011): *Guidelines for Drinking-water Quality – 4th ed.*
World Health Organisation, 2011. ISBN 978 92 4 154815 1



Final report: Field testing of PAUL in Colombia

project management:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen

project execution:
Jose Abdón Ordoñez A., M.Sc.

Abbreviations

DESEE:	Department of Sanitary and Environmental Engineering, University of Kassel
lpd:	liter per person day
MDG:	Millennium Development Goals
POE:	Point of Entry Systems
POU:	Point Of Use Systems
SSS:	Small Scale Systems

Content

Purpose of the Project	1
1 INTRODUCTION	2
2 OBJECTIVES AND EXPECTED OUTCOMES	4
3 APPROACH	5
3.1 Selection of communities	5
3.2 Description of selected communities	5
3.3 Community training and empowerment	6
3.4 Technical services and monitoring during the field-test	6
3.5 Follow-up of PAUL	7
3.6 Comparison of PAUL performance with other technologies	8
4 DESCRIPTION OF SELECTED COMMUNITIES	9
4.1 Rutemana, Uribia, La Guajira	10
4.2 Yayata-Las Villas, Silvania, Cundinamarca	13
4.3 Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria, Caldas	15
4.4 Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca	17
4.5 Veredas El Encano and El Charco, Nariño	19
5 RESULTS	21
5.1 Water production	21
5.2 Water quality	22
5.3 Maintenance of PAUL	23
5.4 Empowerment of PAUL	24
5.5 Improvements of PAUL	24
5.6 Comparison of PAUL with other technologies	26
6 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	27
7 REFERENCES	28
APPENDIXES	I

List of figures

Figure 1. Location Department of La Guajira	10
Figure 2. Location Department of Cundinamarca	13
Figure 3. Location Department of Caldas.....	15
Figure 4. Location Department of Cauca	17
Figure 5. Location Department of Nariño	19

List of tables

Table 1. Contacted communities to be part of the project.....	5
Table 2. Minimum of parameters analyzed in raw and filtered water	8
Table 3. Colombian communities using currently PAUL in Colombia	9
Table 4. Mean water production of PAUL in Colombia	21
Table 5. Quality of raw and filtered water of PAUL in Colombia	22

List of photos

Photo 1. Community training and empowerment during workshops of PAUL.....	6
Photo 2. Sampling of water and maintenance exemplification of PAUL	7
Photo 3. Follow-up of PAUL carried out by the community.....	7
Photo 4. Water supply systems of Wayuu rural settlements	11
Photo 5. Delivery of filter PAUL to the Wayuu community Rutemana.....	12
Photo 6. Water transportation from Jagüey Rutemana	12
Photo 7. Delivery of filter PAUL to the municipality of Silvania, Cundinamarca	14
Photo 8. The Water Temple in Yayata-Las Villas, Silvania Cundinamarca.....	14
Photo 9. Nevado del Ruiz, Caldas, Colombia	16
Photo 10. Delivery of filter PAUL in Elementary School Nuestra Señora del Rosario Villamaria, Caldas.....	16
Photo 11. PAUL in vereda El Guayabal, Santander de Quilichao, Cauca	18
Photo 12. Evidence carelessness of PAUL in vereda El Guayabal, Santander de Quilichao, Cauca	18
Photo 13. Delivery of filter PAUL in vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca	19
Photo 14. Delivery of filter PAUL in vereda El Encano and El Charco, Nariño	20

	page
Photo 15. Color of filtered water from PAUL	22
Photo 16. Improvements of PAUL.....	26
Photo 17. Training and empowerment of PAUL in Rute mana and Yayata-Las Villas.....	viii
Photo 18. Training and empowerment of PAUL in Villa Maria and El Tajo	ix
Photo 19. Training and empowerment of PAUL in El Encano and El Charco.....	x
Photo 20. Technical visits and follow-up PAUL.....	xii
Photo 21. Technical visits and follow-up PAUL.....	xiii

List of Appendixes

Appendix I. Summary of the Colombian Ordinance in water quality for human consume	ii
Appendix II. Banner and flyer for the socialization and explanation the use of PAUL.....	iii
Appendix III. Evidence of community training and empowerment.....	vii
Appendix IV. Evidence of technical visits for follow-up and the maintenance of PAUL	xi
Appendix V. Formats Follow-up of PAUL.....	xiv

Purpose of the Project

To test 6 waterbackpacks PAUL (filtration unit based on a Gravity Driven Ultrafiltration Membrane, GDM) with unimproved water-source (e.g. surface water: stream/river, pond or open dug well) for a minimum of 6 months in realistic usage scenarios in different regions in Colombia. Each PAUL units will supply either rural housing clusters or small institutional settings (e.g. a rural school) with filtrated water for human consume

1 INTRODUCTION

Safe drinking water are fundamental to health, survival, growth and development. However, these basic necessities are still a luxury for many of the world's poor people (WHO & Unicef, 2006). Evidently, most problems occur in developing countries (DC) as well as in the transition and rapidly industrializing countries (TC), where a large proportion of the population does not have access to adequate or microbiologically safe sources of water for drinking and other essential purposes, especially in rural areas (Peter-Varbanets, Zurbrügg, et al., 2009). Even water availability and quality vary hugely depending on the region, geographical situation, climatic conditions, number of population, time of year and existence of a an adequate drinking water treatment plant.

Particularly, in some remote rural settlement with relatively low population, the people suffer not only from inadequate sources of water but also from undersupply. In some other places, water sources may be sufficient but the construction of a large scale and centralized drinking water treatment is in most of the cases an unfeasible, expensive and time-consuming solution. Thus, people is forced to use untreated natural water sources (rivers, lakes, groundwater or rain), which may contain chemical or microbial pollutants or are mostly contaminated by human and animal excreta; thus, people is exposed to water-related diseases.

Decentralized drinking-water systems are a more appropriate solution for remote rural settlements. They comprise point-of-use (POU), point-of-entry (POE) and Small-Scale systems (SSS). POU and POE are mainly refered to "household systems", whereas SSS usually refer to systems of larger scale that treat the water consumed by several families or a small village. POU treat in batches only the part of water used for drinking and cooking (2,5-9,0 l per person and day-lpd). POE treat all the water supplied to a household and are typically installed in the main supply line and after the water-meter (in the order of 100–150 l per person per day). The capacity of SSS usually varies between 1000 and 10 000 l/day (Peter-Varbanets, Zurbrügg, et al., 2009; WHO, 2011).

Besides its efficiency, a decentralized system should meet the following aspects for a successful applications in remote rural settlements: low costs, ease of use, sustainability, low maintenance and independence of utilities (energy sources). The "WaterBackpack PAUL" is a gravity-driven ultrafiltration unit for potable water production that meets all those specifications. PAUL was developed by the Department of Sanitary and Environmental Engineering (DESEE) of the University of Kassel. PAUL was firstly intended to be used as a fast response potable water treatment for small groups of people during disasters or emergencies in different countries worldwide. However, around 1 000 PAUL units have been delivered around the world and they are still in operation, revealing that this technology may also be a sustainable solution for water supply in rural areas. PAUL performance is based on an Ultra-Low Pressure Ultrafiltration Module (ULP-UF FM10) which is manufactured by the German company Martin Systems AG. According to the SPHERE Handbook (2011), with an average production of 1 200 L/d and regarding a minimum water intake of 3,0 lpd (liter per person day), the WaterBackpack PAUL can provide the minimum demand of 400 people - without using energy, chemicals and skilled personnel for its operation.

As a field of application of PAUL within the project “AZ 23860/04: Entwicklung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie“, the company Martin Systems AG in collaboration with the University of Kassel, sent six WaterBackpack PAUL to Colombia. This country is still considered within the list of emerging and developing economies according to the International Monetary Fund’s World Economic Outlook Report 2011 (IMF, 2011).

According to The United Nations “WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply and Sanitation: Millennium Development Goals (MDG) report 2010”, eight out of 10 people in the world who are still without access to an improved drinking water sources, live in rural areas (UN, 2010). In this context, Colombia, a country with around 47 million of inhabitants, has improved significantly but not optimally. The supply of water enhanced from 88% to 92% nationwide and from 68% to 73% in rural areas between 1990 and 2008 (WHO & Unicef, 2010). However, the coverage of safe drinking water lag behind, especially in rural settlements where African descent communities (about 5,0 million) and Indigenous reserves (about 1,6 million) live (CELADE, 2011).

An example of a population group that suffers not only from water scarcity and undersupply of drinking water is the Wayúu community, an Amerindian ethnic group that lives in the La Guajira Peninsula in northern Colombia and northwest Venezuela. Their raw water availability is about 40 lpd. Some families have to travel 5 hours from the place they live to find some water source, which most of cases is an unimproved untreated water sources (Serna, Benavides, Gutiérrez, & Sánchez, 2009). Another cases are found in different places in Colombia, where water might be available but with an inappropriate quality for human consume. An example for this delivers the Department of Nariño with a total population of 1 660 087. This region has a relatively high total water supply coverage of 95% for the urban and 63% for rural population. However, only the 57% and 3% of those are safe drinking water (IDSN-Nariño, 2011). As a consequence, people particularly in rural areas, are exposed to suffer diseases such as diarrhea and cholera, which are also one of the major cause of illness and mortality in children in the World Colombia (Unicef, WHO, et al., 2012; WHS, 2009). By 2000, 13.7% of deaths of children under 1 year and the 19.6% of deaths of children between 1 and 5 years were caused by intestinal infectious diseases in La Guajira (Procuraduria General de la Nación & Unicef, 2005; WHO & Unicef, 2000).

The six PAUL were installed in rural areas of 5 departments of Colombia with different environmental, social and cultural characteristics: La Guajira, Cundinamarca, Caldas, Cauca and Nariño, the last one with two PAUL. On each rural area, local partner organizations (such as NGOs, universities, associations of communal water systems, state environmental offices, etc.) were contacted in order to ask for support by following-up each PAUL during the execution of the project. In this project, PAUL has been used as sole water treatment. However, in additional research projects (next phases), pre-and post-treatments for PAUL will be included within a decentralized system for rural settlements (POU, SSS).

This Final Report: “Field testing of PAUL in Colombia”, presents the results of usage of PAUL as an only water treatment in the six rural areas of Colombia mentioned above. Additionally, this report includes some recommendations about the design of PAUL and possible changes that may improve its performance, prolong its services life and reduce its maintenance costs.

2 OBJECTIVES AND EXPECTED OUTCOMES

The expected outcomes of this project are:

- To collect data on the operational parameters under realistic usage like typical usage patterns (time of operation), amount of water filtered, hourly flux (at several filter ages), membrane cleaning after peaks of turbidity
- To collect data on the water quality used for drinking purposes by the rural housing cluster before and after the installation of PAUL. The selection of parameters to be tested were in accordance to the Colombian Ordinance “Resolution No. 2115 of 2007: Control and monitoring system of the water quality for human consumption” (see summary in Appendix I)
- To record patterns of actual usage in regards to number of users, composition of users, types of raw waters, and development of usage over time
- To get lessons learned based on user feedback
- To deliver and study of the efficiency and performance concerning all parameters tested, especially microbiological pathogens retention and fulfillment of the physicochemical characteristics of produced drinking water according to the Colombian Ordinance
- If possible, to compare this system with other alternative water-filtration systems already used in the region

3 APPROACH

3.1 Selection of communities

The communities were selected taking into account the following aspects:

- Lack of a safe drinking water supply system into the community
- Potential risk of a natural disaster, thus probability of an emergency in water supply in the community
- Previous contact with some local partner organizations (in association with universities, government organizations, ONG's or directly with the communities)
- Willingness of the communities and local partner organizations to cooperate and actively participate during the execution of the project
- Accessibility distance & road-type to nearest city, security situation, local infrastructure, etc.

With the described above, one can expect a trustworthy and careful use of PAUL during the project. In this way, it was considered that the local partner organizations and the beneficiaries could carry out a follow-up of the operation of PAUL and its maintenance.

Although 6 settlements were selected for the implementation of PAUL, 2 additional communities were also taken into account in case one of the already selected does not want participate or does not put PAUL to good use (see Table 1).

Table 1. Contacted communities to be part of the project

Settlement, Municipality, Department	Population's characteristics
➔ Rutemana, Uribia, La Guajira	Indigenous
➔ Yayata-Las Villas, Silvania, Cundinamarca	Farmers
➔ Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria, Caldas	Children, 5-12 years old
➔ Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca	Afro-Americans
➔ Elementary School El Puerto, Vereda El Encano, Pasto, Nariño	Indigenous and Farmers
➔ Nursery and Elementary School, Vereda El Guayabal, Santander de Quilichao, Cauca	Children, 1-10 years old
➔ Elementary School El Hormiguero, El Charco, Nariño	Afro-Americans
➔ Colombianitos-NGO, Puerto Tejada, Cauca	Afro-Americans children

3.2 Description of selected communities

For the description of each selected rural settlement, information about the water supply situation in the corresponding region was gathered by the project executor. The information includes a brief description of the location, water supply situation, raw water quality, expected number of users of PAUL and usage habits, description of water treatments before implementation of PAUL, hygienic

conditions in households, etc. Additionally, interviews were carried out in some communities in order to recognize water uses and main problems in water supply.

3.3 Community training and empowerment

Workshops about the usage, maintenance and care of PAUL were carried out by an expert in water treatment and sanitation of the university of Kassel on each rural settlement. For this reason, some banners and handouts about PAUL were elaborated (see Appendix II). The banners include simple information about membrane filtration and a brief description of PAUL operation and maintenance. Thereby, people of the community involved in the project could know and understand how PAUL works and the potential advantages of using PAUL. Some evidence of the workshops is shown in Photo 1. Additional Photos of the community training and empowerment are shown in Appendix III.



Photo 1. Community training and empowerment during workshops of PAUL

(a) Elementary School El Puerto, Vereda El Encano, Pasto, Nariño (b) Colombianitos-NGO, Puerto Tejada, Cauca

** This child and young care institution could not be included in the project due to lack of a PAUL unit*

Additionally, either each community or the local partner organization selected a person from the same beneficiary community as “responsible” for the follow-up, maintenance and care of PAUL.

3.4 Technical services and monitoring during the field-test

A technical support and monitoring was performed during the installation and first day start-up of PAUL. Later on, the technical support was achieved via phone by contacting the person responsible of PAUL. After approximately half-year of running PAUL, a technical visit was intended on each rural settlement. Thereby, empowerment of people to PAUL and their level of satisfaction could be evaluated. Moreover, measuring of filtration capacity (outflow), sampling of raw and filtered water and an exemplification of maintenance of PAUL was carried out together with each rural community. The samples were either analyzed on field by using labor devices from the University of Kassel or by sending them to private certified laboratories in the region or laboratories

from the local partners. An evidence of the technical visit (sampling of water and maintenance exemplification of PAUL) are shown in Photo 2. Additional photos of technical visit to other communities and the maintenance fulfillment are shown in Appendix IV.



Photo 2. Sampling of water and maintenance exemplification of PAUL

Rural settlements of (a) Yayata-La Villas, Silvania, Cundinamarca; (b) vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca

3.5 Follow-up of PAUL

3.5.1 Filtration capacity

Given a non-interrupted operation of PAUL, it was planned to register, if possible, its filtration capacity at least once a week by using the volumetric method. Thereby, the responsible of PAUL had to measure the time needed to fill a container of known volume with the outflow of PAUL, following the instructions given in the Appendix V. As an example, Photo 3 shows the volumetric method performed by the responsible of PAUL in vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca.



Photo 3. Follow-up of PAUL carried out by the community

Responsible of PAUL in vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca

3.5.2 Water quality of raw and filtrated water

Sampling of raw and filtered water was carried out during the first day start-up of PAUL and after at least half-year of running PAUL. In some specific rural settlements, sampling was performed more often thanks to the support of the local partner organizations and their laboratories. The analyzed parameters depended on the raw water used to feed PAUL in each rural settlement. However, a minimum of parameters were analyzed as showed in Table 2. Additional parameters were analyzed in some rural settlements according to the recommendation of WHO Guidelines for drinking water quality (WHO, 2011) and following the Colombian Ordinance “Resolution No. 2115 of 2007: Control and monitoring system of the water quality for human consumption” (see a summary in Appendix I). Analysis were performed either by using laboratory equipment from the University of Kassel or by outsourcing the activity with some certified private local laboratories. In both cases, an expert in water treatment and sanitation of the university of Kassel was present in the sampling and field-test analysis performed on each rural settlement.

Table 2. Minimum of parameters analyzed in raw and filtered water

Parameters	Expressed as (units)
Temperature	Degree Celsius (°C)
Turbidity	Nephelometric Turbidity Units (NTU)
Color	Platinum- Cobalt Scale (PCU)
Conductivity	Microsiemens per cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
pH	(units)
Nitrate	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)
Alkalinity	CaCO_3 (mg/L)
Total Hardness	CaCO_3 (mg/L)
Total Iron	Fe (mg/L)
Sulphate	SO_4^{2-} (mg/L)
Total coliforms	colony-forming unit per 100 mL (CFU/100mL)
Escherichia coli	colony-forming unit per 100 mL (CFU/100mL)

3.5.3 Feedback use of PAUL

An evaluation of the PAUL’s performance was performed together with each community. Where possible, surveys or telephone interviews were performed with some members of the community. Thus, a feedback from the involved communities was taken into account for the improvement of a current model of PAUL or for the development of a new decentralized drinking water treatment plant based on an Ultra-Low Pressure Ultrafiltration Module (ULP-UF FM10).

3.6 Comparison of PAUL performance with other technologies

During the technical visit, it was checked if other water treatment systems (biofilters, ceramic filters, etc.) are being used in close communities. Where data collection about other technologies was possible, a comparison with PAUL was carried out. The comparison of removal efficiency was in the parameters Turbidity, Color, Total Coliforms and E. Coli.

4 DESCRIPTION OF SELECTED COMMUNITIES

Table 3 shows a list of the Colombian communities with the number of beneficiary families using PAUL, the local partner in each community and the date of its installation. Brief information of each target rural area is shown below.

Table 3. Colombian communities using currently PAUL in Colombia

No.	Settlement, Municipality, Department	Nr. Families	Population characteristics	Date of PAUL implementation	Local partners
1	Rutemana, Uribia, La Guajira	56	Wayúu Indigenous	19.04.2012	NGO FCAG - Fundation Cerrejon for Water in La Guajira
2	Yayata-Las Villas, Silvania, Cundinamarca	200	Farmers	26.10.2012	EMPOSILVANIA ESP, Water supply public utility
3	Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria, Caldas	25	Children, between 5-12 years old	26.06.2012	UNGRD - Unidad Nacional para la Gestion del Riesgo de Desastres
4	Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca	20	Afro-Americans	12.04.2012	Rural Water Supply Association, Vereda El Tajo
5	Elementary School El Puerto, Vereda El Encano, Pasto, Nariño	57	Indigenous and Farmers	13.12.2012	Gobernación Departamento Nariño, PDA - Plan Departamental de Aguas
6*	Nursery and Elementary School, Vereda El Guayabal, Santander de Quilichao, Cauca	50	Indigenous and Farmers	10.04.2012	EMQUILICHAO ESP, Water supply public utility
6	Elementary School El Hormiguero, El Charco, Nariño	20	Afro-Americans	12.12.2012	Gobernación Departamento Nariño, PDA - Plan Departamental de Aguas

* In this school, PAUL was hardly put into operation. After the second technical visit (around six months), it was decided to install PAUL in another rural settlement: The Elementary School El Hormiguero, El Charco, Nariño

4.1 Rutemana, Uribia, La Guajira

Department of La Guajira

The Department of La Guajira is located in the northeast of Colombia (Figure 1). The upper and middle Guajira region are mostly a flat desert with scarce vegetation. As one of the most arid parts of South America, temperatures can reach 45°C and rainfall averages 500mm each year, and up to 2 500 hours of sunshine per year - the highest in the country (Cerrejón Foundation, 2012).

About 45% of the Guajira's population (total inhabitants 902 367) is considered indigenous. They live mostly in rural areas and 9 out of 10 of those live in poverty (DANE,___). Most important ethnic indigenous groups living in La Guajira are: wayuu, kinkui, ika, kogui y wiwa. In La Guajira lives the largest population of indigenous peoples in Colombia, with 20.2% of the total national indigenous populations (Afroamerica XXI, 2011).



Figure 1. Location Department of La Guajira

Water issues

La Guajira has one of the most worrying water supply and basic sanitation coverage in Colombia. In 2009, water mains covered just over half of the La Guajira province, but they only reach 20.0% of the rural areas. That means that more than 300 000 people in the rural areas lack access to drinking water (Defensoría del Pueblo, 2009a). The municipality of Uribia, a district where PAUL was installed, has a very low coverage with 84,38% in urban and 0,43% in rural areas respectively.

Wayúu rural settlements are made up of small group of houses (up 5 houses) called “Rancherías”. Normally, they obtain water from two kinds of water resources: water wells or water-ponds (jagüey) (see Photo 4). Other water sources in rural area of La Guajira are: tanker-truck, rain water collection and bottled water. During dry season Wayúu suffer of water scarcity; some families have to travel 5 hours daily to find a jagüey, which most of the time has unsafe polluted water (Serna et al., 2009).

Cerrejón Foundation for Water in La Guajira – FCAG, together with the Universidad de La Guajira carried out a study of the water quality in different jagüey. The characterization showed that water from jagüey cannot be consumed directly by humans due mainly to its microbiological contamination (Doria et al., 2009). However, most of Rancherías Wayúu do not have any water treatment and they drink it directly. For this reason, intestinal infectious diseases are considered

one of the five most important causes of child mortality in La Guajira (PNUD, 2011). By 2000, 13.7% of deaths of children under 1 year and the 19.6% of deaths of children between 1 and 5 years were caused by intestinal infectious diseases in La Guajira (Procuraduria General de la Nación & Unicef, 2005).



Photo 4. Water supply systems of Wayuu rural settlements

Rural settlements of (a) Jatkusirra, municipality of Maicao. Water well with wind-pump, capacity 0,5 L/s (b) Rutemana, municipality of Uribia. Jagüey with maximal storage capacity 6 000 m³

Rutemana community

The Rutemana Wayúu community is a Rancheria located in the Municipality of Uribia, La Guajira, specifically in the Km. 108 on the right-side of the railway line of Cerrejón Mining company (N 11° 48' 06.9" W 72° 15' 10.7"). Rutemana has different clans. The filter PAUL was delivered to the Clan "Pushaina", which has 9 households with a total population of 56 people. Each family has its own farmyard with a group of goats.

The delivery and installation of PAUL was performed thanks to the local partner "FCAG- Cerrejon Foundation for Water in La Guajira" (Photo 5). The filter PAUL was installed in a communal hut, where all community's members meet to talk about general concerns. Likewise, some other Wayúu clans or communities could access to PAUL.



(a)



(b)

Photo 5. Delivery of filter PAUL to the Wayuu community Rutemana

(a) Installation of PAUL together with a member of FCAG (b) members of Clan Pushaina, Rutemana community

Rutemana has a Jagüey with a capacity of approximately 6 000 m³. It was built in 2011, under the technical and financial support of FCAG. Rutemana has an additional water tank, which is filled sporadically with tanker-trucks asked to the municipality of Uribia. Other water supply source is the rain water collection. The indigenous take the water directly from the Jagüey with bucket (Photo 4b) and transport it by carts or bicycle with canister (Photo 6). Before the installation of PAUL, the people used to either boil the water or drink it directly from the canisters. Consequently, the use of PAUL has significantly improved the life quality of the Rutemana community and neighboring communities, who travel to visit and use PAUL as a better alternative to get safe water.



(a)



(b)

Photo 6. Water transportation from Jagüey Rutemana

(a) by Cart, specially carried out to the Clan Pushaina (b) by bicycle

4.2 Yayata-Las Villas, Silvania, Cundinamarca

Department of Cundinamarca

The Department of Cundinamarca is located in the center of Colombia which capital is Bogotá (Figure 2). A great part of Cundinamarca is situated on the Eastern Cordillera (Cordillera Oriental), where a variety of ecosystems can be found: from valley of rivers (e.g. Magdalena river) with high temperatures (30°C) up to Páramos, an ecosystem of alpine tundra with temperatures between 2-10 °C.

The population is about 2,3 million inhabitants (without including Bogotá's Population). It is divided in 116 municipalities, one of them is Silvania, which is located 65 Km away from Bogotá D.C. Silvania has about 22 000 inhabitants and 71% of them live in rural areas (DANE, 2013). Its temperature is about 20°C and the economy is based on agricultural production, agro-industrial development and tourism.

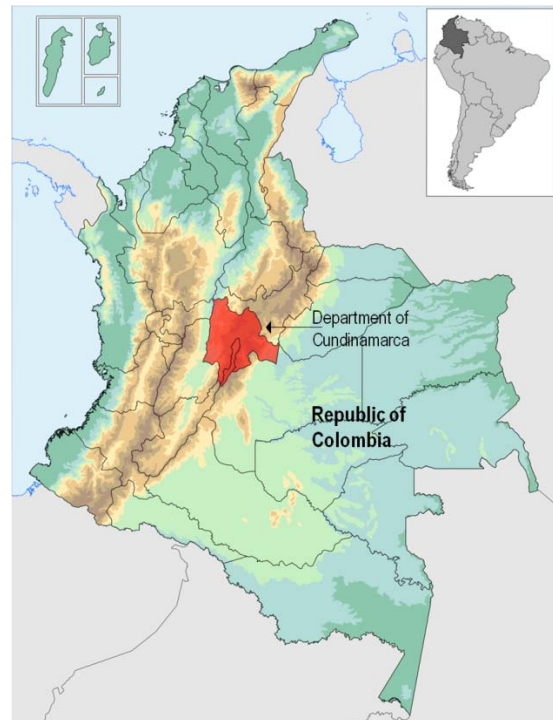


Figure 2. Location Department of Cundinamarca

Water issues

The water supply coverage in Cundinamarca is over 90% in urban and 60% in rural zones respectively. In the municipality of Silvania, water supply coverage is on the range of 61% in urban and 56% in rural areas respectively (Defensoría del Pueblo, 2009b). According to the municipality of Silvania, there are 50 small water supply systems (community aqueducts) for 4 626 users (households), which means about 18 000 inhabitants. Only one of those systems have a water treatment plant, the rest distributes the raw water by pipelines to each household.

The water quality in Colombia is evaluated by the risk index of water quality for human consumption – IRCA (Republic of Colombia, 2007). According to this index, water in rural areas of Cundinamarca exceed the minimum levels required of Total Coliforms, E. Coli, Phosphates, Alkalinity, Residual Chlorine, Total Hardness and Color. Likewise, the IRCA in Silvania shows that the water does not fulfill the requirements for being suitable for human consume (Defensoría del Pueblo, 2009b).

Yayata-Las Villas community

The filter PAUL was officially delivered directly to the municipality of Silvania on November, 2012. In this meeting all the municipality staff were present (Photo 7). The municipality decided to install the PAUL in the community Yayata-Las Villas, a community of around 200 families, living very close to the urban area of Silvania. Its economy is based on agricultural production. Yayata-Las

Villas has a community aqueduct which supplies the households by raw water of the stream Yayata-Lomalta.

The community of Yayata-Las Villas was very excited and committed to the care and use of PAUL. The community built by themselves a small bandstand named “The Water Temple” (El Templo del Agua, en español) (Photo 8). The people of Yayata-Las Villas have been more integrated as community since the installation of PAUL, they can seat around PAUL while they wait for its turn to get some filtered water.

Before the installation of PAUL, people of Yayata-Las Villas used to spend 1,5 -2,0 € / day (COL \$4 000-5.000 / day) per family buying bottled water from companies like Coca-Cola company. Currently the families spend this amount of money in other household consumer goods.



(a)



(b)

Photo 7. Delivery of filter PAUL to the municipality of Sylvania, Cundinamarca

(a) Mayor seated in the middle and (b) administrative staff of Sylvania municipality



(a)



(b)

Photo 8. The Water Temple in Yayata-Las Villas, Sylvania Cundinamarca

(a) general view of The Water Temple (b) bars for PAUL's protection inside The Water Temple

4.3 Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria, Caldas

Department of Caldas

It is located on the Central Cordillera of Colombia and the capital is Manizales (Figure 2). It is part of the Colombian Coffee-Growers Axis. It has a variety of ecosystems: from valley of rivers (e.g. Magdalena and Cauca river) up to the Nevados National Park, a group of active/inactive volcanoes of the Colombian Andes.

The population is about 1 million inhabitants and 30% of them live in rural areas. It is divided in 27 municipalities, one of them is Villamaria, which is located on the hillside Nevado del Ruiz, not far away from Manizales. Villamaria has about 54 100 inhabitants and 18% lives in rural areas (DANE, 2013). Its temperature is about 15°C and the economy is based on agricultural production and tourism.



Figure 3. Location Department of Caldas

Nevado del Ruiz

It is the most important active volcano of Nevados National Park and has an altitude of 5 321 m. The last eruption was on November 13, 1985, producing an enormous lahars that buried and destroyed the complete town of Armero and other 13 villages, causing an estimated 25 000 deaths. Omayra Sánchez was a world-renowned young victim of the tragedy. She remained trapped in water and lahars for three days (Photo 9a). The Volcano remains still active and continues to pose a serious threat to nearby towns and villages. The last activity was in April-August 2013, when small eruptions were observed in Nevado del Ruiz and ash fell into more than 20 nearby communities (Photo 9b). Estimates show that up to 500 000 people living in surrounding areas are at risk and 100 000 of these are considered to be at high risk.

Water issues

The water supply coverage in Caldas is over 90% in urban and 70% in rural zones respectively. In the municipality of Villamaria, the water supply coverage is on the range of 98% in urban and 80% in rural areas respectively (Defensoría del Pueblo, 2009c). According to information gathered during the field visit, there are some villages and schools in the rural area of Villamaria without any water treatment. This is the case of the Elementary School Nuestra Señora del Rosario, located at 3 700 m high in the hillside the Nevado del Ruiz. The raw water sometimes has ashes from the Volcano, being a threat for the students.



(a)



(b)

Photo 9. Nevado del Ruiz, Caldas, Colombia

(a) Omayra Sanchez, died trapped by lahars in Armero (b) general view, last volcanic activity on April 2013

Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria, Caldas

The filter PAUL was delivered officially directly to the National Office for Disaster Risk Management (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres). The PAUL was installed in the Elementary School Nuestra Señora del Rosario, giving a solution for its 30 students and their families. Nowadays, the students usually brought buckets or canister to school to take water to their homes (Photo 10).



(a)



(b)

Photo 10. Delivery of filter PAUL in Elementary School Nuestra Señora del Rosario Villamaria, Caldas

(a) PAUL installed in the kitchen (b) students from the elementary school

4.4 Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca

Cauca is a Department located in the south-western part of the country (Figure 4). Its relief belongs to the Andean system, therefore it has a big variation of temperatures and altitudes. Its population is about 1,4 million and 61% of it live in rural areas. Additionally, 21,5% of the inhabitants are considered indigenous and 22,3% Afro-Colombians, respectively.

Santander de Quilichao is a municipality in the north of Cauca with about 90 000 inhabitants (45% of them in rural areas). It gathers a large proportion of both populations (Indigenous and Afro-Colombians). It is located 45 km away from Cali, the third most important city in Colombia. Its altitude is 970 m and has a temperature between 25-30°C.

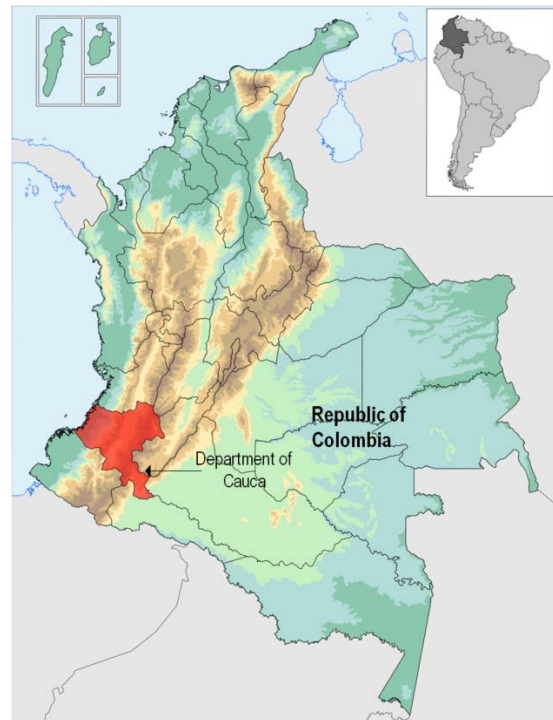


Figure 4. Location Department of Cauca

Water issues

The water supply coverage in Cauca is about 89% in urban and 51% in rural areas respectively. In Santander de Quilichao the coverage is about 95% in urban and 59% in rural areas. However, according to a study performed during 2006-2007 by the Defensoria del Pueblo, the water supplied to households has inappropriate quality for human consume (Defensoría del Pueblo, 2009d). During the field visit, it was demonstrated that in the rural area of Santander de Quiichao there are many villages that do not have access to safe drinking water. Raw water is supplied directly from slope rivers, representing a high threat to the population, for instance due to the high turbidity levels during the rainy seasons and the presence of pathogens.

4.4.1 Nursery/Elementary School, vereda El Guayabal

On April 2012, a filter PAUL was set at the Nursery/Elementary School vereda El Guayabal (Photo 11a). The users of PAUL were about 50 indigenous children and their families living in the surrounding area (some indigenous children in Photo 11b). The teacher of the School was in charge of the follow-up and maintenance of PAUL together. The local partner “water supply company of Santander de Quilichao EMQUILICHAO ESP” was responsible for visiting PAUL and checking its usage. During the second visit in November 2012, it was noted that neither the community was using PAUL as a water filtration system nor EMQUILICHAO ESP was visiting the community. Inside PAUL some algae was growing, covering the membrane (Photo 12a,b). Therefore, the filter was chemical cleaned and relocated in a community in Nariño Department.



(a)



(b)

Photo 11. PAUL in vereda El Guayabal, Santander de Quilichao, Cauca

(a) delivery and installation of PAUL (b) evidence of no use of PAUL



(a)



(b)

Photo 12. Evidence carelessness of PAUL in vereda El Guayabal, Santander de Quilichao, Cauca

(a) delivery and installation of PAUL (b) evidence of no use of PAUL

4.4.2 Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca

On April 2012, a second PAUL was set at the vereda El Tajo. Initially, the set-up and explanation of operation and maintenance was performed at the Elementary School vereda El Tajo, but later on, the community started moving the PAUL from different housing clusters. The users are around 20 Afro-Americans families living in this area (Photo 13a,b).

The families live very close to the urban area of Santander de Quilichao, but due to the high geographical position of El Tajo, it cannot be supplied by EMQUILICHAO. The economy of El Tajo is based mainly on agricultural production. According to the Representative of El Tajo community, since the installation of PAUL the cases of illness related to water consume have been reduced.



Photo 13. Delivery of filter PAUL in vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca

(a) PAUL installed at the Elementary School (b) students from the Elementary School

4.5 Veredas El Encano and El Charco, Nariño

Nariño is in the south-west of the country (Figure 4), bordering Ecuador. Because of its position between Andean system and Pacific Ocean, it has diverse geography and climates. Its population is about 1,7 million and 54% of it lives in rural areas. Additionally, 10,4% of the inhabitants are considered indigenous and 18,1% Afro-Colombians (Afroamerica XXI, 2011).

El Encano. It is a small town in the municipality of Pasto. It is located at 2 000 m high nearby Laguna La Cocha. Most of the people are indigenous and live from fishery and tourism (Photo 14a).

El Charco. It is a municipality in located at the side of River Tapaje nearby the Pacific Coast (2 m high). The economy is based in mining and fishery. Most of the people are Afro-Colombians (Photo 14b).



Figure 5. Location Department of Nariño

Both population are categorized on socioeconomic income status 1 and 2 (lowest poverty level).



(a)



(b)

Photo 14. Delivery of filter PAUL in vereda El Encano and El Charco, Nariño

Rural settlements of (a) El Encano (b) El Charco

Water issues

The water supply coverage in Nariño is about 95% in urban (758 244 inhabitants) and 63% in rural (544 006 inhabitants) areas respectively. According to the index IRCA, only 57% of the urban and 3% of the rural population consumes safe drinking water; the not fulfill limits are in the parameters Turbidity, Color, Total Coliforms and E. Coli (IDSN, 2011).

In El Encano, the population is supplied with raw water from the stream El Socorro. The PAUL was installed in the elementary school El Encano. The beneficiaries of PAUL are around 89 students between 5 and 12 years old and circa 57 families.

In El Charco, the population was supplied either by rain water harvesting or taking water directly from the river Tapaje. PAUL was installed at the elementary school El Hormiguero, giving safe water to 60 students and 20 families.

5 RESULTS

5.1 Water production

The water flux measurement of PAUL was performed by the volumetric method, following the instructions given in the Appendix V. The data were taken in two periods. Firstly after some weeks of normal operation of PAUL and secondly after the cleaning and maintenance of PAUL with Sodium Hypochlorite (see Maintenance of PAUL). The data were normalized to ambient temperature (20°C) using the equation 1 (Ec. 1) (Boyd, et al., 2013).

$$J_{SP} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right) \cdot \left(\frac{\mu_{20^{\circ}\text{C}}}{\mu_t}\right)}{TMP} \quad \text{Ec. 1}$$

where,

J_{SP} : specific flux (at 20°C) in L

Q : measured volumetric flow (L/h)

A : superficial area of membrane module (9,5 m²)

$\mu_{20^{\circ}\text{C}}$: absolute viscosity at 20°C

μ_t : absolute viscosity at temp. t

TMP : Transmembrane pressure (~ 65 mbar)

The results of water production are presented in Table 4. In all PAUL filters, it was found a higher water production than the minimum expected (1 200 L/d, which means about 5 L, h⁻¹ m⁻²).

According to the United Nations General Assembly, every human being has the right to access sufficient and continuous safe water for personal and domestic uses (between 50 and 100 litres of water per person per day) (IUCN, UNDP, 2004). In this way, PAUL might be able to supply of safe water about 60 people with an average of 50 lpd. A PAUL unit could supply about 200 inhabitants when it is used only to treat water for drinking and food preparation (12 to 15 lpd).

Table 4. Mean water production of PAUL in Colombia

Settlement	Normalized water flow in PAUL		Specific Flux (J _{SP})
	[L, h ⁻¹ m ⁻²]		[L, h ⁻¹ m ⁻² bar]*
	During operation	After cleaning	
Rutemana, Uribia, La Guajira	15,95 (3,70)	21,14 (0,98)	245,33 (57)
Yayata-Las Villas, Silvania, Cundinamarca	12,97 (0,10)	20,65 (0,20)	199,65 (15)
Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca	14,91 (0,58)	21,27 (0,50)	229,58 (8,90)
El Encano, Pasto, Nariño	10,55 (0,18)	n.d.	166,24 (2,82)
El Charco, Nariño	23,72 (0,01)	n.d.	364,91 (0,22)

Note:

Standard deviations are shown in brackets

Specific flux calculated with the Ec. 1.

5.2 Water quality

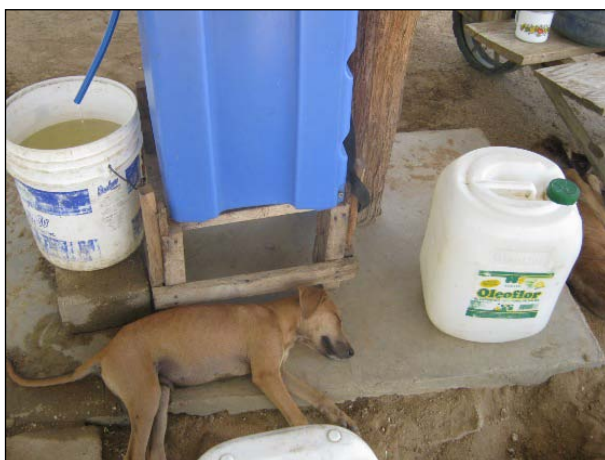
Table 5 shows the results of water quality from the 6 PAUL filters. It was found that PAUL reaches a removal between 90 to 98% for Turbidity and 42 to 82% for True Color. However, values of Color in the settlement of Rutemana, La Guajira and El Encano, Nariño, were above 15 PCU; hence, the Water Colombian Ordinance "Resolution No. 2115 of 2007" were not fulfilled completely (see summary in Appendix I). In other physicochemical parameters there were not significant reduction, besides that their levels do not represent a threat to human health. However, it is highlighted the removal of Total Iron, especially in the PAUL installed at the Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria Caldas (Nevado del Ruiz)

Table 5. Quality of raw and filtered water of PAUL in Colombia

Parameters	1 ⁽⁶⁾		2 ⁽¹⁾		3 ⁽¹⁾		4 ⁽²⁾		5 ⁽³⁾		6 ⁽¹⁾	
	raw	UF	raw	UF	raw	UF	raw	UF	raw	UF	raw	UF
Temperature [°C]	29	30	22	21	10	9	23	22	10	11	25	26
Turbidity [NTU]	43	0,9	9	0,1	4,2	0,1	11	0,5	3	0,3	1,2	0,2
Color [PCU]	125	17	10	5	3	2	13	5	48	28	7	3
Conductivity [μ S/cm]	332	360	28	21	40	50	62	67	90	92	14,2	21,4
pH [unit.]	8,3	7,7	6,7	6,1	6,5	6,6	7,2	7,0	7,3	7,4	6,5	6,7
Nitrate [mg/l N]	3,2	0,8	1,7	1,9	1,0	1,1	0,8	1,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Alkalinity [mg/l CaCO ₃]	117	109	8	6	22	20	36	34	47	48	3	3
Total Hardness [mg/l CaCO ₃]	87	85	6	6	16	14	28	23	46	37	4	5
Total Iron [mg/l Fe]	0,2	0,1	0,3	0,1	1,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0	0,01	0,01
Sulfate [mg/l]	6,5	6,0	5	5	6	5	8	8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T. Coliforms [CFU/100 ml]	16E03	600	3E03	24	72	16	12E03	0	233	44	261	0
E. Coli [CFU/100 ml]	7E03	0	200	0	32	2	6E03	0	38	0	0	0

Note: - Amount of samples analyzed during the project are in brackets

- Settlement Nr.:
- 1). Rutemana, Uribia, La Guajira
 - 2). Yayata-Las Villas, Silvania, Cundinamarca
 - 3). Elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villamaria, Caldas
 - 4). Vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca
 - 5). Elementary School El Puerto, Vereda El Encano, Pasto, Nariño
 - 6). Elementary School El Hormiguero, El Charco, Nariño



(a)



(b)

Photo 15. Color of filtered water from PAUL

Rural settlements of (a) Rutemana, La Guajira (b) El Encano, Nariño

The microbiological analyses show that PAUL has around 4-Log removal in E.Coli (99,99%), validating the recommendations established for membrane filtration by WHO in the Guidelines for drink water quality, 4th ed. (WHO, 2011). For Total Coliforms, it was found that in almost all water samples from PAUL, there were presence of those bacteria in the permeate (filtered water). It is possible that domestic animals (turkeys, dogs) around PAUL might re-contaminate the filtered water or some bacteria might re-grow around the hose at the outlet of PAUL.

In general, although PAUL does not fulfill completely the Water Colombian Ordinance “Resolution No. 2115 of 2007”, the Ultra-Low Pressure Ultrafiltration technology (ULP-UF) is a good application to remote and rural areas in Colombia. In combination with some additional pre- and post-treatments, ULP-UF is a good low cost solution for safe drinking water supply in those areas. The pre- and post-treatments should focus on the removal of high concentrations of True Color and an elimination of E. Coli.

5.3 Maintenance of PAUL

The maintenance of PAUL was performed either directly by the representative of the community or together with the partner organization in each community. The following maintenance procedure further application of PAUL is recommended:

The maintenance is divided in two types: short term and long term maintenance.

Short term maintenance: or washing out the retained solids in PAUL. Except for Rutemana (water temperature 30°C and high concentration of solids and organic matter), maintenance is performed once per month. For a good water quality (less odor and color in the permeate), the maintenance should be carried out weekly in settlements with similar weather conditions and raw water quality characteristics as found in Rutemana. In general, the following instructions are recommended:

- Collect about 120 liters of permeate (filtered water) from PAUL
- Empty of PAUL by taking out the lid located at the bottom of the tank
- Fill up the PAUL again with the collected clean water; shaking PAUL and empty it again by taking out the lid located at the bottom of the tank

Long term maintenance: or chemical cleaning and disinfection of PAUL. It is recommended to be carried out at least twice per year. However, for settlements with similar conditions as in Rutemana, it should be carried out every three months due to the high temperature and concentration of organic matter in the water.

- Perform the same procedure of short term maintenance, but this time collect about 360 liters of permeate (filtered water) from PAUL. The remaining 250 liters of clean water will be used for the chemical cleaning as follow below

- Fill up again the PAUL with the collected clean water (about 100 liters). Add about 10 liters of household bleach (commercial Sodium Hypochlorite at 5,25%), which makes about a minimum chlorine solution of 2 500 ppm Cl⁻ (0,25%)
- Open the filter valve PAUL to release air and allow that the chlorine solution enters into the membrane module. Close the valve and keep PAUL with the chlorinated solution over the night
- Next day, empty PAUL by taking out the lid located at the bottom of the tank. Fill up again PAUL with the remaining 150 liters of collected clean water. Open the filter valve and leave the water run out. Do not use this water for human consume. Fill up again PAUL with raw water and leave the water run out. After this procedure, PAUL may be again in operation and the filtered water can be used for humane consume

5.4 Empowerment of PAUL

Thanks to the workshops and the active participation of the local partner organizations, PAUL was successfully recognized and accepted by the communities as part of them. One of the best examples is the community Yayata-Las Villas. The users built by themselves a small bandstand named "The Water Temple" (Photo 8). Nowadays, Yayata-Las Villas inhabitants are more integrated as community. They say that PAUL contributed positively to the progress of the community and they are willing to participate and be beneficiaries of a larger application of PAUL (i.e. the application of ULP-UF technology in a decentralized drinking water treatment plant.)

Other communities with a good empowerment of PAUL are vereda El Tajo in Santander de Quilichao, Cauca and vereda El Encano in Pasto, Nariño. In both communities, PAUL has been accepted as part of the community and they take care together of its good operation and maintenance.

5.5 Improvements of PAUL

After 6-8 months of PAUL's installation, some feedback about its operation and maintenance as well as ideas for its improvement were collected from the personal experience of the project executor and the beneficiary community. The result of these observations are the following suggestions for improvements or changes on PAUL design.

Design

- ➔ The stickers of PAUL should be written always on the local language where they will be used. In the case of Colombia, PAUL instructions were written in English and German. Most of the people speak and read Spanish (see Photo 16a)
- ➔ The stickers should be covered and coated by a colorless film, thus the stickers will be not damage during transportation of PAUL (see Photo 16a)
- ➔ The lid located at the bottom of PAUL might be lost during transportation or by doing maintenance. It is suggested to deliver at least an additional lid, in case the original is

lost (see Photo 16b). It is highlighted that the PAUL's screw thread was not easy to find in a local market

Operation

- PAUL should have either a darker color design or have a thicker walls. When PAUL is used in settlements at ambient temperatures of 30°C or higher, the sunlight goes through the tank, facilitating the growing of algae and being a perfect ecosystem for pathogens and other waterborne diseases (see Photo 16c)
- The outlet-hose of PAUL is big enough, so some air comes from outside until the filter valve. It is suggested to reduce the diameter of the outlet-hose, thus filtered water will fill the entire area of the hose and there would be more hydraulic head and flux (see Photo 16d)
- For the locations with similar characteristics as in Rute mana, La Guajira and in El Encano, Nariño, it is recommended to use PAUL in combination with additional pre- or post-treatments. Thus, Real Color and E. Coli level in the treated water will fulfill the Water Colombian Ordinance

Maintenance

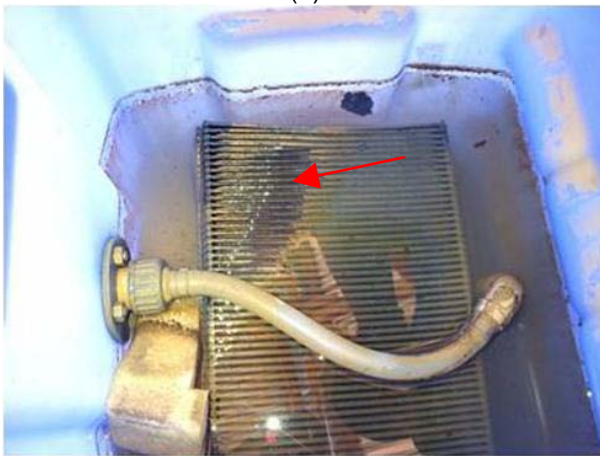
- When PAUL is used in settlements with ambient temperatures of 30°C or higher, the maintenance should be carried out more frequently than in settlements with lower temperatures. It is recommended to follow the maintenance instructions given in "5.3 Maintenance of PAUL"



(a)



(b)



(c)



(d)

Photo 16. Improvements of PAUL

- (a) stickers written only in English and German / coating the stickers and labels
- (b) an additional lid (of the bottom) should be provided together with each shipped PAUL
- (c) darker color or thicker walls should be used in PAUL, thus algae growth inside PAUL is avoided
- (d) the outlet hose of PAUL should be changed for a smaller one. Thus, air bubbles inside the hose are avoided

5.6 Comparison of PAUL with other technologies

During the technical visit to each selected community, there were no evidences of the use of other technologies for water treatment. Only in some Wayuú communities in La Guajira, the clay filters are used. Information about those filters were provided by the local partner organization “NGO FCAG - Fundation Cerrejon for Water in La Guajira”. However, a direct comparison could not be performed because the clay filters are not used in the same communities where PAUL operates. Nevertheless, it is worth mentioning that the clay filters reach a E. Coli removal of 80%, in comparison to the 99,99% reached by PAUL.

6 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

- ➔ The measurement of water flux during the operation of PAUL showed that in all cases a minimum of 10-12 L, h⁻¹ m⁻² can be produced. If PAUL is subject to maintenance and chemical cleaning, the water flux will be increased to around 12 L, h⁻¹ m⁻²
- ➔ PAUL reaches a removal between 90 to 98% for Turbidity and 42 to 82% for True Color. In the case of Color, some of those values are still above the limit (15 PCU) established in the Water Colombian Ordinance “Resolution No. 2115 of 2007”. PAUL is considered a good solution for the water supply in remote rural areas in Colombia, however, some pre- or post-treatment should be added to enhance and fulfill the Water Colombian Ordinance
- ➔ After some simple explanation about the use and maintenance of PAUL to the community, any adult person can take care of it. However, it is important that only one person “representative of the community” performs that procedure. The disinfectant used for the chemical cleaning is easily accessible in the local market. It is highly recommended to advice and alert the community about the riskiness of manipulation of the wastewater produced after each chemical cleaning of PAUL. Further research should focus to find an easy treatment method
- ➔ PAUL is successfully recognized and accepted in the communities as part of them. PAUL has contributed positively to the progress of each community and it has helped to improve the daily coexistence of the community around their water issues. The application of this technology (ULP-UF) for remote rural areas is recommended. However, it shall be complemented by some pre- and post-treatments in order to increase the flux capacity

➔

7 REFERENCES

- Afroamerica XXI. (2011). "Cuantos somos Como vamos". Diagnóstico Sociodemográfico de Cali y 10 municipios del Pacífico nariñense. Retrieved August 28, 2013, from http://www.dane.gov.co/files/censo2005/etnia/sys/cuantos_somos.pdf
- Boyd, C. C. and S. J. Duranceau (2013). "Evaluation of Ultrafiltration process fouling using a novel Transmembrane Pressure (TMP) balance approach." *Journal of Membrane Science* 446(0): 456-464.
- CELADE. (2011). Departamento de La Guajira, Colombia. Perfil sociodemográfico básico. Retrieved February 6, 2012, from http://www.eclac.cl/celade/noticias/paginas/2/40392/1_La_Guajira.pdf
- Cerrejon Foundation. (2011). *Fundación Cerrejón para el Agua en La Guajira –FCAG– Informe de Gestión Agosto -Octubre, 2011* (p. 12). Riohacha. Retrieved from [http://www.fundacionescerrejon.org/formas/3243/FCAG Informa Agosto a Otcubre.pdf](http://www.fundacionescerrejon.org/formas/3243/FCAG%20Informa%20Agosto%20a%20Otcubre.pdf)
- Cerrejón Foundation. (2012). Cerrejón Foundation for Water in La Guajira. Retrieved February 8, 2012, from [http://www.fundacionescerrejon.org/secciones/FUNDCERRE/ENGLISHHOME/FUNDACIONE S/AQUA/QS/seccion_HTML.jsp](http://www.fundacionescerrejon.org/secciones/FUNDCERRE/ENGLISHHOME/FUNDACIONE%20S/AQUA/QS/seccion_HTML.jsp)
- DANE, (____). Departamento Administrativo Nacional De Estadística. "La visibilización estadística de los grupos étnicos colombianos". Bogotá, D.C. Retrieved August 28, 2013, from http://www.dane.gov.co/files/censo2005/etnia/sys/visibilidad_estadistica_etnicos.pdf
- DANE (2013). Statistical estimation of Population. Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020. Retrieved August 28, 2013, from <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>
- Defensoría del Pueblo (2009a). Informe: "Diagnostico del cumplimiento del derecho humano al agua en el departamento de La Guajira. Análisis de Políticas Públicas con Perspectiva de Derechos Humanos". Bogota D.C. Retrieved September 28, 2013, from http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/11/agua/in_guajira.pdf
- Defensoría del Pueblo (2009b). Informe: "Diagnostico del cumplimiento del derecho humano al agua en el departamento de Cundinamarca. Análisis de Políticas Públicas con Perspectiva de Derechos Humanos". Bogota D.C. Retrieved September 28, 2013, from http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/11/agua/in_cundinamarca.pdf
- Defensoría del Pueblo (2009c). Informe: "Diagnostico del cumplimiento del derecho humano al agua en el departamento de Caldas. Análisis de Políticas Públicas con Perspectiva de Derechos Humanos". Bogota D.C. Retrieved September 28, 2013, from http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/11/agua/in_caldas.pdf
- Defensoría del Pueblo (2009d). Informe: "Diagnostico del cumplimiento del derecho humano al agua en el departamento de Cauca. Análisis de Políticas Públicas con Perspectiva de Derechos Humanos". Bogota D.C. Retrieved September 28, 2013, from http://www.defensoria.org.co/red/anexos/pdf/11/agua/in_cauca.pdf
- Doria, C., Pitre, L., Echeverri, R., López, A., De Luque, H., Daza, A., & Serna, J. (2009). El uso del agua de jagüeyes en comunidades indígenas Wayúu de La Guajira, Colombia. Cali.
- IDSN (2011). Instituto Departamental de Salud Nariño. Informe: "Gestion y vigilancia de la calidad de agua para consumo humano año 2011"

- IMF (2011). International Monetary Fund. "World Economic Outlook April 2011. Tensions from the Two-Speed Recovery: Unemployment, Commodities, and Capital Flows. Retrieved from <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2011/01/pdf/text.pdf>
- IUCN, UNDP, (2004). Water as a Human Right?. IUCN Environmental Policy and Law Paper No. 51. Retrieved from: <http://www.unwater.org/downloads/EPLP-051.pdf>
- Peter-Varbanets, M., C. Zurbrügg, et al. (2009). "Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology." *Water Research* **43**(2): 245-265. doi:10.1016/j.watres.2008.10.030
- PNUD (2011). PNUD Colombia. Separata. La Guajira: Retos y Propuestas para la construcción colectiva de programas de gobierno. Retrieved from http://www.pnudcolombia.org/elecciones2011/pdf/separata_guajira.pdf
- Procuraduría General de la Nación, & Unicef. (2005). *La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales* (p. 164). Bogotá D.C. Retrieved from <http://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/descargas/publicaciones/ProteccionInfanciao.pdf>
- Republic of Colombia, 2007. Decreto 1575 de 2007. Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (Ordinance 1575 of 2007).
- Serna, J. E., Benavides, A., Gutiérrez, J. P., & Sánchez, L. D. (2009). Usos de agua en zonas secas: Caso de estudio comunidades indígenas Wayuu en la alta Guajira Colombiana. Cali.
- Sphere. (2011). *The Sphere Project: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response* (2011), ISBN 978-1-908176-00-4
- UN. (2010). *The Millennium Development Goals Report 2010*. New York. Retrieved January 18, 2012, from http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_En_r15_low_res_20100615.pdf
- Unicef, WHO, et al. (2012). "Levels & Trends in Child Mortality". Report 2012. Estimates Developed by the UN Inter-agency Group for Child Mortality Estimation. Retrieved August 18, 2013, from http://apromiserenewed.org/files/UNICEF_2012_child_mortality_for_web_0904.pdf
- WHO. (2011). *Guidelines for drink water quality*. (WHO, Ed.). 4th ed. Geneva: World Health Organization. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/
- WHO & Unicef. (2000). *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. Water Supply* (p. 87). Geneva and New York: WHO and Unicef. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf
- WHO & Unicef. (2006). *Meeting the MDG Drinking water and sanitation target: the urban and rural challenge of the decade* (p. 47). Geneva and New York. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2006/en/index.html
- WHO & Unicef. (2010). *Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update. World Health* (p. 56). Geneva and New York. Retrieved from http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/1278061137-JMP_report_2010_en.pdf
- WHO (2011). *Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies*. Geneva. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/tn9_how_much_water_en.pdf
- WHO. (2009). *World Health Statistics: "Cause-specific mortality and morbidity"*. Retrieved August 18, 2013, from http://www.who.int/whosis/whostat/EN_WHS09_Table2.pdf

Appendixes

Appendix I. Summary of the Colombian Ordinance in water quality for human consume

Adapted from: (Republic of Colombia, 2010. Resolution No. 2115 of 2007)

Characteristics	Parameters	Expressed as (units)	Maximum acceptable value
Physical characteristics	Apparent Color	Platinum- Cobalt Scale (PCU)	15
	Smell and Taste	Acceptable / Unacceptable	Acceptable
	Turbidity	Nephelometric Turbidity Units (NTU)	2
	Conductivity	(microsiemens/cm)	1000
	pH	(units)	6,5 – 9,0
Chemical characteristics with a recognized adverse effects or implications on human health	Antimony	Sb (mg/L)	0,02
	Arsenic	As (mg/L)	0,01
	Barium	Ba (mg/L)	0,7
	Cadmium	Cd (mg/L)	0,003
	Free Cyanide and dissociated	CN ⁻ (mg/L)	0,05
	Copper	Cu (mg/L)	1,0
	Total Chromium	Cr (mg/L)	0,05
	Mercury	Hg (mg/L)	0,001
	Nickel	Ni (mg/L)	0,02
	Lead	Pb (mg/L)	0,01
	Selenium	Se (mg/L)	0,01
	Total Trihalomethanes	THMs (mg/L)	0,2
	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	PAHs (mg/L)	0,01
	Total Organic Carbon	COT (mg/L)	5,00
	Nitrite	NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,1
	Nitrate	NO ₃ ⁻ (mg/L)	10
Fluorides	F ⁻ (mg/L)	1,0	
Chemical characteristics with a economical implications or indirect effects on human health	Calcium	Ca (mg/L)	60
	Total Alkalinity	CaCO ₃ (mg/L)	200
	Chloride	Cl ⁻ (mg/L)	250
	Aluminium	Al ⁺³ (mg/L)	0,2
	Total Hardness	CaCO ₃ (mg/L)	300
	Total Iron	Fe (mg/L)	0,3
	Magnesium	Mg (mg/L)	36
	Manganese	Mn (mg/L)	0,1
	Molybdenum	Mo (mg/L)	0,07
	Sulfate	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	250
	Zinc	Zn	3,0
Phosphate	PO ₄ ³⁻	0,5	
Microbiological characteristics with a recognized adverse effects and implications on human health	Total coliforms	colony-forming unit per 100 mL (CFU/100mL)	0
	Escherichia coli	colony-forming unit per 100 mL (CFU/100mL)	0
	mesophilic microorganisms*	colony-forming unit per 100 mL (CFU/100mL)	<100
	Giardia	Number of cysts	0
	Cryptosporidium	Number of cysts	0
	Free residual chlorine	(mg/L)	0,3-2,0

Note: * recommended but not mandatory

Appendix II. Banner and flyer for the socialization and explanation the use of PAUL

The banners were printed in a format A1 Serie B (707mm x 1000mm)

PAUL – Mochila de Agua
Unidad de Filtración por membrana



DESCRIPCIÓN.
PAUL es una unidad de filtración de agua que fue diseñada inicialmente para mejorar la calidad del agua de consumo para pequeños grupos de personas.

PAUL puede proveer agua para necesidades mínimas de supervivencia

- Consumo de agua directa
- Cocción de alimentos

PAUL es de operación simple. No requiere operarios ni la aplicación de químicos o energía para su funcionamiento.

Con 3 Litros / persona – día:

- Abastece 400 personas

Con 7.5 – 15 Litros / persona – día:

- Abastece 60 a 160 personas

1

PAUL – Mochila de Agua
Unidad de Filtración por membrana



- Filtración es por gravedad
- Separación de sólidos / líquidos
- Opera similar a filtro de arena

No usar agua del mar (salobre)
No usar gasolina, aceite, pintura
No usar bebidas gaseosas, otros
No usar orina animal o humana

2

PAUL – Mochila de Agua
Unidad de Filtración por membrana

OPERACIÓN DE PAUL.



- Usar 200 Litros de agua en parte superior y dejar abierta la válvula
- Agregar nuevamente agua cruda (jagüey) en parte superior
- Evite contacto del agua cruda con tubería de salida de agua filtrada
- Abrir válvula de salida agua filtrada y recolecte el agua en bidones con tapa hermética
- Asegure que válvula de salida quede cerrada al finalizar el uso de PAUL

3

PAUL – Mochila de Agua
Unidad de Filtración por membrana

AGUA FILTRADA CON PAUL.



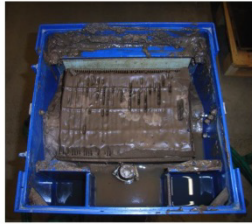
MANTENIMIENTO DE PAUL.

Si el flujo de agua filtrada disminuye drásticamente realice lo siguiente:

- Recoja dos bidones de agua filtrada (50 L)
- Abra el tapón ubicado en la parte inferior del dispositivo PAUL
- Agregue los dos bidones de agua filtrada
- Deje correr el desagüe del agua filtrada
- El desagüe es agua residual, no entre en contacto con ella

4

**PAUL – Mochila de Agua
Unidad de Filtración por membrana**



MANTENIMIENTO DE PAUL.

Si el flujo de agua filtrada disminuye drásticamente realice lo siguiente:

- Recoja dos bidones de agua filtrada (50 L)
- Abra el tapón ubicado en la parte inferior del dispositivo PAUL
- Agregue los dos bidones de agua filtrada
- Deje correr el desagüe del agua filtrada
- El desagüe es agua residual, no entre en contacto con ella

The flyers were printed in a format A4 Serie A (210mm x 297mm)

Desempeño

PAUL® filtra más del 99,99% de patógenos utilizando un filtro de membrana con poros de tamaño aproximado 40 nm (0,04 µm) y 10 años de durabilidad. **Durante meses, más de 1200 litros de agua por día pueden ser filtrados, lo suficiente para que sobrevivan 400 personas en un desastre (dotación 3 L/hab.-día).**

Qué tiene más sentido?

- ✓ Transportar 1,2 toneladas de agua para 400 víctimas **todos los días**
- ✓ Transportar **una única vez** un **PAUL®**, el cual pesa aprox. 20 kg?

O transportar en un sólo día **60 PAUL®** (= 1,2 ton de agua) en vez de agua. Esto significa que al día siguiente **24.000 personas** podrían filtrar su propia agua!

Es nuestro deber salvar vidas humanas!

Contacto

Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen
 DESEE, Universidad de Kassel
 Kurt-Wolters-Str. 3, D-34125 Kassel
 Tel: +49 561 804-2869
 Fax: +49 561 804-3642
 Correo: siwawi@uni-kassel.de
 Web: www.uni-kassel.de/fb14/siwawi



Con su donación, usted apoyaría la producción de mochilas de agua para su uso en casos de emergencia y/o zonas afectadas por desastres.

Realice su donación a: World University Service
 A nombre de: **Paul**
 IBAN: DE95 3702 0500 0007 2321 00
 Código-BIC: BFSWDE33XXX
 Banco: Bank für Sozialwirtschaft

Por favor especifique su dirección para el envío de la confirmación de su donación!

www.waterbackpack.org



Tratamiento de agua en situaciones de emergencia, la mochila de agua **PAUL®**



gefördert durch



www.dbu.de

Deutschland Land der Ideen

Ausgewählter Ort 2011 **WINNER SOCIETY**

UNIKASSEL
 UNIVERSITÄT

Motivación

Tras una catástrofe natural, uno de los problemas más urgentes es **abastecer con agua potable a la población afectada**. Pozos y ríos podrían estar contaminados por diferentes patógenos. La gente, principalmente niños, se enfermarían por ingestión directa de esta agua. Muchos podrían morir por cólera, diarrea y otras enfermedades.

Problema

Plantas potabilizadoras con alta tecnología pueden ser utilizadas, pero requieren energía eléctrica, insumos químicos y personal entrenado. Abastecen miles de personas. Pero por su su costo, capacidad y disponibilidad sólo son usadas en ciudades. **Si la infraestructura ha sido destruida, las personas que viven en zonas rurales y/o remotas sufren por falta de agua potable. Por esto: Zonas rurales necesitan ayuda adicional!**

Solución: : PAUL® (Portable Aqua Unit for Lifesaving)

Para el tratamiento de agua en situaciones de emergencia, el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Kassel desarrolló la **mochila de agua PAUL®**, la cual tiene las siguientes características:

- ✓ No requiere energía, insumos químicos o aditivos en operación
- ✓ No requiere operador especializado
- ✓ No requiere mantenimiento durante meses
- ✓ Sin partes móviles y de diseño robusto
- ✓ Fácil de transportar, como una mochila
- ✓ 4 pictogramas sirven de manual, lo que hace fácil su manejo incluso para personas analfabetas





© DESEE, Universidad de Kassel/Alemania, 19.11.2013 - V15

Appendix III. Evidence of community training and empowerment
(Operation and maintenance of PAUL in the selected rural settlements)



(a)



(b)

Photo 17. Training and empowerment of PAUL in Rutemana and Yayata-Las Villas

(a) community Rutemana, Uribia, La Guajira; (b) community Yayata-La Villas, Sylvania, Cundinamarca



(a)



(b)

Photo 18. Training and empowerment of PAUL in Villa Maria and El Tajo

(a) elementary School Nuestra Señora del Rosario, Villa Maria, Caldas; (b) vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca



(a)



(b)

Photo 19. Training and empowerment of PAUL in El Encano and El Charco

(a) elementary School El Puerto, vereda El Encano, Pasto, Nariño; (b) elementary School El Hormiguero, El Charco, Nariño

Appendix IV. Evidence of technical visits for follow-up and the maintenance of PAUL



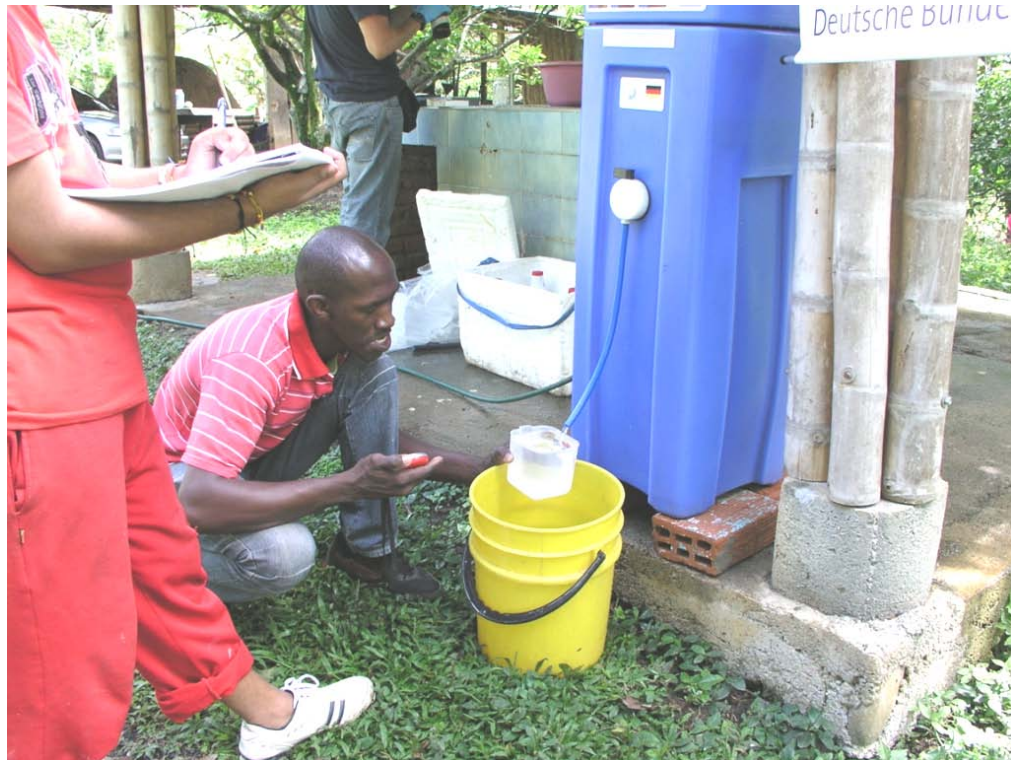
(a)



(b)

Photo 20. Technical visits and follow-up PAUL

(a) community Rute mana, Uri bia, La Guajira; (b) community Yayata-La Villas, Silvania, Cundinamarca



(a)



(b)

Photo 21. Technical visits and follow-up PAUL

(a) vereda El Tajo, Santander de Quilichao, Cauca; (b) elementary School El Puerto, vereda El Encano, Pasto, Nariño

Appendix V. Formats Follow-up of PAUL



Volumetric method procedure to measure filtration capacity of PAUL

Please, for the volumetric method use the following elements:

- Container with a known volume, e.g. bucket of 10 liters
- Stopwatch or chronometer
- Format “PAUL Water Production”

Follow the next instructions:

- ➔ Check that the container to be used is empty.
- ➔ Put the container under the outlet of PAUL, as it is shown in Figure.
- ➔ Check that PAUL has been filled with raw water
- ➔ Open the outlet valve of PAUL. Simultaneously, start the stopwatch.
- ➔ Stop the stopwatch when the container is full of water
- ➔ Register the time and the volume of the container in the Format “PAUL Water Production”
- ➔ If there are some important changes in the raw/filtered water quality , please write down in those observations



Project schedule for general field testing of PAUL water filtration units in Colombia



Format "PAUL Water Production"

No.	Date DD / MM / AA	Time (Min. : Sec.)	Volume (Liter)	Observations (quality of raw water / filtered water)
1		:		
2		:		
3		:		
4		:		
5		:		
6		:		
7		:		
8		:		
9		:		
10		:		
11		:		
12		:		
13		:		
14		:		
15		:		
16		:		
17		:		
18		:		
19		:		
20		:		
21		:		
22		:		
23		:		
24		:		
25		:		
26		:		
27		:		
28		:		
29		:		
30		:		



Format "Maintenance of PAUL"

No.	Date DD / MM / AA	Amount of used water (No. buckets)	Observations
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Abschlussbericht

Projektzeitraum: Februar 2012 – Juli 2013

F+E-Kooperation zwischen dem

Umweltbundesamt

Fachgebiete

II 1.4 Mikrobiologische Risiken

II 3.3 Wasseraufbereitung

und der

Universität Kassel

Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
im Institut für Wasser, Abfall, Umwelt (IWAU)

„Membranfiltrationsgerät zur Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Gruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie“

Durchgeführt im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
geförderten F&E-Vorhabens (DBU-Az. 23860/04)
„Erprobung und Optimierung eines einfachen Membranfiltrationsgerätes zur
Aufbereitung von trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine
Personengruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie (3. Phase) mit dem Ziel der
Serienreife“

H. Bartel, A. Frohnert, A. Grunert*, H.-C. Selinka, R. Szewzyk

*Federführung

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ZUSAMMENFASSUNG	IV
TABELLENVERZEICHNIS.....	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	X
1 EINLEITUNG	11
1.1 Epidemische Bedeutung von humanpathogenen Viren im Trinkwasser nach Katastrophenereignissen.....	11
1.2 Methoden zur Entfernung/Unschädlichmachung von Krankheitserregern in kontaminierten Oberflächenwässern im Katastrophenfall	11
1.3 Portable Aqua Unit for Lifesaving (PAUL)	12
1.4 Verwendete Indikatorbakterien und Viren.....	13
1.4.1 Escherichia coli.....	14
1.4.2 Enterokokken.....	14
1.4.3 F-spezifische Bakteriophagen	15
1.4.4 Somatische Bakteriophagen.....	15
1.4.5 Humane Adenoviren	16
1.5 DALY-Konzept.....	17
1.6 Ziel der F&E-Kooperation	17
1.6.1 Abgrenzung zu anderen Fragestellungen.....	17
1.7 Vorgehen Projektablauf	18
1.7.1 Freilandversuch mit Abwasser kontaminiertem Oberflächenwasser	18
1.7.2 Laboruntersuchung mit künstlich zugegebenen Indikatorbakterien und Surrogatviren	18
1.7.3 Laboruntersuchung über den Rückhalt von Viren direkt nach Inbetriebnahme.....	18
1.7.4 Risiken durch bakterielle Belastung im aufbereiteten Wasser.....	19
1.7.5 Desinfektion	19
2 MATERIAL UND METHODEN.....	20
2.1 Übersicht der verwendeten Indikatorbakterien und Viren.....	20
2.2 Herstellung der Indikatorbakterien und Viren	20

2.2.1	Herstellung der Bakteriensuspension	20
2.2.2	Herstellung der Bakteriophagensuspension	21
2.2.3	Herstellung der Adenoviren Suspension	21
2.3	Nachweisverfahren für Zielbakterien und Zielbakteriophagen.....	22
2.4	Nachweisverfahren für Adenoviren.....	23
2.4.1	Aufkonzentrierung von Adenoviren mittels Glaswollefiltration	23
2.4.2	Nukleinsäureextraktion Adenoviren	26
2.4.3	Quantitative Bestimmung (QPCR) der Adenoviren	26
2.5	Quantitative Bestimmung des Rückhalts von Bakterien und Viren.....	28
2.5.1	Freilandversuche mit Abwasser und Oberflächenwasser.....	29
2.5.2	Laborversuche mit Trinkwasser und dotierten Konzentrationen an Indikatorbakterien und Viren.....	31
2.6	Desinfektion der Wasserrucksäcke	33
2.7	Tracerversuche.....	34
3	ERGEBNISSE	35
3.1	Freilandversuche mit Oberflächenwasser/1 %igem Abwasser.....	36
3.1.1	Durchflusskapazität (PAUL A und B).....	36
3.1.2	Bakterienrückhalt (Freilandversuch)	37
3.1.3	Virenrückhalt (Freilandversuch).....	38
3.2	Laborversuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Indikatororganismen und Viren	41
3.2.1	Durchflusskapazität (PAUL C und D)	42
3.2.2	Virenrückhalt (Laborversuch).....	43
3.2.3	Bakterienrückhalt direkt nach Inbetriebnahme (Laborversuch)	45
3.2.4	Virenrückhalt direkt nach Inbetriebnahme	47
3.3	Bakterielle Belastung im aufbereiteten Wasser	49
3.4	Verringerung der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser mittels Desinfektion	49
3.4.1	Eingesetzte Hypochloritkonzentration	50
3.4.2	Verringerung der bakteriellen Belastung im aufbereiteten Wasser vor und nach Desinfektion	52
3.5	Tracerversuche für Laborexperimente.....	54
3.6	Aufgetretene Defekte.....	55
3.7	Tabellarische Übersicht der Ergebnisse	57

4	DISKUSSION	59
4.1	Durchflusskapazität	59
4.2	Eliminierung von Bakterien und Viren.....	60
4.3	Anfangseliminierung und Einfahrphase	60
4.4	Zahl der Bakterienkolonien im abgegebenen Wasser und Desinfektion	61
4.5	Hygienische Beurteilung	62
4.6	Defekte	63
4.7	Fazit.....	63
4.8	Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf	64
	DANKSAGUNG	65
	LITERATUR	66
	ANHÄNGE	69
	ANHANG 1 DURCHFLUSSMESSUNG	69
	ANHANG 2 MESSWERTE INDIKATORORGANISMEN /-VIREN	72
	ANHANG 3 QUANTITATIVE BESTIMMUNG DER KULTIVIERBAREN MIKROORGANISMEN - BESTIMMUNG DER KOLONIEZAHL DURCH EINIMPFFEN IN EIN NÄHRGARMEDIUM	81
	ANHANG 4 TRACERVERSUCHE	83

Zusammenfassung

In einer Langzeituntersuchung von etwa 400 Tagen wurde der Rückhalt von Indikatorviren und Indikatorbakterien durch ein schwerkraftbetriebenes Membranfiltersystem für Kleingruppen in Notsituationen untersucht. Durch die Bauweise des Systems in Form eines Rucksacks soll die Aufbereitungseinheit nach Katastrophen, in denen die öffentliche Versorgung mit Trinkwasser zusammengebrochen ist und die Wasserressourcen von kleinen Siedlungen und Eigenversorgungen verschmutzt sind, kleine Personengruppen erreichen.

Es wurden zwei Versuchsansätze im Freiland und im Labor verfolgt. In den Freilandexperimenten wurde zur Simulation fäkal verunreinigter Gewässer ein Oberflächenwasser verwendet, das zuvor mit 1% Abwasser kontaminiert wurde. Mit diesem Testwasser wurde die Rückhaltfähigkeit des Membranfiltrationsgerätes untersucht. Zusätzlich im Labor durchgeführte Versuche wurden mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Indikatorbakterien und Viren durchgeführt.

Unter Verwendung von Trinkwasser und der damit verbundenen geringen Bildung einer filtrationsaktiven Deckschicht auf der Membran wurde für die Bakterien ein **durchschnittlicher Rückhalt von 3-4 Log₁₀-Stufen** erreicht (Abbildung 25, 26). Ähnliche Werte in der Anfangsphase wurden auch für *E. coli* mit 1%igem Abwasser gemessen (Abbildung 16). Für die Viren wurde mit Trinkwasser ein durchschnittlicher Wert von **4 Log₁₀-Stufen** über eine lange Betriebszeit und einem Wasservolumen von ca. 400 m³ festgestellt (3.2.2, 3.2.4).

Eine mit der Menge an filtriertem Wasser stetig zunehmende Deckschicht auf der Membran erhöht wahrscheinlich die Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks. Im Gegensatz zum Rückhalt der Bakterien erfolgte in der Einfahrphase der Filtration ein signifikant geringerer Rückhalt an Viren. Die Rückhaltung der Viren unterschied sich deutlich unter den getesteten Rucksäcken während der Einfahrphase, von mehreren Log₁₀-Stufen bis zu teilweise kritischen Werten von weniger als einer Log₁₀-Stufe. Daher sollte das Wasser in der Einfahrphase aus virologischer Sicht verworfen werden. Die empfohlene Spülung vor Inbetriebnahme, die in diesen Experimentalreihen ausgesetzt wurde, ist daher wichtig und sollte eingehalten werden.

Nach der Einfahrphase lag die **minimale** Elimination von Bakterien bei **3-4 Log₁₀-Stufen** (3.1.2, 3.2.3) und von Viren bei etwa **2 Log₁₀-Stufen** (Abbildung 22, 23). Dabei wurden für die Bakteriophagen erheblich höhere Schwankungen in den Messwerten als bei den Bakterien festgestellt. Die Rückhaltungen lagen für PhiX174 im Bereich von 2 – 6 Log₁₀-Stufen, für MS2 im Bereich von 3 bis größer 7 Log₁₀-Stufen. Für die Adenoviren (hAdV) lag die Rückhaltung in der Größenordnung zwischen 4 bis 5 Log₁₀-Stufen.

Es wurde beobachtet, dass eine rückseitige Verkeimung der Filtermembran zu einer erhöhten Koloniezahlen im Ablauf führte. Dies kann ein gesundheitliches Risiko darstellen,

das jedoch mit den vorliegenden Ergebnissen nicht quantifizierbar ist. Die Durchführung einer chemischen Desinfektion des Membransystems mit einer hohen Hypochloritkonzentration zur Absenkung der Koloniezahl führte zu einer kurzfristigen und nicht nachhaltigen Verbesserung.

Die jeweiligen Durchflussleistungen der getesteten Membranfiltrationssysteme waren mit durchschnittlich $0,7 \text{ m}^3/\text{Tag}$ und $1,8 \text{ m}^3/\text{Tag}$ für eine Notversorgung von kleinen Gruppen ausreichend. Ein funktioneller Einsatz über einen längeren Zeitraum ist durchaus realistisch. Die Untersuchungszeit der beiden getesteten Einheiten betrug bei überwiegend kontinuierlichem Betrieb 191 Tage und 400 Tage. Dabei wurden 110 m^3 bzw. über 400 m^3 Wasser gefiltert.

Insgesamt können die getesteten Filtrationseinheiten nach der Einfahrphase durch den Rückhalt von Bakterien und Viren sowie die relativ lange schwerkraftbetriebene Einsatzfähigkeit die gesundheitliche Situation von Kleingruppen in Notsituationen signifikant verbessern, sofern auch darauf geachtet wird, dass auf der Filtratseite bakterielle Rückkontaminationen weitestgehend verhindert werden.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1) Nachweisverfahren für Zielbakterien und Zielbakteriophagen	22
Tabelle 2) PCR-Zyklen	27
Tabelle 3) Übersicht über durchgeführte Experimente	35
Tabelle 4) Erste Desinfektionsmaßnahme	50
Tabelle 5) Erste Desinfektionsmaßnahme. Konzentration vom freien Chlor im Zu- und Ablauf nach einer Einwirkzeit von 15 h und anschließendem entleeren und spülen.	51
Tabelle 6) Übersicht der Ergebnisse. Werte der parallel betriebenen Wasserrucksäcke wurden gemittelt.	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1) Mikroskopische Aufnahmen eines Biofilms (FISH) von <i>E. coli</i> A3; Vergrößerung 1000 x (Quelle: UBA, RÖDER).....	14
Abbildung 2) Mikroskopische Aufnahmen eines Biofilms (FISH) von <i>Enterococcus faecium</i> Teltow11; Vergrößerung 400 x (Quelle: UBA, RÖDER).....	14
Abbildung 3) Modell des Bakteriophagen MS2.....	15
Abbildung 4) Modell des Bakteriophagen PhiX174.....	16
Abbildung 5) Humanes Adenovirus Serotyp 5.....	16
Abbildung 6) Mit Glaswolle gepackte Säulen (Quelle: UBA, FROHNERT).....	24
Abbildung 7) Filtration einer Wasserprobe über Glaswolle (Quelle: UBA, FROHNERT).....	25
Abbildung 8) qPCR Delta Rn vs. Cycle. Grüne waagerechte Linie markiert den Ct-Grenzwert (Threshold) (Quelle: UBA, SÜßENBACH).....	28
Abbildung 9) Abwassersiebanlage auf dem UBA-Versuchsfeld am Standort Berlin-Marienfelde. <i>Bildmitte</i> : Trommelsiebanlag; <i>Hintergrund</i> : Abwasserzuleitungen, PAUL C und PAUL D (Quelle: UBA, GRUNERT).....	29
Abbildung 10) Grundriss der Speicherteichanlage. <i>Rechts</i> : Speicherteich, <i>links</i> : Die vier Infiltrationsbecken. <i>Schraffierte Flächen</i> : Geschlossene Becken, <i>ohne Schraffur</i> : Nach unten offene Becken (Quelle: UBA).....	30
Abbildung 11) Freilandexperiment auf dem Versuchsaufbau Marienfelde (PAUL A u. B). Betrieb mit ca. 99 % Oberflächenwasser und ca. 1 % Abwasser. <i>Links</i> : Rückseite mit Zulauf, Wasserzähler, Mischvorlagewanne, Dosierpumpen. <i>Rechts</i> : Vorderseite mit Ablauf, Mischvorlagewanne (Quelle: UBA, MUDRA).....	31
Abbildung 12) Freilandexperiment auf dem Versuchsaufbau Marienfelde (PAUL C u. D). Betrieb mit ca. 98,6 % Oberflächenwasser und ca. 1,4 % Abwasser (Quelle: UBA, MUDRA).....	31
Abbildung 13) Laborversuche mit Trinkwasser (PAUL C und F) und künstlich zugegebenen Bakterien und Viren (Quelle: UBA, FROHNERT, GRUNERT).....	32
Abbildung 14) Seitenansicht PAUL mit ausgeliterten Füllstandsmarkierungen.....	34
Abbildung 15) Durchfluss der im Freiland aufgestellten Wasserrucksäcke (PAUL A und B).....	37
Abbildung 16) Rückhalt von <i>E. coli</i> . Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.....	37
Abbildung 17) Rückhalt von Enterokokken. Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.....	38
Abbildung 18) Rückhalt von somatischen Bakteriophagen. Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.....	39

Abbildung 19) Rückhalt von F ⁺ -spezifischen Bakteriophagen. Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.	40
Abbildung 20) Rückhalt von hAdV (PAUL A und B). Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser. GW-Werte sind aufgrund der Wiederfindungsrate von 10 % um eine Log10-Stufe niedriger zu betrachten (2.4.1).....	41
Abbildung 21) Durchfluss der im Labor und im Freiland betriebenen Wasserrucksäcke (PAUL C und D).	42
Abbildung 22) Rückhalt vom Bakteriophagen PhiX174. Versuche mit Trinkwasser und künstlich dosierten Viren. <i>Braun</i> : Wasserzusammensetzung für letzten Messwert von PAUL C und D: Ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser. <i>Leere Symbole</i> : Ablaufwert unterhalb der Nachweisgrenze.	43
Abbildung 23) Rückhalt vom Bakteriophagen MS2. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren. <i>Braun</i> : Wasserzusammensetzung für letzten Messwert von PAUL C/D ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser.	44
Abbildung 24) Rückhalt von hAdV2. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren. <i>Braun</i> : Wasserzusammensetzung für letzten Messwert von PAUL C und PAUL D wurde mit ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser durchgeführt. GW-Werte sind aufgrund der Wiederfindungsrate von 10 % um eine Log10-Stufe niedriger als dargestellt (2.4.1).....	45
Abbildung 25) Rückhalt von <i>E. coli</i> . Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Bakterien.	46
Abbildung 26) Rückhalt von <i>Enterococcus faecium</i> . Versuche mit Trinkwasser und künstlich dosierten Bakterien.	46
Abbildung 27) Rückhalt vom Bakteriophagen PhiX174 nach Inbetriebnahme. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren.....	47
Abbildung 28) Rückhaltung des Bakteriophagen MS2 nach Inbetriebnahme. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren.....	48
Abbildung 29) Rückhalt von hAdV2 zwischen einem Durchfluss. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren. <i>Leere Symbole</i> liegen unterhalb der Nachweisgrenze.	48
Abbildung 30) Quantitativer Nachweis von kultivierbaren Mikroorganismen im Ablauf (Koloniezahl DEV 20 °C, 36 °C; ISO 20 °C, 36 °C).	49
Abbildung 31) Zweite Desinfektion der Wasserrucksäcke mit Natriumhypochloritlösung. <i>Links, Aufsicht</i> : Organische Deckschicht nach 12 Tagen Betriebszeit mit Abwasser und Oberflächenwasser; <i>rechts, Aufsicht</i> : Membranmodul nach der Desinfektion. <i>Reife Deckschicht nicht im vorliegenden Bericht dargestellt</i>	52
Abbildung 32) Erste Desinfektion: Gesamtzellzahl vor und nach Desinfektion mit Hypochlorit. 130 g (60 g + 40 g + 30 g) freies Chlor Ablauf max. 830 mg/l (gelblich trüb) Nach 24 h Einwirkung und 30 l Ablauf 1 mg/l Cl ₂ . <i>Symbol</i> : „<“. Wert unterhalb der NWG.	53

Abbildung 33) Nachgewiesene Schimmelpilze (Penicillium). <i>Links</i> : Koloniebildung auf Agarplatte; <i>rechts</i> : einzelne Kolonie.....	53
Abbildung 34) zweite Desinfektion. Gesamtzellzahl vor und nach Desinfektion mit Hypochlorit. 1 x 50 g freies Chlor Ablauf max. 80 mg/l (gelblich trüb) Nach 24 h Einwirkung und 50 l Ablauf 0,1 mg/l Cl ₂	54
Abbildung 35) Tracerversuche mit Natriumchlorit. Bestimmung der Leitfähigkeit über einen Ablauf von 50 Litern.	55
Abbildung 36) Beobachtete Defekte. <i>Oben links</i> : Ausbeulung des Gehäuses. <i>PAUL A</i> : Abgebrochener Membranablauf. <i>PAUL B</i> : Riss am Schlauch an der Befestigung Ablaufhahn. <i>PAUL C</i> : Riss im Schlauch an der Befestigung Ablaufhahn. <i>PAUL D</i> : Abgerissener Schlauch.	56

Abkürzungsverzeichnis

ATCC	<i>American Type Culture Collection</i>
CFU	<i>Colony Forming Units</i> (Kolonie bildende Einheiten, KBE)
DEPC	Diethyldicarbonat
DEV	Deutsche Einheitsverfahren
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DOC	dissolved organic carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
c.	<i>copies</i> , Kopien, Genomkopien
DSMZ	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
E.c.	<i>Escherichia coli</i>
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EN	Europäische Normung
FAM	6-FAM-phosphoramidit
FISH	Fluoreszenz- <i>in-situ</i> -Hybridisierung
GW	Glaswollefiltration
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
I.E.	<i>Intestinale Enterokokken</i>
ISO	Internationale Organisation für Normung
LRV	<i>Log Reduction Value</i> [Log ₁₀ -Stufen] (log. Reduktionswert)
MPN	Most Probable Number („Wahrscheinlichste Anzahl“)
NWG	Nachweisgrenze
NCTC	Health Protection Agency Culture Collections, Health Protection Agency, Centre for Emergency Preparedness and Response, Porton Down, Salisbury, SP4 0JG (UK)
NTC	<i>non template control</i>
PCR	<i>Polymerase-Kettenreaktion</i> (eng. <i>Polymerase Chain Reaction</i>)
PFU	plaque bildende Einheiten (eng. <i>plaque forming unit</i>)
ROX	X-Rhodamin
ssDNA	<i>single-stranded</i> (einzelsträngige) Desoxiribonukleinsäure
ssRNA(+)	<i>single-stranded</i> (einzelsträngige) Ribonukleinsäure mit positiver Polarität
TAMRA	Tetramethylrhodamin
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (eng. total organic carbon)
TYGA	Trypton-Hefeextrakt-Glucose-Agar
TYGB	Trypton-Hefeextrakt-Glucose-Bouillon

1 Einleitung

Der Zugang zu sauberem Wasser ist überlebenswichtig. Im Katastrophenfall z.B. nach Erdbeben oder Überflutungen, in dem die öffentliche Versorgung mit Trinkwasser zusammengebrochen ist und die Wasserressourcen von kleinen Siedlungen und Eigenversorgungen verschmutzt sind, hat die Wiederherstellung vom Zugang zu Trinkwasser eine hohe Priorität. Nationale und internationale Maßnahmen für den (Wieder-)Aufbau der Wasserversorgung fokussieren häufig auf Orte mit einer hohen Bevölkerungsdichte. Kleine Personengruppen z.B. im Hinterland werden vielfach nicht oder erst nach langer Zeit (Monate) von diesen Maßnahmen wirksam erreicht. Bis dahin wird häufig fäkal kontaminiertes Oberflächenwasser zum Trinken verwendet. Durch Abschwemmung, direkte Kontamination sowie Einleitung von ungeklärtem Abwasser werden die Fäkalien in erheblicher Konzentration in die Oberflächengewässer eingetragen.

1.1 Epidemische Bedeutung von humanpathogenen Viren im Trinkwasser nach Katastrophenereignissen

In der Praxis wird bei einer Reduzierung der Konzentration der Bakterien und Viren um 99,99 % von einer ausreichenden Desinfektion ausgegangen. Dies kann sich jedoch in einzelnen Fällen, wie z. B. hochgradig belastetem Wasser, als unzureichend herausstellen (HOFMANN *et al.*, 2004). In Katastrophensituationen, in denen keine funktionierende Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung vorhanden sind, können Oberflächenwässer mit etwa Abwasser verunreinigt sein. Konzentrationen von etwa 1% Abwasser im zu reinigenden Wasser sind daher durchaus realistisch. Bei starken fäkalen Kontaminationen im Oberflächenwasser befinden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit Krankheitserreger im Wasser, die zu einer akuten gesundheitlichen Gefährdung, z.B. nach einer oralen oder inhalativen Aufnahme, führen können. Als humanpathogene wasserbürtige Viren mit besonderer Relevanz sind dabei Rotaviren, Noroviren, Adenoviren, die Hepatitis-A und -E Viren sowie Enteroviren, wie z.B. Polioviren oder Coxsackieviren, zu nennen.

1.2 Methoden zur Entfernung/Unschädlichmachung von Krankheitserregern in kontaminierten Oberflächenwässern im Katastrophenfall

Robert Koch führte Erkrankungen und Epidemien Ende des 19. Jahrhunderts auf verunreinigtes Trinkwasser zurückgeführt. Er erkannte als Maßnahme zur Entkeimung des Wassers die Langsandsandfiltration (IHU, 2009).

In Notsituationen werden für die Wasseraufbereitung und Wasserdesinfektion schnell zur Verfügung stehende Maßnahmen mit hoher Effektivität benötigt.

Sogenannte Chlortabletten (Wirkstoffe u.a. Natriumdichlorisocyanurat oder Natriumdichlorisocyanuratdihydrat) zum Auflösen im Wasser werden häufig für die Desinfektion von Wasser verwendet (UMWELTBUNDESAMT, 2012).

Mobile Anlagen im technischen Maßstab, in denen große Mengen Trinkwasser produziert werden und in denen mehrere Aufbereitungsverfahren kombiniert werden, sind aus Sicht der hygienischen Wasserqualität zu bevorzugen. In Verbindung mit dem Einsatz von Tankfahrzeugen kann der Wirkungsbereich solcher Wasserversorgungsanlagen erweitert werden. Ist hingegen die Verkehrsinfrastruktur nach einem Katastrophenereignis kaum nutzbar, sind Tankfahrzeuge nur eingeschränkt einsetzbar. Auch andere Voraussetzungen (z.B. Sicherheitsaspekte) für die Nutzung von Tankfahrzeugen müssen erfüllt sein. Zudem entstehen hohe Transportkosten.

1.3 Portable Aqua Unit for Lifesaving (PAUL)

Mit der im F&E-Vorhaben untersuchten Wasseraufbereitungseinheit soll eine schnelle Eliminierung von Krankheitserregern aus Oberflächenwasser erreicht werden. Diese zum Transport als Rucksack konstruierte *Portable Aqua Unit for Lifesaving* kurz PAUL dient der Versorgung mit trinkbarem Wasser aus Oberflächengewässern für kleine Gruppen in Notsituationen ohne Fremdenergie. Dieses System besteht aus einer Membran, die in ein Gehäuse, der als Rucksack dient, integriert ist. Die Membran hat eine Oberfläche von 9,5 m² und eine Porenweite von 20 – 100 nm (flat sheet Orientierung). Die Membran ist zu einem Modul aus 50 Trägerplatten zusammengefasst (Abstand 3,5 mm). Die Verwendung ist einfach und selbsterklärend. Oberflächenwasser wird oben in den Rucksack gegossen und an einem Ablaufhahn wird das gefilterte Wasser entnommen (*Dead-End-Filtration*).

Der erste Wasserrucksack ist im Jahr 2002 gebaut und seitdem stetig weiterentwickelt worden. Bisher wurden ca. 900 (Stand August 2013) PAULs eingesetzt. Wie viele dieser Systeme derzeit betrieben werden ist nicht bekannt. Etwa 30 Hilfsorganisationen haben in der Vergangenheit PAUL eingesetzt. Die Einheit soll nach Herstellerangaben einen mehrjährigen Betrieb ermöglichen.

Durch den mobilen Einsatz von PAUL sollen kleine Gruppen von wenigen hundert Personen eine Möglichkeit der Wasseraufbereitung mit dem Zweck der Reduktion von Krankheitserregern aus Oberflächenwasser erhalten, um somit einer Infektion wasserbürtiger Erkrankungen vorzubeugen.

1.4 Verwendete Indikatorbakterien und Viren

Durch unzureichend sauberes Trinkwasser können humanpathogene Bakterien, Viren und parasitäre Protozoen übertragen werden. Ist eine Wasserressource durch Fäkalien kontaminiert, kann mit einem Vorkommen verschiedener Krankheitserreger gerechnet werden. Für eine Abschätzung von Infektionsrisiken können in der Praxis nicht alle infrage kommenden Krankheitserreger im Wasser analysiert werden. Werden jedoch bestimmte Indikatororganismen und Indikatorviren im Rohwasser und im filtrierten Wasser quantitativ bestimmt, so kann anhand der gemessenen Konzentrationen der Indikatoren näherungsweise ein Infektionsrisiko für den Gebrauch des Wassers abgeleitet werden. Das Indikatorprinzip wird auch bei der Bestimmung der Wirksamkeit von Verfahren für die mikrobiologische Wasseraufbereitung angewendet.

Im vorliegenden F&E-Vorhaben wurden als Indikatoren Viren aus drei Virusfamilien (ein DNA-Bakteriophage, ein RNA-Bakteriophage und ein humanpathogenes DNA-Virus (Adenovirus) sowie zwei Bakterienstämme (*Escherichia coli* und *Enterococcus faecium*) verwendet. Bakteriophagen sind Viren die Bakterien infizieren. Die Verwendung von Bakteriophagen als Indikatoren ist vorteilhaft, da sie zum einen dieselben chemisch-physikalischen Eigenschaften haben wie humanpathogene Viren (GRABOW *et al*, 1983), für den Menschen jedoch nicht infektiös sind, und sich im Labor vergleichsweise leicht vermehren und quantitativ nachweisen lassen.

Eine Auswahl der Indikatoren erfolgte nach einer möglichst umfassenden taxonomischen Breite, in Abwägung der zur Verfügung stehenden Nachweisverfahren sowie von pathogenen Eigenschaften.

Viren sind aufgrund ihrer geringen Größe im Gegensatz zu Bakterien nicht ausreichend filterbar und werden durch Membranen weniger gut zurückgehalten. Die Größen der verwendeten Viren und Bakterien unterscheiden sich etwa um den Faktor 50. Darüber hinaus haben Viren keinen eigenen Stoffwechsel, vermehren sich in spezifischen Wirtszellen und werden nicht als Organismen im eigentlichen Sinn verstanden, sind aufgrund ihres infektiösen Potenzials aber von gesundheitlich hoher Relevanz.

Viren zeichnen sich außerdem durch eine hohe Adsorptionsfähigkeit aus. Obwohl sich Viren aufgrund ihrer geringen Größe durch Filtrationsmembranen meistens nicht effizient zurückhalten lassen, können sich aus vielen Viruspartikeln Aggregate bilden, die wiederum den Rückhalt von Viren an der Oberfläche von Filtern und Membranen begünstigen.

Die Versuche zur Aufbereitungsleistung des Membransystems PAUL (1.3) wurden mit den nachfolgend beschriebenen Indikatorbakterien und Viren durchgeführt.

1.4.1 Escherichia coli

Die verwendeten Bakterien *Escherichia coli* (*E. coli*) und *Enterococcus faecium* (Gattung *Enterococcus*) werden seit langem als Indikatororganismen für fäkale Verunreinigungen von Trinkwasser eingesetzt (Grenzwert in der TrinkwV 2001 jeweils: 0/100ml).

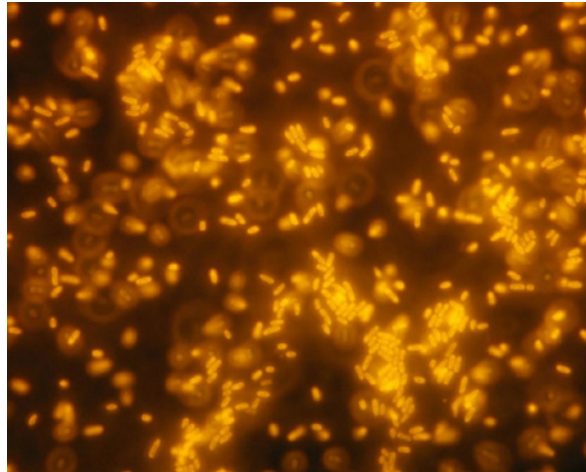


Abbildung 1) Mikroskopische Aufnahmen eines Biofilms (FISH) von *E. coli* A3; Vergrößerung 1000 x (Quelle: UBA, RÖDER)

E. coli ist gram-negativ und hat die Form gerader, zylindrischer Stäbchen mit runden Enden (Abbildung 1). Das Bakterium hat ein Durchmesser von 1,1 μm – 1,5 μm und ist 2,0 μm – 6,0 μm lang. *E. coli* kommt einzeln oder paarweise vor.

1.4.2 Enterokokken

Enterococcus faecium ist ein kugelförmiges gram-positives Bakterium. Es kommt in Paaren oder kurzen Ketten vor und hat eine Größe von 0,6 - 2,5 μm (Abbildung 2).

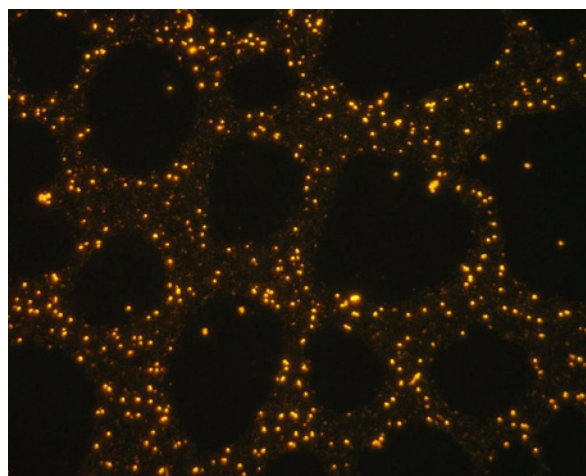


Abbildung 2) Mikroskopische Aufnahmen eines Biofilms (FISH) von *Enterococcus faecium* Teltow11; Vergrößerung 400 x (Quelle: UBA, RÖDER)

1.4.3 F-spezifische Bakteriophagen

Diese Gruppe der F-spezifischen Bakteriophagen infiziert gramnegative Bakterien wie *E. coli*, die ein sogenanntes F-Plasmid oder F-Faktor besitzen.

Der Bakteriophage MS2 gehört zur Familie der *Leviviridae*, sein Capsid ist ikosaedrisch strukturiert und trägt eine einzelsträngige RNA (ssRNA(+)-Viren) als Erbinformation (Abbildung 3). Die Größe des Genoms liegt im Bereich von 4000 Basen. Wirte dieser Viren sind Bakterien des Phylums *Proteobacteria*. Sein Durchmesser beträgt etwa 26 nm.

Das Virus kann als Indikator für mögliche Kontaminationen mit humanpathogenen Enteroviren angesehen werden, da er fast ausschließlich in den Fäkalien von Warmblütern vorkommt und humanen Enteroviren sehr ähnlich ist (GRABOW, 2001). Der Bakteriophage MS2 kann auch als Indikator für andere RNA-Viren, wie z.B. Noroviren, verwendet werden (BAE *et al.*, 2008).

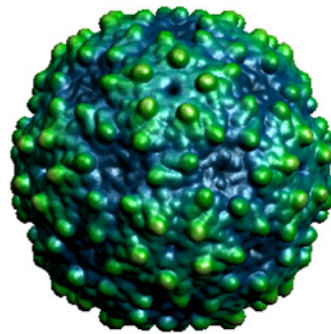


Abbildung 3) Modell des Bakteriophagen MS2

(Quelle: <http://viperdb.scripps.edu>, CARRILLO-TRIPP)

1.4.4 Somatische Bakteriophagen

Somatische Bakteriophagen besitzen überwiegend DNA als Genom und infizieren gramnegative Bakterien des Phylums *Proteobacteria* wie z.B. *E. coli* (HUISKONEN *et al.*, 2007).

Der bekannte Vertreter dieser Gruppe Phi174 gehört zu den *Microviridae*, einer Familie mit einzelsträngiger DNA (ssDNA-Viren). Das Genom hat eine Größe von etwa 5200 Basenpaaren. Bei der Infektion einer Wirtszelle bindet das Virus an einen membranständigen Lipopolysaccharidrezeptor (MICHEL *et al.*, 2010). Sein Durchmesser beträgt ungefähr 26 nm (Abbildung 4).

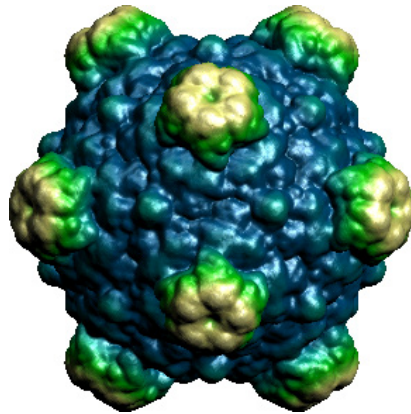


Abbildung 4) Modell des Bakteriophagen PhiX174

(Quelle: <http://viperdb.scripps.edu>, CARRILLO-TRIPP)

1.4.5 Humane Adenoviren

Adenoviren gehören zur Familie der *Adenoviridae*. Sie sind ikosaedrisch strukturiert und besitzen Fiberproteine (Spikes). Als Träger der Erbsubstanz besitzen sie eine linear doppelsträngige DNA (dsDNA) mit einer Größe von 36 – 39 kb, deren Enden durch ein DNA-bindendes Protein quasizirkulär zusammengehalten werden (MODROW *et al.*, 2003). Ihr Durchmesser beträgt ~70 – 90 nm (KENNEDY and PARKS, 2009) (Abbildung 5).

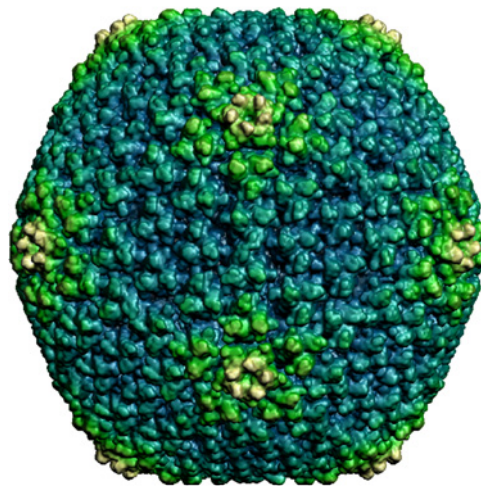


Abbildung 5) Humanes Adenovirus Serotyp 5

(Quelle: <http://viperdb.scripps.edu>, CARRILLO-TRIPP)

Man unterscheidet 6 Spezies (Spezies A-F) der humanen Adenoviren (hAdV) mit insgesamt mehr als 50 Serotypen. Je nach Subtyp können sie verschiedene Erkrankungen hervorrufen. Am häufigsten treten im Zusammenhang mit Adenovirusinfektionen die Keratoconjunctivitis epidemica (Augenentzündung) und die Gastroenteritis (Subtyp: F40, F41) auf, aber auch Atemwegserkrankungen sind nicht selten (FIELDS *et al.*, 1996; HUNTER, 1997).

1.5 DALY-Konzept

Das DALY-Konzept zielt darauf ab, verschiedenste gesundheitliche Beeinträchtigungen miteinander vergleichbar zu machen, indem jede Beeinträchtigung je nach Schwere und Dauer als Zahlenwert, nämlich als DALY (disability-adjusted life years) ausgedrückt wird (SCHMOLL *et al.*, 2012; WHO, 2011).

Um solch eine Quantifizierung zu ermöglichen, sind z. T. detaillierte epidemiologische Informationen nötig. Gibt es weiterhin ein gesellschaftlich akzeptiertes Gesundheitsziel von bspw. 10^{-6} DALY/a, kann mit weiteren Annahmen ein theoretisches Wasserqualitätsziel ermittelt werden. Im Fall eines Krankheitserregers wie dem Rotavirus errechnet sich unter den Annahmen eines hohem angestrebten Gesundheitsziels von 10^{-6} DALY pro Person und Jahr, einer Krankheitslast von 0,014 DALY pro Infektion, einer empfänglichen Bevölkerung von 6 % mit einem Erkrankungsrisiko von 50 % nach Infektion und einer Infektionswahrscheinlichkeit von 0,59 pro Erreger und einem Trinkwasserkonsum von 1 l/d ein theoretisches Wasserqualitätsziel von $1,1 \cdot 10^{-5}$ Erreger/l (SCHMOLL *et al.*, 2012).

Unter den genannten Annahmen wären also je nach Rohwasserbelastung ein Aufbereitungsverfahren mit sehr hoher Eliminationsleistung nötig, um das gewünschte Gesundheitsziel zu erreichen: bei einer Rohwasserkonzentration von 10 Rotaviren pro Liter müsste die Wasseraufbereitung z.B. eine Elimination von knapp 6 Log_{10} -Stufen gewährleisten.

Im Katastrophenfall kann auch eine geringere Elimination bereits zu einer deutlichen Reduzierung wasserbedingter Erkrankungen führen.

1.6 Ziel der F&E-Kooperation

Langzeituntersuchung über den Rückhalt von Viren durch ein Schwerkraft betriebenes Membranfiltersystem für Kleingruppen in Notsituationen.

Im Verlauf des Projektes erfolgte eine Erweiterung der Zielstellung auf den Rückhalt von Viren und Bakterien speziell nach Inbetriebnahme des Systems sowie um die Bestimmung der bakteriellen Koloniezahl im abgegebenen Wasser.

1.6.1 Abgrenzung zu anderen Fragestellungen

Fragestellungen über die wirtschaftliche Einsatzfähigkeit sind nicht Gegenstand der vorliegenden F&E-Kooperation. Auch über die Zweckmäßigkeit entsprechend dem praktischen Einsatz des Wasserrucksacks vor Ort, können keine Aussagen getroffen werden. Die vorliegenden durchgeführten Versuche orientieren sich an einem bestimmungsgemäßen Einsatz. Aufgrund der Zielstellung soll eine allgemeine Einschätzung der Reduzierung des gesundheitlichen Infektionsrisikos wasserbürtiger

Erreger durch den Einsatz des verwendeten Membransystems getroffen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Einschätzung nicht mit Ergebnissen umfangreicher epidemiologischer Studien gleichgesetzt werden kann und daher nur einen orientierenden Charakter aufweist.

1.7 Vorgehen Projektablauf

Die Leistungsfähigkeit des Rückhalts wurde durch die Differenz der dosierten und abgegebenen Indikatororganismen bzw. –viren im Wasser bestimmt. Zusätzlich wurde die Koloniezahl im filtrierten Wasser ermittelt.

Es kamen sechs Wasserrucksäcke zum Einsatz, diese wurden paarweise parallel in unterschiedlichen Versuchsanordnungen betrieben. Eine tabellarische Übersicht über die durchgeführten Experimente befindet sich in der Einführung vom Ergebnisteil (Tabelle 3, Seite 35).

1.7.1 Freilandversuch mit Abwasser kontaminiertem Oberflächenwasser

Oberflächenwasser aus dem nahegelegenen Speicherteich wurde mit ca. 1 % Abwasser (2.5.1) verschnitten. Die im Abwasser befindliche Konzentration der getesteten Adenoviren und Bakteriophagen wurde bestimmt. Aufgrund der geringen Konzentrationen der Adenoviren und Bakteriophagen im Wasser konnte der Rückhalt bedingt durch die Nachweisverfahren nur in einem kleinen Bereich gemessen werden. Um für den quantitativen Nachweis von Adenoviren den Bestimmungsbereich zu vergrößern, wurde ein Probevolumen von 10 Liter in 10 ml durch Glaswollefiltration konzentriert (2.4.1).

1.7.2 Laboruntersuchung mit künstlich zugegebenen Indikatorbakterien und Surrogatviren

Die Versuchsreihe wurde im Labor der Sicherheitsstufe¹ 2 (S2) mit Trinkwasser durchgeführt. Dem Wasser wurden Bakteriophagen und Adenoviren in hohen Konzentrationen vor der Aufbereitung künstlich hinzugefügt (*Spike-Experiment*). Dadurch kann ein großer Reduktionsbereich der Bakterien und Viren untersucht werden.

1.7.3 Laboruntersuchung über den Rückhalt von Viren direkt nach Inbetriebnahme

Auf Membranen bildet sich während des Betriebs eine Deckschicht. Diese kann durch Adsorptionsvorgänge den Rückhalt von Viren erhöhen (SHIRASAKI *et al.*, 2008). Demnach

¹ Sicherheitsstufe nach Biostoffverordnung „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen“

kann bei Inbetriebnahme ein erhöhtes Risiko eines noch nicht weitgehenden Rückhalts von Viren bestehen. Daher wurden die ersten zwei Betriebstage in einem Versuch genauer analysiert.

1.7.4 Risiken durch bakterielle Belastung im aufbereiteten Wasser

Filtratseitig kann es zu einer Verkeimung von Membranen kommen. Diese Verkeimung der Membranoberfläche kann zu hygienischen Risiken führen. Durch die Bestimmung der Koloniezahl im abgegebenen Wasser wird eine Einschätzung vom bestehenden hygienischem Risiko erleichtert.

1.7.5 Desinfektion

Um ein verkeimtes System in einen einwandfreien hygienischen Zustand zu überführen, kann eine chemische Desinfektion durchgeführt werden. Häufig eingesetzte Wirkstoffe sind Natrium- oder Calciumhypochloritlösung (Chlor), Chlorgas und Chlordioxid. Für die Desinfektionsversuche im vorliegenden F&E-Vorhaben wurde Natriumhypochlorit-Lösung verwendet.

2 Material und Methoden

2.1 Übersicht der verwendeten Indikatorbakterien und Viren

Folgende Bakterien und Viren wurden als Indikatoren für Spike-Experimente verwendet:

- *Escherichia coli* A3 wurde am Institut für Umweltmikrobiologie der Technischen Universität Berlin aus einem Oberflächengewässer isoliert und weist eine vergleichsweise lange Überlebensdauer in Wasser auf.
- *Enterococcus faecium* Teltow11 wurde aus dem Teltowkanal (Berlin) isoliert und gehört zur Familie *Enterococcaceae* (*Firmicutes*).
- Bakteriophage MS2 (DSM 13767)
- Bakteriophage PhiX174 (DSM 4497 oder ATCC 13706-B1)
- humane Adenoviren der Serotypen 2 (ATCC VR-846, Spezies C)

Wirtsbakterien für Bakteriophagen und Adenoviren

Zur Vermehrung des Bakteriophagen MS2 wurde als Wirtstamm das Bakterium *Salmonella typhimurium* WG49 (NCTC 12484) verwendet.

Zur Vermehrung des Bakteriophagen PhiX174 wurde als Wirtstamm der *E. coli* Stamm CN (ATCC 700078) verwendet.

Zur Vermehrung des humanen Adenovirus Serotyp 2 wurden HEK 293-Zellen (DSMZ Nr.: ACC 305) verwendet.

2.2 Herstellung der Indikatorbakterien und Viren

Für die Spike-Experimente im Labor wurden Bakterien angezüchtet und in hohen Konzentrationen verwendet.

2.2.1 Herstellung der Bakteriensuspension

Escherichia coli A3

Auf Agar-Platten gewachsene Kultur wurde geerntet und zur Beimpfung von 100 ml Lactose-Pepton-Bouillon verwendet. Die angeimpfte Kultur wurde 20 h \pm 4 h bei 36 °C \pm 2 °C bebrütet.

Enterococcus faecium Teltow 11

Die auf Agar-Platten gewachsene Kultur wurde zur Beimpfung von 100 ml Glucose-Bouillon verwendet. Die Kultur wurde 20 h \pm 4 h bei 36 °C \pm 2 °C bebrütet.

2.2.2 Herstellung der Bakteriophagensuspension

Zur Herstellung des **MS2**-Bakteriophagenlysats (Bakteriophagensuspension) wurde der Wirtstamm *Salmonella typhimurium* WG49 (2.1) 15 h \pm 2 h im Thermoschüttler (80 rpm, 20 h \pm 4 h, 36 °C \pm 2 °C) kultiviert. Als Flüssigmedium wurde TYGB verwendet.

Aus einer Stamm-Phagensuspension wurden Phagen hinzugegeben, sodass eine Endkonzentration an plaquebildenden Einheiten (pfu) von ca. 10^6 - 10^8 / ml erreicht wurde. Im Anschluss wurde die Suspension bebrütet. Anschließend wurde Chloroform unterm Abzug hinzugegeben und gut eingemischt. Nach dem Verschließen wurde der Kolben für mehrere Stunden. Die wässrige Phase wurde in ein Röhrchen übertragen und zentrifugiert. Der Überstand wurde vorsichtig abpipettiert.

Der Titer wurde bestimmt. (2.3). Das hergestellte Bakteriophagenlysat (Konzentration bis zu 10^{12} /ml) wurde bis zum Versuch bei 5 °C \pm 3 °C bis zu 28 Tage aufbewahrt oder in Portionen von 5 ml in Kryoröhrchen bei -80 °C \pm 10 °C eingefroren.

Das Verfahren zur Herstellung des DNA-Bakteriophagen **PhiX174** war prinzipiell identisch mit dem des RNA-Bakteriophagen MS2. Unterschiede lagen im verwendeten Wirtsbakterium *E. coli* CN (2.1), für den als flüssiges Nährmedium MSB verwendet wurde. Zudem lag die einzustellende Endkonzentration der Stamm-Phagensuspension für die Lyse der angezüchteten Wirtsbakterien um etwa 2 Log-Stufen höher (10^8 - 10^{10} / ml).

2.2.3 Herstellung der Adenoviren Suspension

Zur Vermehrung humanpathogener Adenoviren wurden HEK 293-Zellen infiziert. Die infizierte Kultur wurde der Wachstumscharakteristik nach 2 - 5 Tagen geerntet und in 50 ml Zentrifugationsröhrchen vereint.

Für eine erste grobe Luftreinigung der Viren aus den Zellkulturüberständen wurden gesammelte Suspensionen bei -80 °C dreimal eingefroren und wieder aufgetaut. Damit wurden durch Gefrierbruch auch die noch in den Zellen gefangenen Viren freigesetzt. Die Suspensionen wurden anschließend zentrifugiert. Die Zentrifugationsüberstände wurden bei -80 °C aufbewahrt. Nach der Nukleinsäureextraktion (2.4.2) wurden die Konzentrationen der Virensuspensionen mittels quantitativer PCR (qPCR) bestimmt.

2.3 Nachweisverfahren für Zielbakterien und Zielbakteriophagen

Tabelle 1) Nachweisverfahren für Zielbakterien und Zielbakteriophagen

Zielbakterien /Zielbakteriophagen	Bezeichnung	Titel	Methode
Quantitativer Nachweis von kultivierbaren Mikroorganismen aus Wasserproben.	DIN EN ISO 6222:1999; 22 °C und 36 °C	Quantitative Bestimmung der kultivierbaren Mikroorganismen – Bestimmung der Koloniezahl durch Einimpfen in ein Nähragarmedium	Plattengussverfahren
	DEV (TrinkwV 1990); 20 °C und 36 °C	<i>Die Bestimmung erfolgt entsprechend DIN EN ISO 6222:1999 unter Verwendung von DEV-Agar</i>	Plattengussverfahren
<i>Escherichia coli</i>	DIN EN ISO 9308-3	Nachweis und Zählung von <i>Escherichia coli</i> und coliformen Bakterien in Oberflächenwässer und Abwasser - Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen von Flüssigmedien (MPN-Verfahren)	MPN-Verfahren
<i>Enterococcus faecium</i>	DIN EN ISO 7899-1	Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwässer und Abwasser - Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen von Flüssigmedien (MPN-Verfahren)	MPN-Verfahren
Bakteriophage MS2, F ⁺ -spezifische Bakteriophagen	DIN EN ISO 10705-1:2001	Nachweis und Zählung von Bakteriophagen - Teil 1: Zählung von F-spezifischen RNA-Bakteriophagen. 2002.	Plaque-Test
Bakteriophage PhiX174, somatische Bakteriophagen	DIN EN ISO 10705-2:2001	Nachweis und Zählung von Bakteriophagen Teil 2: Zählung von Somatischen Coliphagen	Plaque-Test

2.4 Nachweisverfahren für Adenoviren

Der quantitative Nachweis der Adenoviren erfolgte mittels quantitativer PCR (qPCR). Für die notwendige Nukleinsäureextraktion (2.4.2) wurde ein Verfahren auf Basis magnetischer Silicapartikel verwendet.

Da in den Freilandexperimenten die zugegebene Virenkonzentration in 1 % Abwasser verhältnismäßig gering war, konnte nur durch eine weitere vorherige Aufkonzentrierung eine ausreichende Differenz der Adenoviren zwischen Zu- und Ablauf gemessen werden. Dazu wurde ein Probenvolumen von 10 Litern auf 10 ml durch Glaswollefiltration konzentriert.

2.4.1 Aufkonzentrierung von Adenoviren mittels Glaswollefiltration

Die Aufkonzentrierung von Viren aus großen Probenvolumen (10 – 1000 l) mittels Glaswollefiltration geht auf VILAGINÉS *et al.* (1993) zurück. Seither wurde diese Technik auf vielfältige Weise eingesetzt (GANTZER *et al.*, 1998; WYN-JONES *et al.*, 2001; WYER *et al.*, 2012) und an die gestellten Anforderungen angepasst.

Die Konzentrierung von Viren basiert auf im Wasser enthaltenen Viren, die aufgrund von physikalischen und chemischen Wechselwirkungen an die Glaswolle adsorbieren.

Durch die Behandlung der Glaswolle mit Fleischextrakt-Glycin-Puffer (pH=9,5) desorbieren die Viren von der Glaswolleoberfläche. Die Viren werden anschließend zusammen mit den im Fleischextrakt enthaltenen Proteinen durch Senkung des pH-Wertes auf 3,0 gefällt und nach Zentrifugation in einem kleineren Volumen (10 ml) aufgenommen.

Wiederfindungsrate

Insgesamt wird die Probe theoretisch um einen Faktor 1000 von 10 L Ausgangsvolumen auf 10 ml eingeengt. Da die Aufkonzentrierung mit Glaswolle jedoch eine Wiederfindungsrate von nur etwa 10 % hat, handelt es sich bei den Messwerten um eine Unterschätzung der tatsächlichen Konzentrationen um ca. eine Log_{10} -Stufe. Entsprechend sind die berechneten LRVs mit angewendeter Glaswollefiltration um eine Log_{10} -Stufe überschätzt und müssen korrigiert werden. In den Abbildungen werden die „nicht korrigierten“ Werte angegeben, eine angemessene Betrachtung erfolgt im Begleittext.

Durchführung der Analyse

Vorbereitende Arbeiten-Filtersäulenvorbereitung

Die Säule wird befestigt und 10 g Glaswolle werden abgewogen und vorsichtig auseinandergezogen und in die Säule gleichmäßig verteilt gedrückt. Nun wird die Säule bis zu einer Höhe von 6-8 cm mit dem Stopfrohr gestopft (Abbildung 6). Die Bildung von Hohlräumen ist zu vermeiden. Die Säule wird aufrecht in einem Stativ festgeschraubt.

Anschließend wird die Glaswolle gewaschen.

Der pH-Wert des Säulenablaufs wird mit pH-Papier getestet. Er muss neutral sein (pH=7,0).



Abbildung 6) Mit Glaswolle gepackte Säulen (Quelle: UBA, FROHNERT)

Nach dem Durchlauf wird die Säule mit Wasser gefüllt und mit dem oberen Drehverschluss verschlossen (Säule darf nicht trocken stehen).

Durchführung

Die 10-Liter Wasserprobe im Kanister wird auf einen Magnetrührer gestellt. Der pH-Wert wird auf einen definierten sauren Bereich eingestellt.

Die Wasserprobe wird mithilfe einer Schlauchpumpe durch die Säule gepumpt (Abbildung 7).



Abbildung 7) Filtration einer Wasserprobe über Glaswolle (Quelle: UBA, FROHNERT)

Anschließend wird der Auslauf der Säule mit einer Schlauchklemme verschlossen.

Elution

Ein Volumen von 200 ml Fleischextrakt-Glycin-Puffer werden bei Raumtemperatur mit NaOH auf ein definiertes alkalisches Niveau eingestellt.

Der obere Schraubverschluss der Säule wird entfernt und der Fleischextrakt-Glycin-Puffer wird auf die Glaswolle gegossen. Die Schlauchklemme am unteren Schlauch wird geöffnet, bis die Glaswolle mit Fleischextrakt-Glycin-Puffer gesättigt ist. Die Klemme wird wieder geschlossen. Nach einer Inkubationszeit von > 10 min wird die Klemme leicht geöffnet, sodass das Eluat langsam definiert durchläuft.

Flockung

Durch langsames Einstellen des pH-Wertes vom Eluat mit Salzsäure auf ein saures Niveau wird die Fleischextraktlösung gefällt. Das geflockte Eluat wird bei 5000 U/min für 15 min zentrifugiert.

Rücklösung des Pellets

Der Überstand des zentrifugierten Eluats wird verworfen. Das Pellet wird in 8 ml PBS vom Boden des Zentrifugengefäßes gelöst (durch Auf- und Abpipettieren und/oder Vortexen). Anschließend wird auf 10 ml aufgefüllt. Proben werden bei Lagerung von mehr als einem Tag bei $-20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ eingefroren.

2.4.2 Nukleinsäureextraktion Adenoviren

Die Extraktion basiert auf der Methode nach BOOM *et al.* (1990). Sie ist besonders für größere Probevolumina (bis 5 ml) geeignet. Werden 5 ml Probe eingesetzt und in 100 µl eluiert, kann theoretisch eine Aufkonzentrierung der Nukleinsäuren von 50 : 1 erreicht werden.

Grundlage des Verfahrens ist die Bindung von Nukleinsäuren an magnetische Silicapartikel bei hoher Salzkonzentration (feste Phase). Andere Substanzen werden durch mehrere Waschschriffe entfernt. Aufgrund der Magnetisierung der Partikel wird deren Abtrennung aus den Puffern erleichtert. Im Anschluss an die Reinigung werden die Nukleinsäuren von der Festphase eluiert.

2.4.3 Quantitative Bestimmung (QPCR) der Adenoviren

Das Verfahren ermöglicht die Quantifizierung von Genomen der humanen Adenovirussubgruppen A, C, D, E, F nach Nukleinsäureextraktion mittels TaqMan-PCR (HERNROTH *et al.* 2002).

Grundlagen des Verfahrens

Wesentlicher Bestandteil des Verfahrens ist die TaqMan®-Sonde, deren Zielsequenz im Bereich des zu amplifizierenden DNA-Abschnitts liegt. Während der PCR wird die Sonde durch die 5', 3' Exonuklease-Aktivität der DNA-Polymerase hydrolysiert und setzt den fluoreszierenden Farbstoff FAM frei, der im TaqMan®-PCR-Cycler detektiert wird. Eine quantitative Bestimmung erfolgt über einen Standard, der die Leuchtstärke einer Probe einer Genomanzahl zuordnet. Der Standard wird aus seriellen Verdünnungen eines linearisierten Plasmids mit bekannter Kopienzahl hergestellt. Auf dem Plasmid befindet sich die Zielsequenz für Primer und Sonde.

Standards und Kontrollen

Da bei der Analyse von Umweltproben die PCR-Reaktion durch Inhibitoren beeinflusst werden kann, sind verschiedene Qualitätskontroll-Messungen notwendig, so dass die Anzahl der bei der PCR zu verwendenden Wells pro Probe variieren kann.

Es werden 15 µl des Mastermixes in die benötigten Wells einer 96-well-Platte vorgelegt.

Folgende Standards und Kontrollen werden benötigt:

- Der Standard wird aus seriellen Verdünnungen eines linearisierten Plasmids mit bekannter Kopienzahl hergestellt.
- Der Standard besteht aus einem Plasmid mit der Hexonregion von Adenovirus 41 und liegt in geeigneten Verdünnungsstufen bei -80 °C vor.

- Positivkontrolle: hAdV 2 (Zellkultur-Überstand, 10^{-5} verdünnt)
- NTC: DEPC - H₂O

Analyseaufbau der qPCR (Setup)

Die 96-well-Platte wird in folgender Reihenfolge beschickt:

- Standards von 10^6 c./10 μ l ... 10^1 c./10 μ l
- Standard 10^3 c./10 μ l (Interner Standard, siehe Pkt. 10.3)
- Positivkontrolle (hAdV 2)
- Proben (z.B. 12 Proben mit je 6 wells oder 9 Proben mit je 8 wells)

Beispiel der Beschickung der wells für die Analyse einer Probe :

- well 1) 15 μ l Master Mix, 5 μ l H₂O, 5 μ l Probe 1:10 verdünnt
- well 2) 15 μ l Master Mix, 5 μ l Standard Ad41 mit 10^3 c./10 μ l, 5 μ l Probe 1:10 verdünnt
- well 3+4) 15 μ l Master Mix, 10 μ l Probe unverdünnt
- well 5+6) 15 μ l Master Mix, 10 μ l Probe 1:10 verdünnt

PCR-Zyklen

Die PCR wird nach folgendem Schema durchgeführt:

Tabelle 2) PCR-Zyklen

Reaktion	Zeit	Temperatur
	2 min	50°C
	10 min	95°C
45 Zyklen	0,15 min	95°C
	1 min	60°C

Auswertung

Berechnung der Proben-Konzentration

In der verwendeten Software im *Amplification Plot* wird in der Darstellung „Delta Rn vs. Cycle“, in dem die Fluoreszenz des Reporterfarbstoffes FAM in Abhängigkeit der PCR-Zyklen dargestellt ist, wird der Ct-Grenzwert (Threshold) angepasst (Abbildung 8).

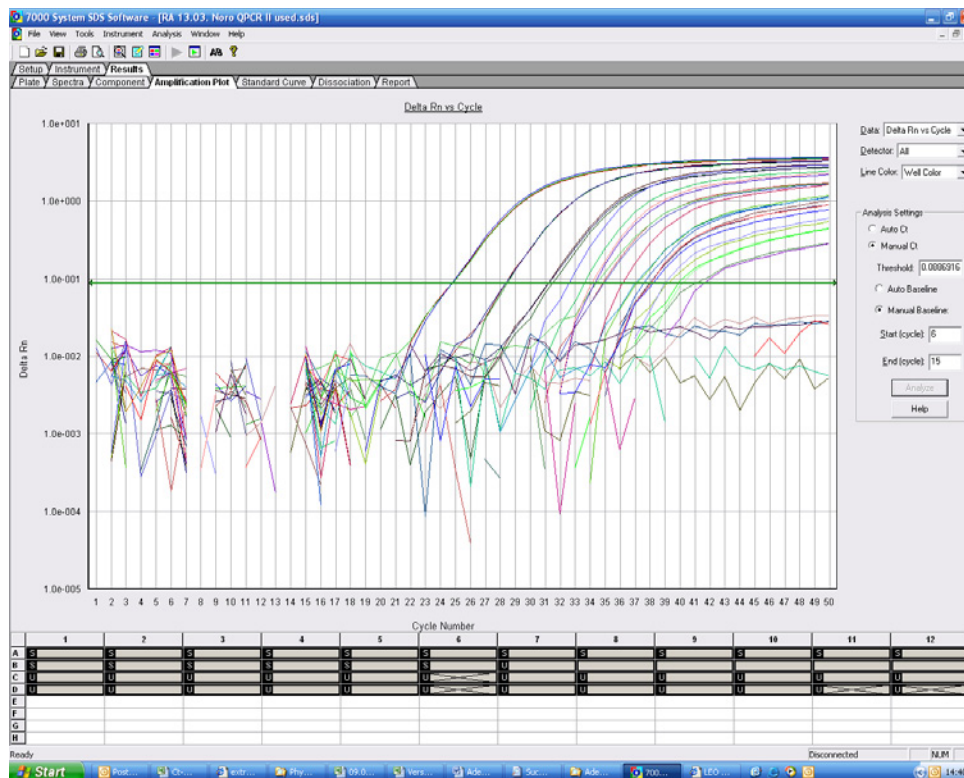


Abbildung 8) qPCR Delta Rn vs. Cycle. Grüne waagerechte Linie markiert den C_t -Grenzwert (Threshold) (Quelle: UBA, SÜßENBACH)

Der Verlauf der Standardkurve (eng. *slope*) sollte in einem optimalen Bereich liegen und die Verdünnungsstufen der Standards exakt wiedergeben.

2.5 Quantitative Bestimmung des Rückhalts von Bakterien und Viren

Die Untersuchungen zur Bestimmung des Rückhalts von Bakterien und Viren unterteilen sich in zwei Versuchsansätze. Zum einen in Freilandexperimente, in denen Abwasser und Oberflächenwasser als Versuchsmatrix dient und zum anderen in Laborexperimente, die mit Trinkwasser durchgeführt werden. Um bei den Versuchen mit Trinkwasser einen Rückhalt von Bakterien und Viren messen zu können, werden künstlich hergestellte Bakterien Viren in hoher Konzentration dem Wasser zugegeben. Bei Versuchen mit Abwasser wird der Rückhalt mit natürlich vorkommenden Erregern in der Wassermatrix bestimmt. Die eingestellte Abwasserkonzentration von etwa einem Prozent beinhaltet vergleichsweise geringe Erregerkonzentrationen, die keine Analyse größer Log_{10} -Stufen-Unterschiede ermöglicht.

Mit den Wasserrucksäcken A, B, C und D wurden Freilandexperimente durchgeführt. Jedoch wurden die Rucksäcke C und D kürzer im Freiland betrieben, einen erheblich längeren Zeitraum wurden diese Rucksäcke für Laborexperimente verwendet.

2.5.1 Freilandversuche mit Abwasser und Oberflächenwasser

Das Umweltbundesamt betreibt in Berlin-Marienfelde ein Versuchsfeld auf dem Fragen über den Wasserkreislauf beantwortet werden.

Abwassersiebanlage

Zu den technischen Einrichtungen gehört eine Abwassersiebanlage, die frisches Mischabwasser zur Verfügung stellt (Abbildung 9). Das aus der Anlage entnommene Abwasser ist frei von groben Bestandteilen.



Abbildung 9) Abwassersiebanlage auf dem UBA-Versuchsfeld am Standort Berlin-Marienfelde. *Bildmitte:* Trommelsiebanlage; *Hintergrund:* Abwasserzuleitungen, PAUL C und PAUL D (Quelle: UBA, GRUNERT).

Verwendetes Oberflächenwasser

Das verwendete Oberflächenwasser stammte aus einem Speicherteich, der sich auf dem Versuchsfeld befindet. Der Teich gehört zur Gewässersimulationsanlage auf dem Versuchsfeld Marienfelde. Ihm nachgeschaltet ist eine Ufer- und Langsandsandfiltration. Die Anlage ist als Mesokosmos dimensioniert und wird vom Fachgebiet Trinkwasseraufbereitung und Ressourcenschutz (FG II 3.3) betrieben (Abbildung 10).

Die Speicherteichanlage wird mit Grundwasser betrieben, das aus dem umgebenden quartären Grundwasserleiter entnommen wird und vor der Einleitung in den Teich durch biologische Entfernung von Eisen und Mangan aufbereitet wird. Von der

Aufbereitungsanlage fließt das Wasser in den ca. 3000 m³ fassenden Speicherteich, der eine Fläche von ca. 3300 m² aufweist.

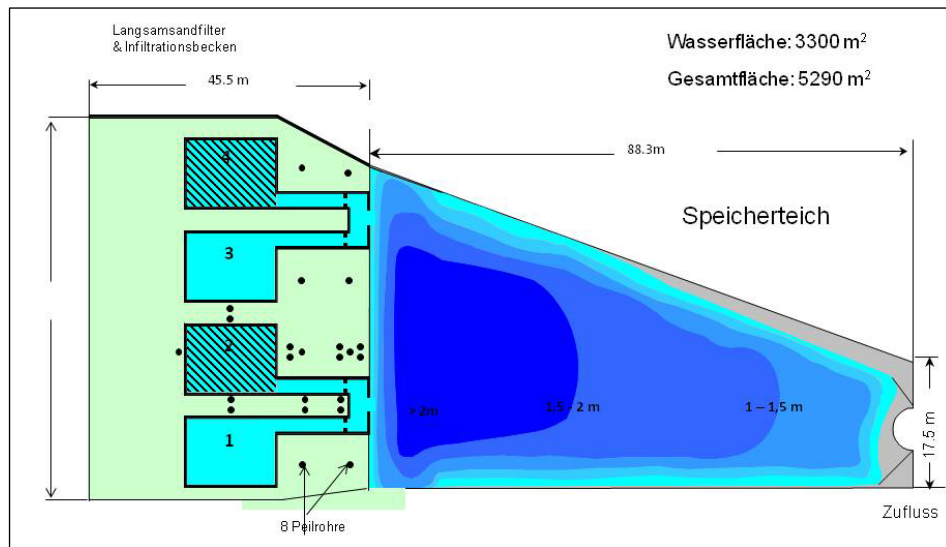


Abbildung 10) Grundriss der Speicherteichanlage. Rechts: Speicherteich, links: Die vier Infiltrationsbecken. *Schraffierte Flächen:* Geschlossene Becken, *ohne Schraffur:* Nach unten offene Becken (Quelle: UBA).

Von dem Speicherteich aus wird das Wasser in je zwei nicht rückspülbare, nach unten hin abgedichtete Langsandsandfilter (Becken 2 und 4) und zwei nach unten offene Infiltrationsbecken (Becken 1 und 3) geleitet.

Versuchsaufbau

In einer Wanne mit einem Volumen von 500 Litern wurden ca. 300 Liter Mischwasser vorgelegt. Das Mischwasser setzte sich aus ca. 99 % Oberflächenwasser aus dem Speicherteich (Abbildung 10) und ca. 1 % gesiebttem Abwasser (Abbildung 9) zusammen. Um frisches Mischwasser zu erhalten, erfolgte die Herstellung im Überschuss. Entsprechend wurde ein Vielfaches des tatsächlich benötigten Wasservolumens durch einen Überlauf in der Mischvorlagewanne verworfen. Eine vollständige Befüllung der Wasserrucksäcke A und B erfolgte über Membranpumpen, die sich in der Mischvorlagewanne befinden und durch konduktive Grenzstandmelder gesteuert wurden (Abbildung 11). Das beaufschlagte Wasservolumen wurde durch Wasserzähler gemessen und manuell dokumentiert.



Abbildung 11) Freilandexperiment auf dem Versuchsaufbau Marienfelde (PAUL A u. B). Betrieb mit ca. 99 % Oberflächenwasser und ca. 1 % Abwasser. *Links:* Rückseite mit Zulauf, Wasserzähler, Mischvorlagewanne, Dosierpumpen. *Rechts:* Vorderseite mit Ablauf, Mischvorlagewanne (Quelle: UBA, MUDRA).

Die Rucksäcke C und D wurden in den Freilandexperimenten durch kontinuierlichen Betrieb einer Füllpumpe gefüllt. Das überlaufende Wasser wurde abgeschlagen. Der Volumenstroms am Ablauf wurde arbeitstäglich durch Auslitern bestimmt. Die Abläufe der Rucksäcke befanden sich frei als Dauerläufer. Die Wasserrucksäcke wurden im Gebäude der Abwassersiebanlage aufgestellt.

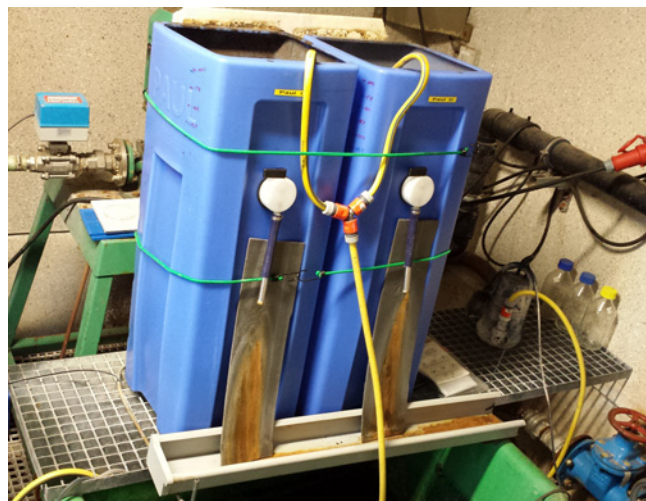


Abbildung 12) Freilandexperiment auf dem Versuchsaufbau Marienfelde (PAUL C u. D). Betrieb mit ca. 98,6 % Oberflächenwasser und ca. 1,4 % Abwasser (Quelle: UBA, MUDRA).

Um eine negative Beeinflussung der mikrobiologischen Ergebnisse durch die originalen Ablaufschläuche ausschließen zu können, wurden diese durch andere DVGW-zertifizierte Schläuche ersetzt, an denen abflammbare Abläufe aus Metall befestigt wurden.

2.5.2 Laborversuche mit Trinkwasser und dotierten Konzentrationen an Indikatorbakterien und Viren

Eine kontinuierliche Beaufschlagung der Wasserrucksäcke mit Trinkwasser erfolgte durch Anschluss des Zulaufs an die Gebäudetrinkwasserinstallation. Die Befüllung erfolgte im freien Auslauf, gesteuert durch konduktive Grenzstandmelder gekoppelt mit

Magnetventilen oder manuell-mechanischer Drosselung des Volumenstroms (Abbildung 13). Dieser Versuchsaufbau führte zu unterschiedlichen Füllständen bzw. hydrostatischen Drücken und damit zu schwankenden Durchflüssen. Da die Versuche an den Wasserrucksäcken in den Spikeexperimenten mit Bakterien und Viren hoher Konzentrationen durchgeführt wurden, waren Tracerversuche zur Beschreibung der hydraulischen Infiltration erforderlich (2.7). Der Volumenstrom der Wasserrucksäcke PAUL C und D wurde zu Beginn der Experimente immer wieder unterbrochen, um auch Stagnationsphasen des Wassers zu erhalten.



Abbildung 13) Laborversuche mit Trinkwasser (PAUL C und F) und künstlich zugegebenen Bakterien und Viren (Quelle: UBA, FROHNERT, GRUNERT).

Um eine negative Beeinflussung der mikrobiologischen Ergebnisse durch die originalen Ablaufschläuche ausschließen zu können, wurden diese bei den PAULs C und D durch DVGW-zertifizierte Schläuche ersetzt, an denen abflammbare Abläufe angebracht wurden.

Durchführung der Versuche mit künstlich zugegebenen Bakterien und Viren

In einem Liter Trinkwasser wurden die Suspensionen der Indikatororganismen/-viren vorgelegt und auf einem Magnetrührer gemischt. Von der Suspension wurde je $\frac{1}{2}$ Liter Wasser auf zwei Wasserrucksäcke verteilt. Der mit Wasser gefüllte Bereich (100 % Füllstand, geschlossener Hahn) wurde ohne das Membranmodul zu berühren durch Rühren gemischt. Der Ablaufhahn wurde geöffnet, die automatische Befüllung abgeschaltet, und 15 Liter Wasser wurden verworfen. Anschließend wurden 500 ml Probe in ein 1-Liter-Probenahmegefäß gefüllt. Nach dem Ablauf von 4,5 Litern wurden erneut 500 ml zu den bereits entnommenen 500 ml dazugegeben. Die Probe wurde durch Schütteln gemischt.

Zur Gewinnung einer 10-Liter-Probe für eine anschließende Virusaufkonzentrierung (2.4.1) wurden direkt nach dem Ablauf von 15 Litern ein 10-Liter-Probenahmegefäß gefüllt.

Exemplarische Berechnung einer typischen Versuchskonzentration des Bakteriophagen PhiX174:

- Hergestelltes Phagenlysat nach Kapitel 2.2:

$$2,8 \times 10^{12} \text{ PFU/100 ml} \triangleq \underline{2,8 \times 10^{11} \text{ PFU/10 ml}} \triangleq 2,8 \times 10^{10} \text{ PFU/1 ml}$$
- Vorlagesuspension mit einem Volumen von 1 Liter, in dem 10 ml Phagenlysat eingesetzt wurden (i.d.R. tatsächlich gemessener Wert):

$$2,8 \times 10^{11} \text{ PFU/ 1000 ml}$$
- Je 500 ml Vorlagesuspension pro PAUL (z.B. C und D):

$$1,4 \times 10^{11} \text{ PFU/ 500 ml} \quad | \text{ Faktor } \times 0,5$$

$$1,4 \times 10^{11} \text{ PFU/ 28 l (relevantes PAUL Vol. v. 28l)} \quad | \triangleq \text{ nach Zugabe}$$
- Infiltrationskonzentration (durch gemessene Stichproben bestätigter Wert):

$$\underline{5 \times 10^8 \text{ PFU/100 ml}} \quad | \triangleq \text{ Faktor /280}$$

2.6 Desinfektion der Wasserrucksäcke

Zur Desinfektion der Rucksäcke wurden zwei Versuche durchgeführt. Als Wirkstoff wurde eine Natriumhypochloritlösung verwendet. Desinfiziert wurden PAUL C und D, die zu diesem Zeitpunkt mehrere Wochen mit einem Wassergemisch aus ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächen betrieben wurden. Der Erfolg der Desinfektionsmaßnahme wurde durch Bestimmung der Koloniezahl am Ablauf überprüft.

Ein Tag vor Anwendung der Desinfektion wurde der Rucksack vollgefüllt und der Ablaufhahn geschlossen. Am nächsten Tag wurden 10 Liter des über Nacht stagnierenden Wassers verworfen und anschließend eine Probe genommen (ohne Desinfektion).

Der Probenahmehahn wurde geschlossen. Eine definierte Menge freies Chlor als Natriumchlorit-Lösung wurde in 10 Liter Oberflächenwasser in einem Eimer gegeben und gemischt. Die verdünnte Hypochloritlösung wurde vorsichtig in einen PAUL geschüttet und, ohne das Membranmodul zu berühren, gemischt. Der Ablaufhahn wurde geöffnet und die Chlorkonzentration wurde mit dem DPD-Verfahren nach verschiedenen Zeiten bestimmt. Der Versuch wurde parallel an zwei Wasserrucksäcken (PAUL C und D) durchgeführt. Eine Übersicht über die zugegebene Menge Hypochlorit und die am Ablauf gemessene freie Chlorkonzentration befindet sich im Ergebnisteil (3.4). Bei Erreichen der angestrebten freien Chlorkonzentration wurde der Probenahmehahn geschlossen und der Ansatz über Nacht inkubiert. Am nächsten Morgen wurde der Bodenauslass der Wasserrucksäcke

geöffnet und die Rucksäcke wurden erneut befüllt. Der Probenahmehahn wurde geöffnet und die freie Chlorkonzentration wurde nach verschiedenen Zeiten bestimmt, um den Spülvorgang zu charakterisieren.

2.7 Tracerversuche

Bei einem maximalen Füllstand beinhaltet der Wasserrucksack ein Wasservolumen von ca. 90 Litern. Als maximale Befüllung wird ein Füllstand bis etwa in Höhe vom Siebträger festgelegt (kein Überlauf). Das Membranmodul sowie die Ablaufarmatur befinden sich etwa auf zweiDrittel der maximalen Füllhöhe, dieser Füllstand entspricht einem Volumen von ca. 62 Litern. Darüber hinaus können weitere ca. 28 Liter bis zum maximalen Füllstand beaufschlagt werden (Abbildung 14).

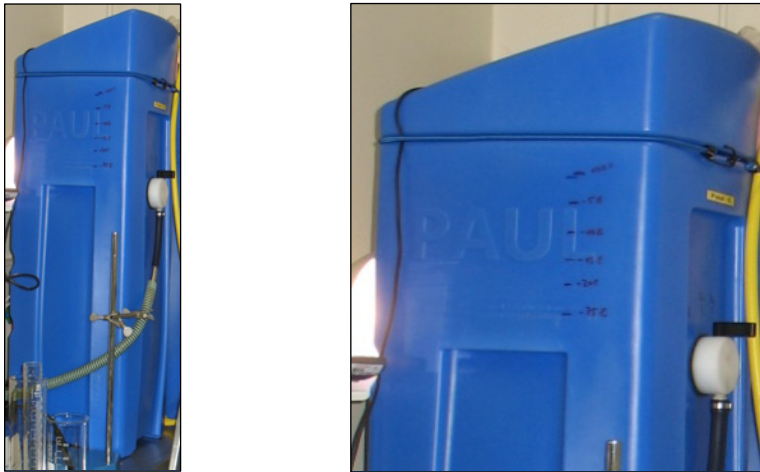


Abbildung 14) Seitenansicht PAUL mit ausgeliterten Füllstandsmarkierungen.

Im unteren Bereich vom Rucksack befindet sich ein Totvolumen, das ohne Berücksichtigung in den Versuchen zu einer Überschätzung des Rückhalts der Viren führen könnte. Zur Ermittlung der Durchflusszeit durch das Membransystem wurden Tracerversuche durchgeführt. Dazu wurde eine Natriumchlorid-Lösung dosiert und die Änderung der Leitfähigkeit im Ablauf gemessen.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse aus dem Projekt werden nach den beiden Versuchsansätzen (Freiland- oder Laborversuch) getrennt dargestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus weiterführenden Untersuchungen beschrieben. Die Rucksäcke wurden paarweise parallel betrieben. Eine tabellarische Übersicht über die durchgeführten Versuche bietet Tabelle 3.

Tabelle 3) Übersicht über durchgeführte Experimente

Bezeichnungen Wasserrucksäcke	Durchgeführte Untersuchungen	Kapitel
PAUL A + B	Durchflusskapazität	3.1.1 4.1
	Freilandversuch mit Abwasser kontaminiertem Oberflächenwasser	1.7.1 2.5.1 3.1
	Untersuchungen der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser	1.7.4 2.3 3.3
PAUL C + D	Durchflusskapazität	3.2.1 4.1
	Laboruntersuchung mit künstlich zugegebenen Indikatorbakterien und Surrogatviren	1.7.2 2.5.2 3.2
	Freilandversuch mit Abwasser kontaminiertem Oberflächenwasser in Kombination mit künstlich zugegebenen Bakteriophagen	1.7.1 1.7.2 2.5.2 3.1.2 3.1.3 3.2
	Untersuchungen der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser	1.7.4 2.3 3.3
	Desinfektion der Wasserrucksäcke und anschließende Untersuchungen der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser	1.7.5 2.6 3.4
	Laboruntersuchung über den Rückhalt von Viren direkt nach Inbetriebnahme	1.7.3 2.5.2
PAUL E + F	Laboruntersuchung über den Rückhalt von Viren direkt nach Inbetriebnahme	1.7.3 2.5.2 3.2

3.1 Freilandversuche mit Oberflächenwasser/1 %igem Abwasser

Die durchgeführten Versuche mit Abwasser und Oberflächenwasser liegen den tatsächlichen Einsatzbedingungen näher als Laborversuche. Aufgrund der geringen Konzentrationen der Bakterien und Viren im zur Verfügung stehenden Wasser kann der Rückhalt bedingt durch die Nachweisverfahren nur in einem verhältnismäßig kleinen Bereich bestimmt werden (geringe Zulaufkonzentrationen).

3.1.1 Durchflusskapazität (PAUL A und B)

Die Aufbereitungsmenge wurde mit Wasserzählern bestimmt und fortlaufend manuell aufgezeichnet. Aus den Zählerständen jedes Zeitintervalls wurde jeweils ein mittlerer Volumenstrom berechnet (Abbildung 15). Beide parallel betriebenen Wasserrucksäcke zeigen insgesamt eine ähnliche Aufbereitungskapazität über die gesamte Betriebszeit von 191 Tagen. Der durchschnittliche Durchfluss lag bei 0,7 m³/d bzw. 29 l/h; insgesamt wurden 117 m³ beaufschlagt. Am 7. Dezember 2012 wurde der Versuch wegen einsetzenden Frostes abgebrochen. Die Temperaturen lagen zu diesem Zeitpunkt zwischen -5 °C und -11 °C. Abgesehen von einer leichten Eisbildung an den Rändern der Wasseroberflächen blieb die Anlage eisfrei. Es ist davon auszugehen, dass die stetige Bewegung des verwendeten Wassers und eine erhöhte Konzentration an gelösten Stoffen ein Einfrieren verhinderten.

In den ersten 28 Tagen wurde der Durchfluss immer wieder unterbrochen, um eine Stagnation des Wassers zu erreichen. In diesem Zeitraum waren die Durchflüsse im Mittel geringer, da Betriebspausen einbezogen wurden.

Ausreißer in den Messungen bei sehr niedrigen Volumina (PAUL A) zwischen Tag 56 und Tag 83 (PAUL A) sowie Tag 132 und Tag 160 (PAUL B) können durch Defekte an den konduktiven Grenzstandmeldern erklärt werden. Infolge der erhöhten Salzkonzentrationen im Abwasser bildeten sich Ablagerungen an den Messfühlern, so dass bei geringer Feuchtigkeit auf der Sensoroberfläche zwischen den Messfühlern (ohne in das Wasser einzutauchen) bereits eine erhöhte Leitfähigkeit bzw. Stromfluss verursacht wurde. Dadurch wurden die Pumpen nicht oder verzögert eingeschaltet.

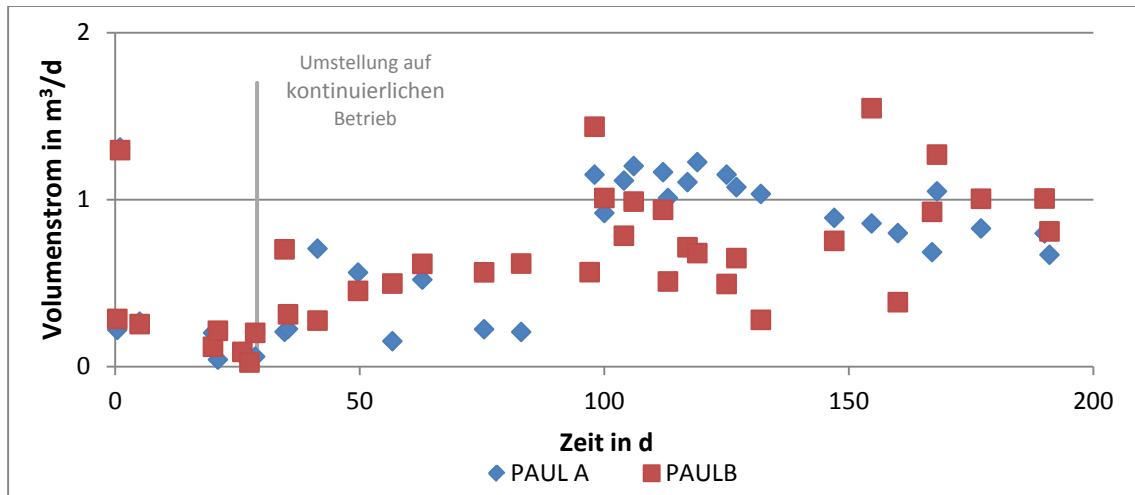


Abbildung 15) Durchfluss der im Freiland aufgestellten Wasserrucksäcke (PAUL A und B).

Ausreißer mit besonders hohen Durchflüssen am Tag 98 oder Tag 154 (PAUL B) können wahrscheinlich durch einen höheren Füllstand bis zum Gießrand erklärt werden. Der Messfühler vom Grenzstandmelder war weiter oben befestigt.

3.1.2 Bakterienrückhalt (Freilandversuch)

Der Rückhalt der Bakterien stieg über den Messzeitraum an. *E. coli* wurde zum Startzeitpunkt mit ca. 3 Log₁₀-Stufen zurückgehalten (Abbildung 16). Nach einem Durchfluss von 0,7 m³ stieg der Rückhalt von *E. coli* auf 3,6 Log₁₀-Stufen, nach 1,8 m³ wurde ein Rückhalt von 4,2 und 4,7 Log₁₀-Stufen beobachtet. Messungen nach einem Betrieb von 11 m³ lagen bei > 3,5 Log₁₀-Stufen.

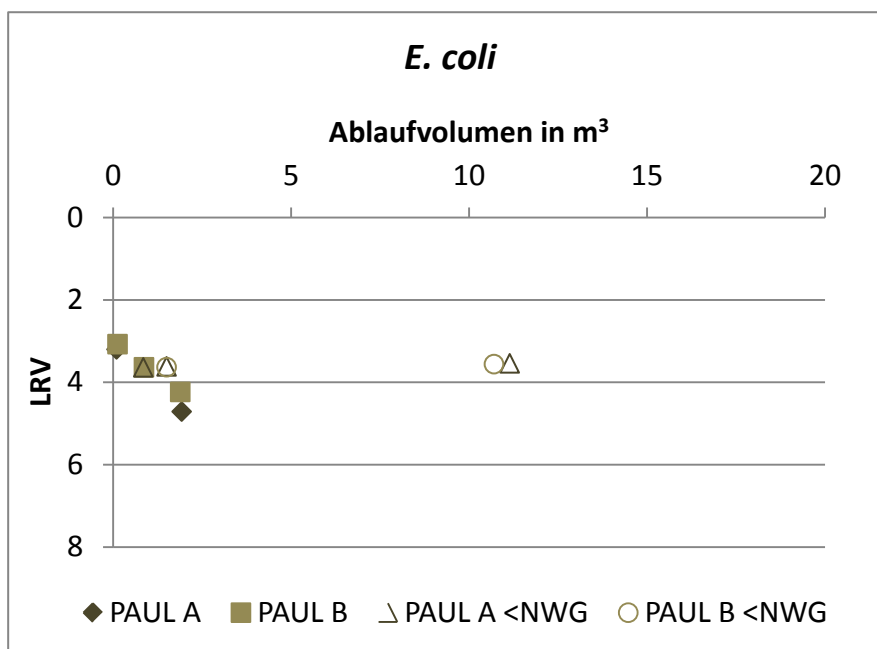


Abbildung 16) Rückhalt von *E. coli*. Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.

Die Enterokokken wurden zu Beginn um ca. 2,8 Log₁₀-Stufen zurückgehalten (Abbildung 17). In weiteren Messungen waren die Enterokokken im Filtrat nicht mehr nachweisbar. Bedingt durch die relativ niedrigen Zulaufkonzentrationen waren so Rückhalte von > 1,9 bis > 3,1 Log₁₀-Stufen zu bestimmen.

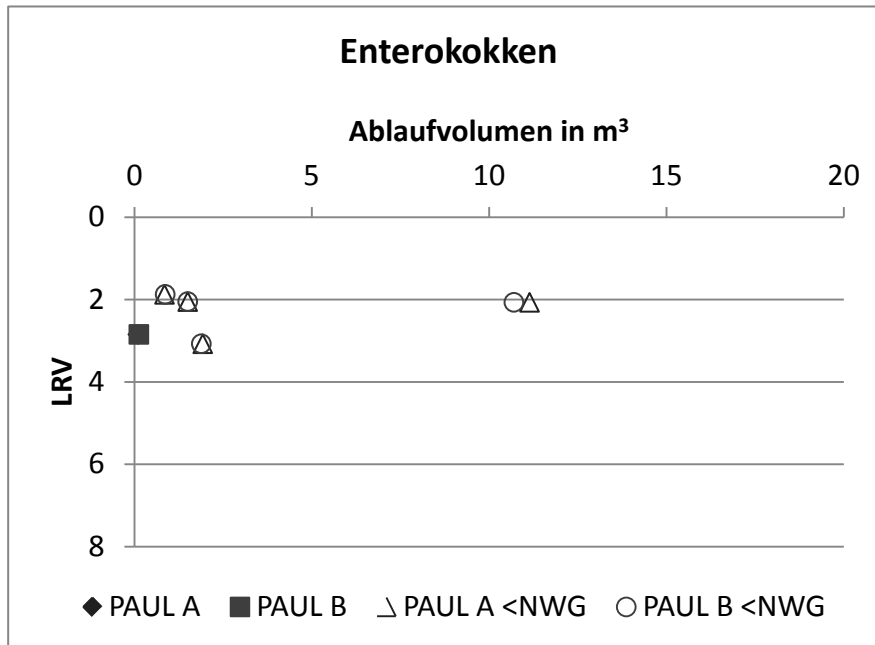


Abbildung 17) Rückhalt von Enterokokken. Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.

Im Abwasser kommen Enterokokken mit einer etwas niedrigeren Konzentration vor, daher ist grundsätzlich der untersuchte Reduktionbereich geringer.

3.1.3 Virenrückhalt (Freilandversuch)

Der Rückhalt der somatischen Bakteriophagen war im Versuchszeitraum relativ konstant oder stieg möglicherweise mit steigendem Durchsatz (Abbildung 18).

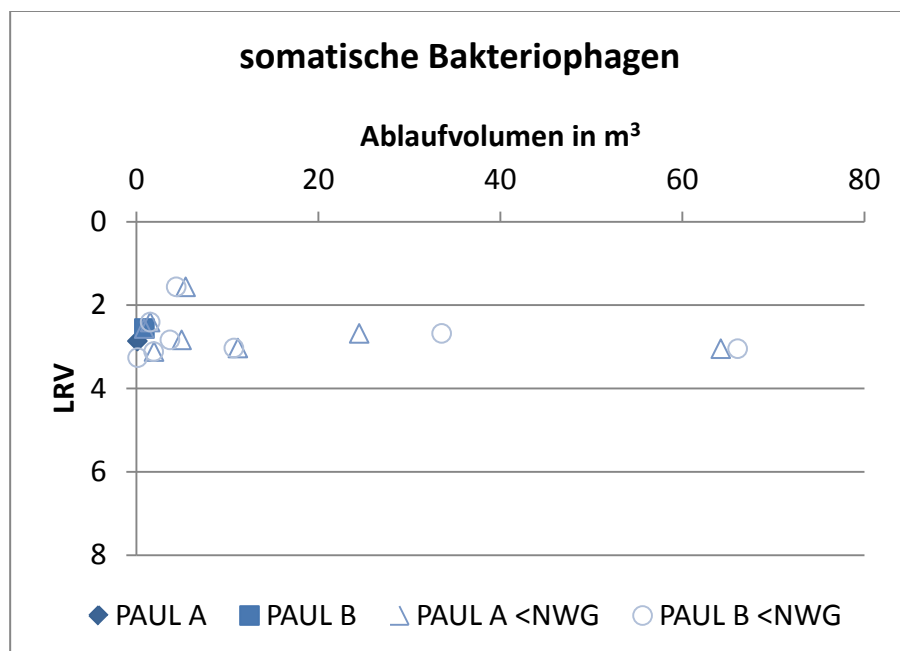


Abbildung 18) Rückhalt von somatischen Bakteriophagen. Wasserzusammensetzung: ca. 1 % Abwasser und ca. 99 % Oberflächenwasser.

Der Rückhalt lag zu Beginn im Fall von PAUL A bei 2,9 Log₁₀-Stufen und im Fall von PAUL B bereits bei > 3,3 Log₁₀-Stufen (Filtratwert unterhalb der Nachweisgrenze). Der zweite Wert von PAUL B nach 0,7 m³ lag bei 2,6 Log₁₀-Stufen (Filtratwert hier oberhalb der Nachweisgrenze). Alle nachfolgenden Werte im Ablauf lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Somit lag die Reduktion der Phagen zwischen > 1,6 Log₁₀-Stufen und > 3,1 Log₁₀-Stufen.

Bedingt durch die niedrigeren Zulaufkonzentrationen von F⁺-spezifischen RNA-Bakteriophagen im Abwasser (im Vergleich zu den somatischen Bakteriophagen) lagen die gemessenen Ablaufwerte mit nur einer Ausnahme unterhalb der Nachweisgrenze, sodass der Rückhalt > 0,6 - > 2,2 Log₁₀-Stufen betrug. Wegen der niedrigen Konzentrationen sind keine genauen Angaben möglich.

3.2.1 Durchflusskapazität (PAUL C und D)

Der Durchfluss wurde mit Wasserzählern bestimmt und fortlaufend manuell aufgezeichnet. Aus den Zählerständen jedes Zeitintervalls wurde jeweils ein mittlerer Volumenstrom berechnet (Abbildung 21).

Beide parallel betriebenen Wasserrucksäcke zeigten ähnliche Durchflüsse von durchschnittlichen $1,5 \text{ m}^3/\text{d}$ sowie eine Aufbereitungsmenge von 481 m^3 für PAUL C und 413 m^3 für PAUL D. Nach 250 m^3 begann der durchschnittliche Durchfluss von ca. $2 \text{ m}^3/\text{d}$ auf $0,5 \text{ m}^3/\text{d}$ zu sinken. Schwankungen können durch einen ungleichen Füllstand erklärt werden (2.5.2).

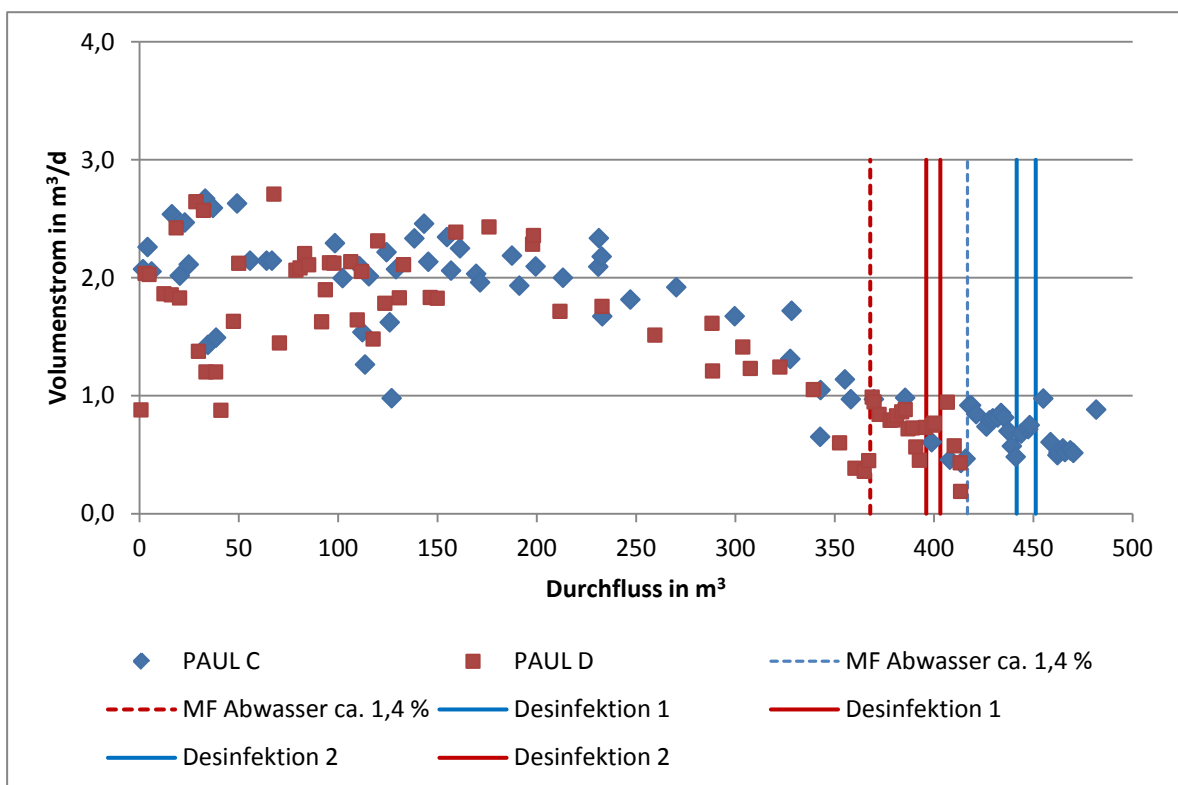


Abbildung 21) Durchfluss der im Labor und im Freiland betriebenen Wasserrucksäcke (PAUL C und D).

Die Untersuchungszeit betrug für PAUL C 435 Tage bzw. für PAUL D 418 Tage. Jedoch wurde der Durchfluss immer wieder aus technischen- und organisatorischen Gründen unterbrochen. Eine längere Unterbrechung entstand um den Jahreswechsel 2012/13. Dabei wurde der Durchfluss für PAUL C um 18 Tage und für PAUL D 41 Tage unterbrochen. Der Füllstand in PAUL D verringerte sich in dieser Zeit durch Verdunstung bis zu 10 cm unterhalb der oberen Kante vom Membranmodul. Die Membran trocknete nicht aus, da sich das Modul weiterhin zum Teil im Wasser befand. Ein leicht modriger Kunststoffgeruch konnte sensorisch wahrgenommen werden.

Nach einem Durchsatz von 367 m³ (PAUL D) und 416 m³ (PAUL C) wurden die Wasserrucksäcke im Freilandversuch mit einem Gemisch aus Abwasser (ca. 1,4 %) und Oberflächenwasser betrieben. Zusätzlich wurden die Rucksäcke zweimal desinfiziert (2.6).

Die Versuche endeten nach aufgetretenen Defekten an den Rucksäcken (3.6).

3.2.2 Virenrückhalt (Laborversuch)

Verglichen mit den Bakterien war der LRV des Bakteriophagen PhiX174 mit 0,8 (PAUL C/D) direkt nach der Inbetriebnahme deutlich geringer (Abbildung 22). Auch hier stieg der LRV mit steigendem Durchsatz an. Nach 3 m³ wurden die Phagen um 3,1 Log₁₀-Stufen reduziert. Im weiteren Versuchsverlauf stieg der Rückhalt weiter an. Nach einem Durchsatz von 87 m³ lag der Rückhalt bei 5,9 Log₁₀-Stufen.

Anschließend (bis zu einem Durchsatz von ca. 400 m³) schwankte der Rückhalt zwischen nur etwa 2 und 5 Log₁₀-Stufen.

Der höchste Rückhalt von 6,4 Log₁₀-Stufen (bei PAUL D unterhalb der NWG) wurde nach Umstellung auf ca. 1,4%iges Abwasser (Freiland) gemessen. Versuche mit Abwasser und Oberflächenwasser entsprechen eher den tatsächlichen Einsatzbedingungen.

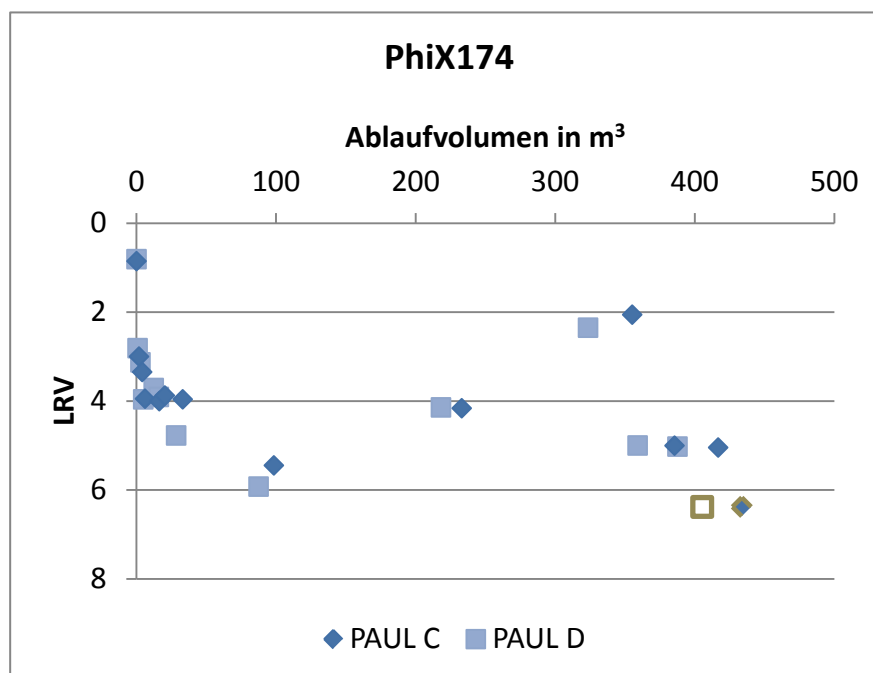


Abbildung 22) Rückhalt vom Bakteriophagen PhiX174. Versuche mit Trinkwasser und künstlich dosierten Viren. *Braun*: Wasserzusammensetzung für letzten Messwert von PAUL C und D: Ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser. *Leere Symbole*: Ablaufwert unterhalb der Nachweisgrenze.

Im Durchschnitt lag der Rückhalt des DNA-Bakteriophagen PhiX174 bei 4 Log₁₀-Stufen.

Phage MS2

Einen ähnlichen Verlauf zeigte der RNA-Bakteriophage MS2. Direkt nach Inbetriebnahme lagen die LRVs von PAUL C und PAUL D bei 0,9 und 0,7. Nach 1 m³ Wasseraufbereitung wurden erheblich höhere Werte gemessen (3,2 Log₁₀-Stufen) (Abbildung 23).

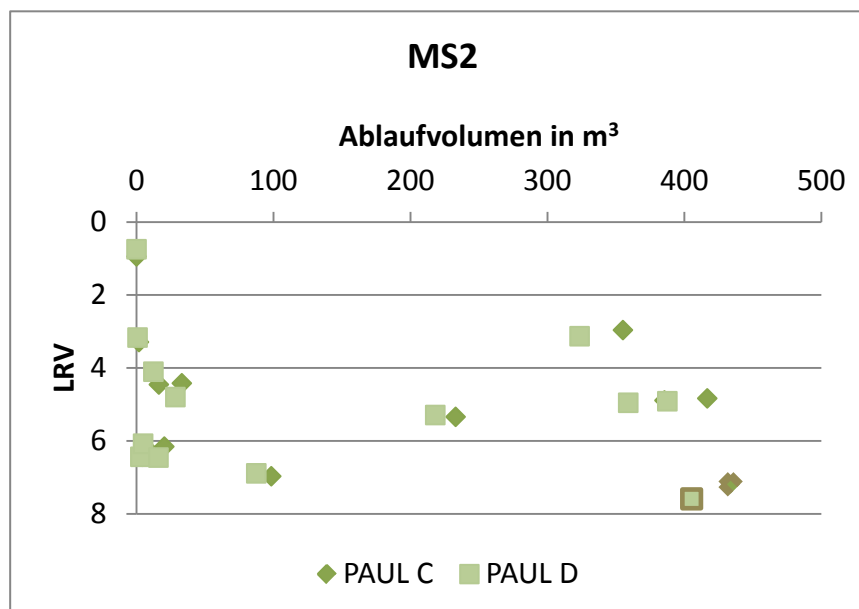


Abbildung 23) Rückhalt vom Bakteriophagen MS2. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren. *Braun:* Wasserzusammensetzung für letzten Messwert von PAUL C/D ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser.

Wie für Φ X174 wurde auch für MS2 der höchste Rückhalt nach Umstellung auf 1,4%iges Abwasser ermittelt (ca. 7,2 Log₁₀-Stufen, ca. 7,6 Log₁₀-Stufen). Im Durchschnitt lag der Rückhalt bei 4,9 Log₁₀-Stufen.

Humanpathogene Adenoviren (hAdV)

In gleicher Weise wie die Bakteriophagen stiegen auch für hAdV die Rückhaltewerte bei längerem Betrieb an. Zu Beginn des Versuchs lag der Rückhalt bei etwa 2 Log₁₀-Stufen (Abbildung 24). Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Messung im Filtrat nach Anreicherung durch Glaswollefiltration erfolgte. Bezieht man deren Wiederfindungsrate von etwa 10 % mit ein (2.4.1), verringert sich der Rückhalt direkt nach Inbetriebnahme auf 0,7 Log₁₀-Stufen. Im Versuchsverlauf nahm dieser Wert zu und erreichte ≥ 5 Log₁₀-Stufen. Eine weitere Zunahme konnte aufgrund der nachweisbedingten Grenzen nicht bestimmt werden. Der letzte gemessene Wert von PAUL D wurde mit ca. 1,4 %igen Abwasser durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde die Leistungsfähigkeit für die Adenoviren mit den im Abwasser vorkommenden Viren durchgeführt, da eine künstliche Dosierung im Freiland aus Sicherheitsgründen nicht möglich war.

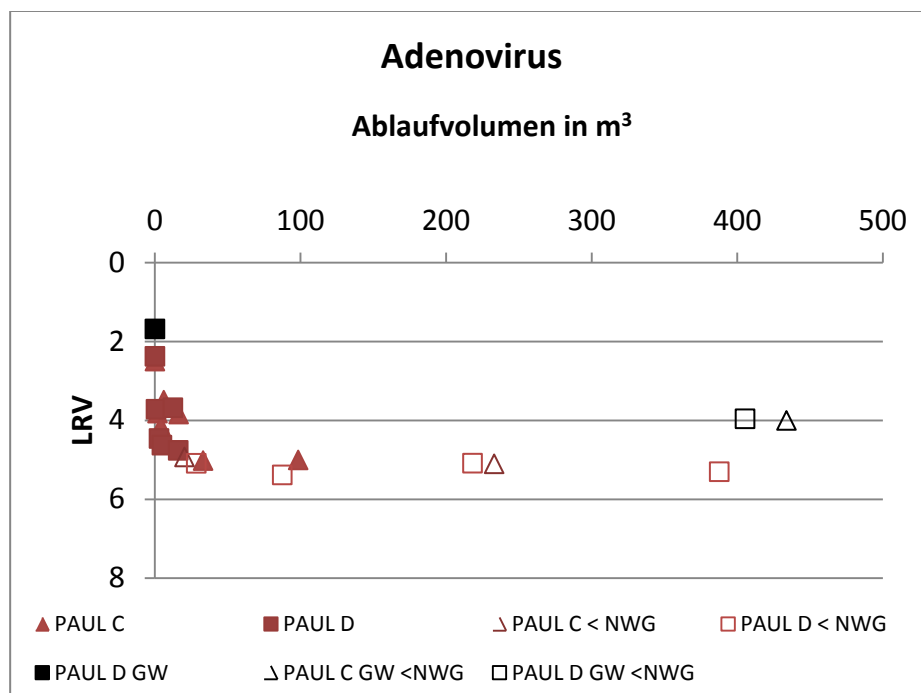


Abbildung 24) Rückhalt von hAdV2. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren. *Braun:* Wasserzusammensetzung für letzten Messwert von PAUL C und PAUL D wurde mit ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser durchgeführt. GW-Werte sind aufgrund der Wiederfindungsrate von 10 % um eine Log₁₀-Stufe niedriger als dargestellt (2.4.1).

Die Ergebnisse der Versuche mit den Wasserrucksäcken PAUL C und D lassen zu Beginn der Filtration eine deutlich verringerte Eliminierung der Viren erkennen. Um den beobachteten Effekt näher zu betrachten, wurden weitere Versuche mit fabrikneuen Rucksäcken (PAUL E + F) durchgeführt.

3.2.3 Bakterienrückhalt direkt nach Inbetriebnahme (Laborversuch)

Versuche, in denen der Rückhalt von Bakterien bestimmt wurde, dienten vorrangig einer allgemeinen Funktionsprüfung und wurden vereinzelt durchgeführt. Mit den Wasserrucksäcken PAUL E und PAUL F wurde die Leistungsfähigkeit direkt nach Inbetriebnahme untersucht, da es Anzeichen über einen zunehmenden Rückhalt mit steigender Betriebszeit gab.

Escherichia coli wurde direkt nach Inbetriebnahme um ca. 2 Log₁₀-Stufen zurückgehalten (Abbildung 25). Weitere Probenahmen bei einem Durchsatz zwischen 79 Litern und 383 Litern ergaben Rückhalte im Bereich von 3,3- und 3,9 Log₁₀-Stufen. Im Durchschnitt lag die Elimination nach einer zu vermutenden Einfahrphase von etwa 100 Litern bei 3,6 LRV.

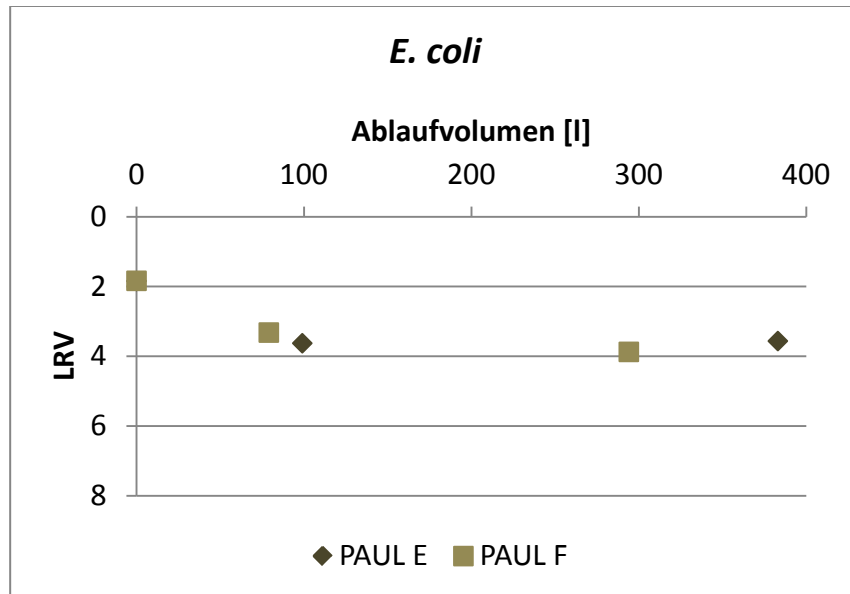


Abbildung 25) Rückhalt von *E. coli*. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Bakterien.

Der Rückhalt von *E. coli* direkt nach der Inbetriebnahme der Rucksäcke war also ebenfalls etwas niedriger als zu späteren Probenahmezeiten.

Bei den Enterokokken hingegen wurde bereits direkt nach Inbetriebnahme ein Rückhalt von ca. 4 Log₁₀-Stufen gemessen, die über den Zeitraum der Untersuchung konstant blieb. Im Durchschnitt wurden die Enterokokken um 3,8 Log₁₀-Stufen zurückgehalten.

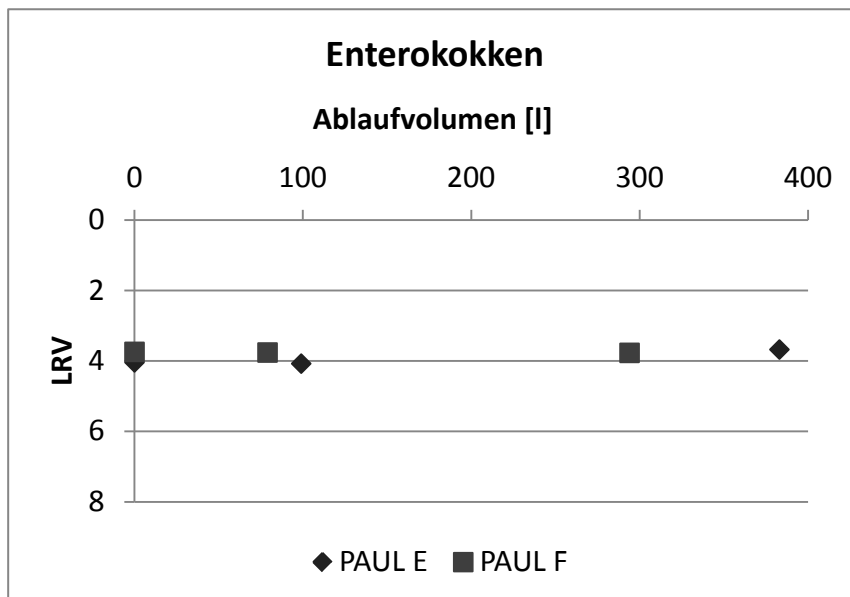


Abbildung 26) Rückhalt von *Enterococcus faecium*. Versuche mit Trinkwasser und künstlich dosierten Bakterien.

3.2.4 Virenrückhalt direkt nach Inbetriebnahme

Die Beobachtung, dass zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme eine geringere Funktionsfähigkeit des Membransystem gegeben ist, sollte mithilfe fabrikneuer Wasserrucksäcke (PAUL E + F) eingehender untersucht werden.

Für den Phagen PhiX174 konnte kein geringerer Rückhalt direkt nach der Inbetriebnahme festgestellt werden. Insgesamt wurden relativ geringe Schwankungen im Durchfluss bis 582 Litern gemessen (Abbildung 27). Die Rückhalte lagen zwischen 2,6 bis 5,4 Log₁₀-Stufen und im Mittel bei 4,3 Log₁₀-Stufen.

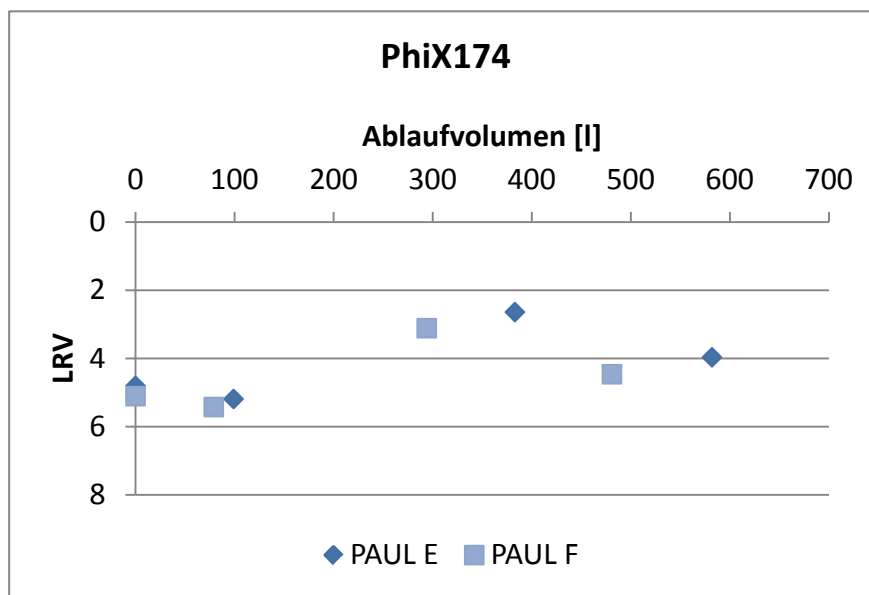


Abbildung 27) Rückhalt vom Bakteriophagen PhiX174 nach Inbetriebnahme. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren.

Phage MS

Der Startwert lag bei einem LRV von 2,7 (Abbildung 28). Der folgende Wert liegt höher, der letzte Messwert nach 582 Litern ist mit 3,2 LRV dicht am Startwert.

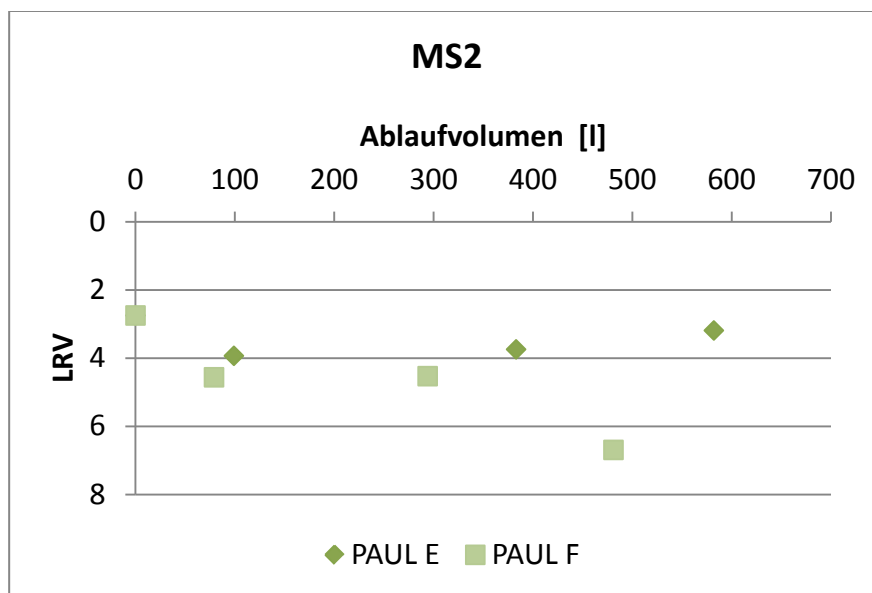


Abbildung 28) Rückhaltung des Bakteriophagen MS2 nach Inbetriebnahme. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren.

Im Durchschnitt lagen die Rückhalte von MS2 bei 4 Log₁₀-Stufen.

Der Nachweis der hAdV in den ersten 582 Litern wurde nicht in Kombination mit einer Glaswollefiltration durchgeführt, sondern aufgrund der hohen zugegebenen Konzentrationen direkt gemessen. Die tatsächlich gemessenen Werte lagen zwischen 3–4 Log₁₀-Stufen, die Werte < NWG deuten an, dass eine Elimination von > 5 Log₁₀-Stufen möglich ist.

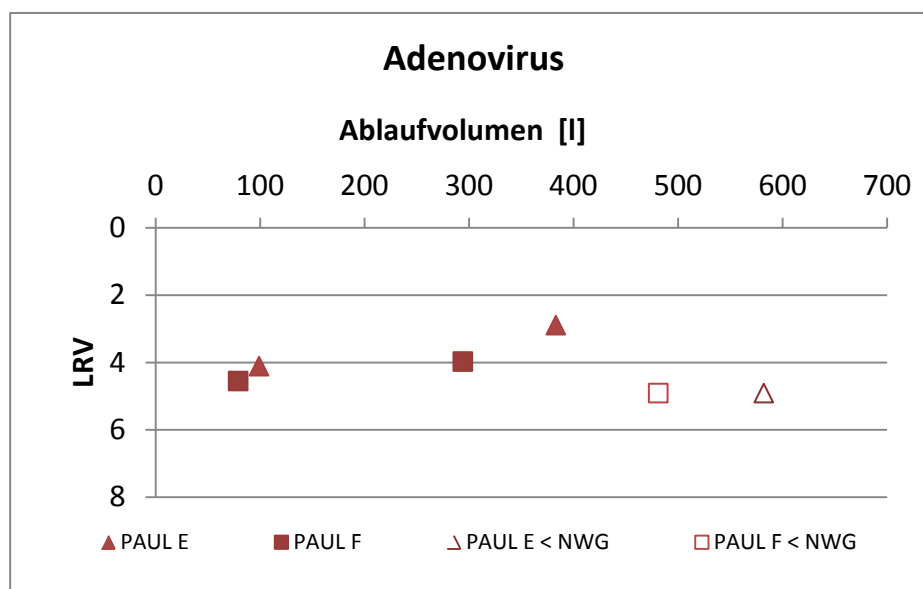


Abbildung 29) Rückhalt von hAdV2 zwischen einem Durchfluss. Versuche mit Trinkwasser und künstlich zugegebenen Viren. *Leere Symbole* liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

3.3 Bakterielle Belastung im aufbereiteten Wasser

Eine rückseitige Verkeimung von Membranen und damit des Filter ist ein bekanntes Problem. Daher wurde das Untersuchungsprogramm für Analysen zur quantitativen Bestimmung der kultivierbaren Mikroorganismen (Koloniezahl) erweitert. Die Wasserrucksäcke wurden zu diesem Zeitpunkt mit Trinkwasser betrieben. Das dosierte Wasser zeigte bereits deutlich eine erhöhte Koloniezahl, aufgrund des verwendeten Schlauchs für den Zulauf. Da ein hoher Rückhalt der Indikatorbakterien ermittelt wurde, kann ein Durchbruch der Bakterien, wie es bei einem Membrandefekt der Fall wäre, nicht als relevant betrachtet werden (3.1.2, 3.2.3).

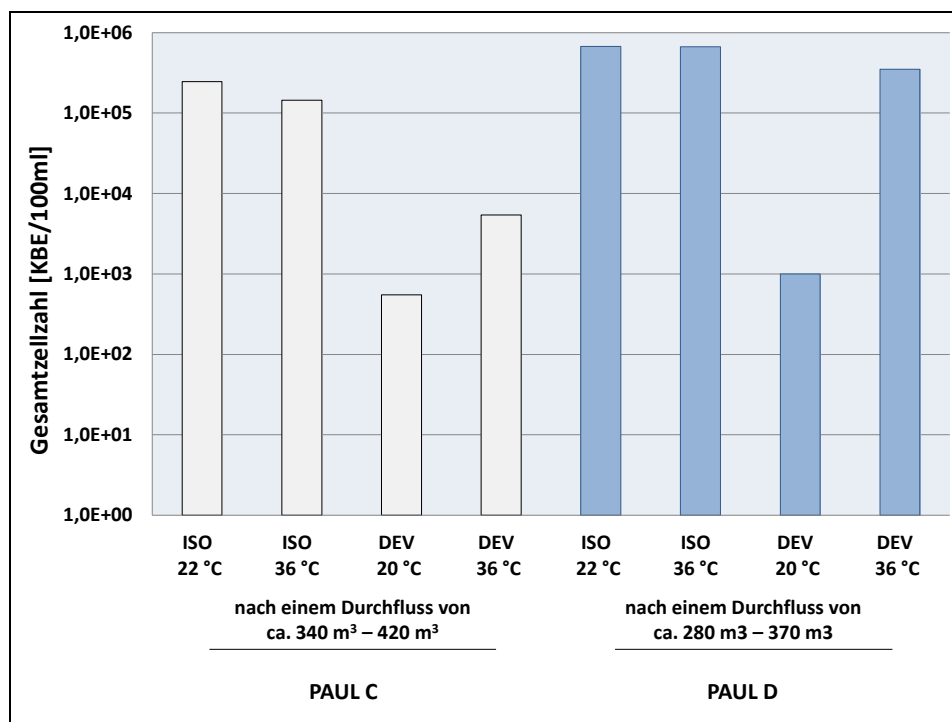


Abbildung 30) Quantitativer Nachweis von kultivierbaren Mikroorganismen im Ablauf (Koloniezahl DEV 20 °C, 36 °C; ISO 20 °C, 36 °C).

Im Filtrat befanden sich Bakterien in gemessenen Konzentrationen zwischen 5×10^2 und 7×10^5 KBE/100ml (Abbildung 30). Mit Ausnahme des Nachweisverfahrens mit der DEV 36 °C Methode für PAUL D waren die DEV-Werte deutlich niedriger als bei den Untersuchungen nach der ISO Methode.

3.4 Verringerung der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser mittels Desinfektion

Um eine Verringerung der Bakterien im abgegebenen Wasser zu erreichen, wurden zwei Versuche mit Natriumhypochloritlösung als Desinfektionswirkstoff durchgeführt. Die Versuche wurden mit den Wasserrucksäcken PAUL C und D und einem Wassergemisch aus ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser durchgeführt.

3.4.1 Eingesetzte Hypochloritkonzentration

Geplant wurden die Versuche mit einer einmaligen Hypochloritdosierung und einer Einwirkzeit über Nacht. Um eine gute Desinfektion des Membransystems zu erreichen, wurde am Ablauf die Konzentration an freiem Chlor bestimmt. Erst nach einer ausreichend hohen Konzentration am Ablauf wurde der Durchfluss durch Aufsetzen eines Stopfens unterbrochen. Da die Rucksäcke mit einem Wassergemisch aus ca. 1,4 % Abwasser und ca. 98,6 % Oberflächenwasser betrieben wurden, hatten sich deutliche Ablagerungen (Biofilme, organische Ablagerungen) auf der Oberfläche der Membran gebildet (Abbildung 31). Die hohe Zehrungskapazität der organischen Deckschicht verhinderte zunächst eine Desinfektion des Systems (Tabelle 4). Erst nach mehrmaliger Zugabe hoher Hypochloritmengen konnte die gewünschte Chlorkonzentration gemessen werden.

Tabelle 4) Erste Desinfektionsmaßnahme

	PAUL C	PAUL D	Bemerkungen
	Freies Chlor [mg/l]	Freies Chlor [mg/l]	
Zulaufkonzentration nach Zugabe von ca. 60 g Chlor	371	350	Starke Deckschicht auf Membranmodul
Ablaufkonz. nach 12 l	0,7	0,6	Gelblich trübes Wasser im Ablauf
Ablaufkonz. nach 15 l	2,5	1,9	Gelblich trübes Wasser im Ablauf
Zulaufkonz. nach weiteren 70 g Chlor	830	740	Starke Deckschicht auf Membranmodul
Ablaufkonz. nach weiteren 13 l	198	204	Gelblich trübes Wasser im Ablauf
Verschließen des Ablaufs durch einen Stopfen			

Nach einer Einwirkzeit von 15 Stunden wurden durch öffnen des Bodenauslasses die Rucksäcke entleert und anschließend wieder befüllt und gespült. Der Rückgang der Chlorkonzentration wurde im Zu- und Ablauf im Intervall gemessen (Tabelle 5).

Tabelle 5) Erste Desinfektionsmaßnahme. Konzentration vom freien Chlor im Zu- und Ablauf nach einer Einwirkzeit von 15 h und anschließend entleeren und spülen.

	PAUL C	PAUL D	Bemerkungen
	Freies Chlor [mg/l]	Freies Chlor [mg/l]	
Zulaufkonz.	248	349	Auflösen der Deckschicht
Zulauf nach spülen*	1,4	1,8	Deutliches Ablösen der Deckschicht
Ablaufkonz. 0 l	7,8 (direkt aus Abl.-Schlauch)	88,5 (nach Abl. v. mehreren ml)	
Ablaufkonz. 10 l	10,5	19,5	Klar, keine Gelbfärbung
Ablaufkonz. 20 l	5,0	3,1	Klar, keine Gelbfärbung
Zulauf nach spülen*	0,01	0,2	Deckschicht entfernt (Bsp. Abbildung 31)
Ablaufkonz. 32 l	1,0	1,7	
Ablaufkonz. 50 l	0,3	0,46	
Ablaufkonz. 100 l	< 0,1	< 0,2	
Ablaufkonz. 100 l**	0,02	0,01	Bestimmungsgrenze 0,05 mg/l

*öffnen des Bodenablaufes, Oberfläche spülen, befüllen zu 100%

**Probenahme KBE (+ 100 µl Natriumthiosulfat)

Bei der zweiten Desinfektion wurden einmalig 50 g freies Chlor dosiert. Die maximale Ablaufkonzentration betrug nach einem Durchsatz von 25 Litern 80 mg/l für PAUL C und 70 mg/l für PAUL D.

Nach einer Einwirkzeit für 24 h wurde im Zulauf im Durchschnitt 25 mg/l freies Chlor gemessen. PAUL C hatte sich durch den undichten Bodenablauf entleert, daher wurde im Ablauf keine Chlorkonzentration gemessen. Die Ablaufkonzentration von PAUL D lag bei

27 mg/l und verringerte sich nach einem Durchsatz von 50 Litern auf 0,14 mg/l. Nach weiteren 100 Litern wurden 0,02 mg/l gemessen.



Abbildung 31) Zweite Desinfektion der Wasserrucksäcke mit Natriumhypochloritlösung.
Links, Aufsicht: Organische Deckschicht nach 12 Tagen Betriebszeit mit Abwasser und Oberflächenwasser; rechts, Aufsicht: Membranmodul nach der Desinfektion. Reife Deckschicht nicht im vorliegenden Bericht dargestellt.

3.4.2 Verringerung der bakteriellen Belastung im aufbereiteten Wasser vor und nach Desinfektion

Um einen quantitativen Beleg für den Erfolg der Desinfektionsmaßnahme zu erhalten wurde die Koloniezahl vor und nach der Anwendung der Hypochlorit-Lösung bestimmt.

Die Bestimmung der Koloniezahl vor Anwendung der ersten Desinfektion zeigte eine ähnliche Konzentration wie bei den vorangegangenen Messungen (3.3). Für eine Bebrütungstemperatur von 36 °C wurden keine Werte über der NWG gemessen (Abbildung 32).

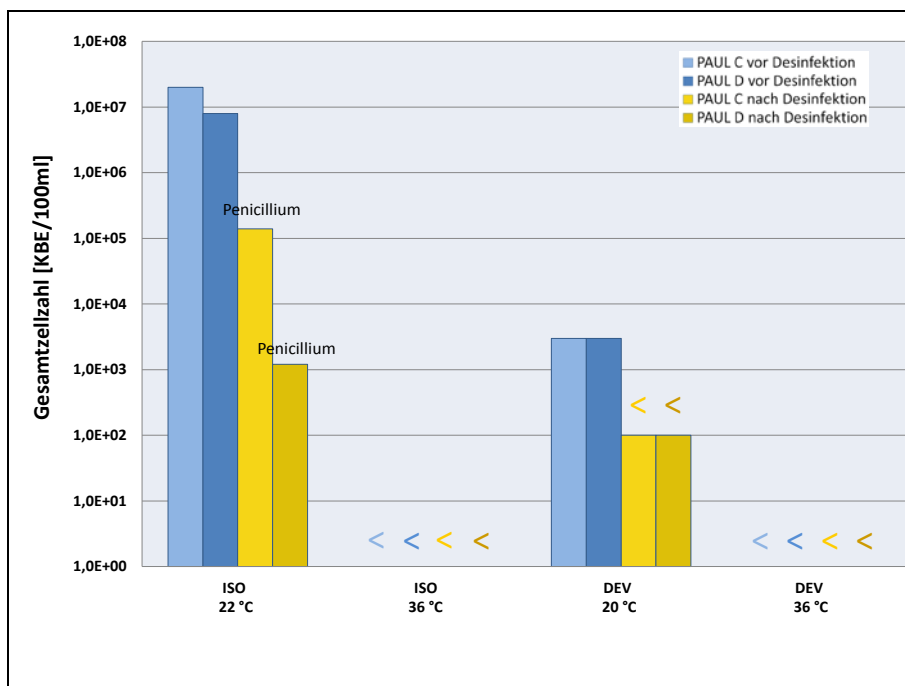


Abbildung 32) Erste Desinfektion: Gesamtzellzahl vor und nach Desinfektion mit Hypochlorit. 130 g (60 g + 40 g + 30 g) freies Chlor Ablauf max. 830 mg/l (gelblich trüb) Nach 24 h Einwirkung und 30 l Ablauf 1 mg/l Cl_2 . Symbol: „<“: Wert unterhalb der NWG.

Die gemessenen Werte der Gesamtzellzahl der koloniebildenden Einheiten (KBE) nach der Desinfektion lagen zumeist unterhalb der Nachweisgrenze. In beiden Rucksäcken wurden bei einer Bebrütungstemperatur nach ISO vereinzelt Schimmelpilze der Gattung *Penicillium* nachgewiesen (Abbildung 33).

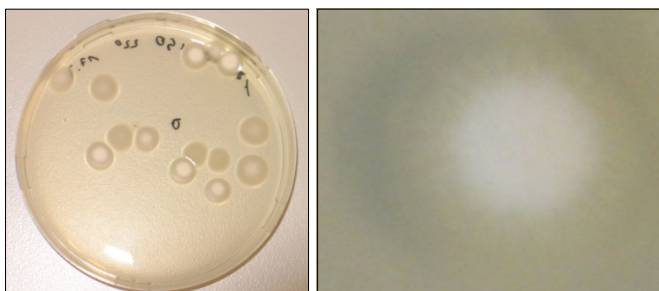


Abbildung 33) Nachgewiesene Schimmelpilze (*Penicillium*). Links: Koloniebildung auf Agarplatte; rechts: einzelne Kolonie.

Grundsätzlich können Schimmelpilze dieser Gattung antibiotisch wirken, sodass ein Wachstum anderer Keime unterdrückt werden konnte.

Eine zweite Desinfektion wurde 12 Tage später durchgeführt. Auch die organische Deckschicht hatte sich gegenüber dem ersten Versuch noch nicht vollständig aufgebaut (Abbildung 31, Seite 52). Die Koloniezahlbestimmungen vor der Desinfektionsmaßnahme zeigten im Vergleich zu den vorangegangenen Messungen deutlich höhere Werte im DEV-Verfahren. Alle Messwerte lagen über der Nachweisgrenze.

Nach der Desinfektion wurde eine Verringerung von 1 - 3,5 Log₁₀-Stufen bestimmt. PAUL D wurde weniger erfolgreich desinfiziert als PAUL C.

Zusammenfassend kann eine Reduktion der Gesamtzellzahl von $2,8 \times 10^6$ KBE/100 ml auf $1,8 \times 10^4$ KBE/100ml (ca. 2 Log₁₀-Stufen Reduktion) festgestellt werden.

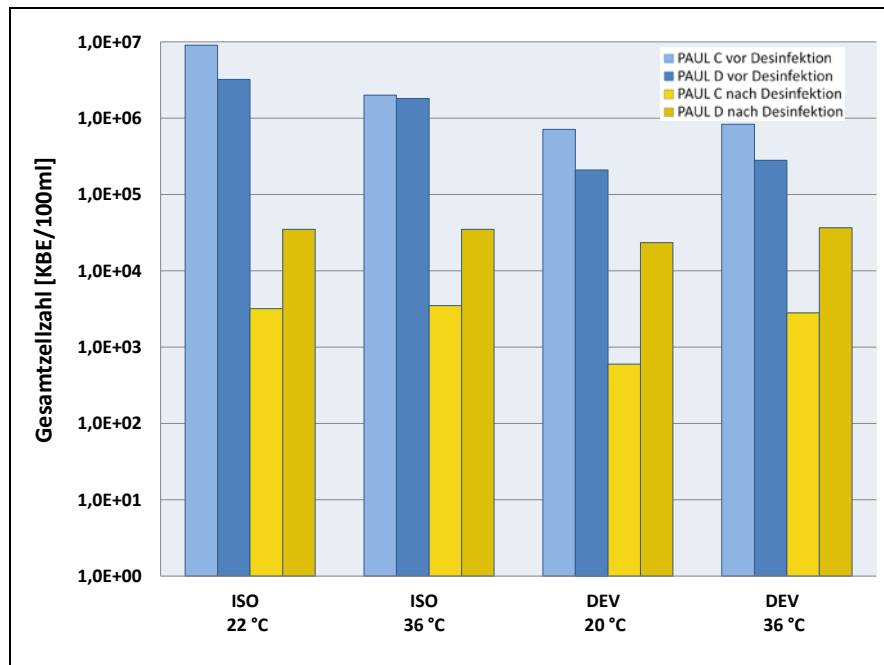


Abbildung 34) zweite Desinfektion. Gesamtzellzahl vor und nach Desinfektion mit Hypochlorit. 1 x 50 g freies Chlor Ablauf max. 80 mg/l (gelblich trüb) Nach 24 h Einwirkung und 50 l Ablauf 0,1 mg/l Cl₂.

3.5 Tracerversuche für Laborexperimente

Zur Aufklärung der hydraulischen Infiltration in das Membran System wurden Tracerversuche durchgeführt (2.7). Die Versuche wurden mit den Wasserrucksäcken PAUL C und D durchgeführt. Die Ergebnisse legen die Ablaufvolumen fest, an denen eine Probenahme nach Zugabe künstlich hergestellter Bakterien und Viren erfolgt.

Beide Untersuchungen zeigten ähnliche Ergebnisse (Abbildung 35). In den ersten 10 Litern Ablauf der Rucksäcke stieg die Leitfähigkeit stark an. Der Anstieg verlangsamte sich nach einem Durchfluss von 10 – 15 Litern. Bis zum Ende der Messung (50 Liter) verringerte sich die Leitfähigkeit. Ein vollständiges ausspülen der Salzionen wurde nach 50 Litern Ablauf nicht erreicht.

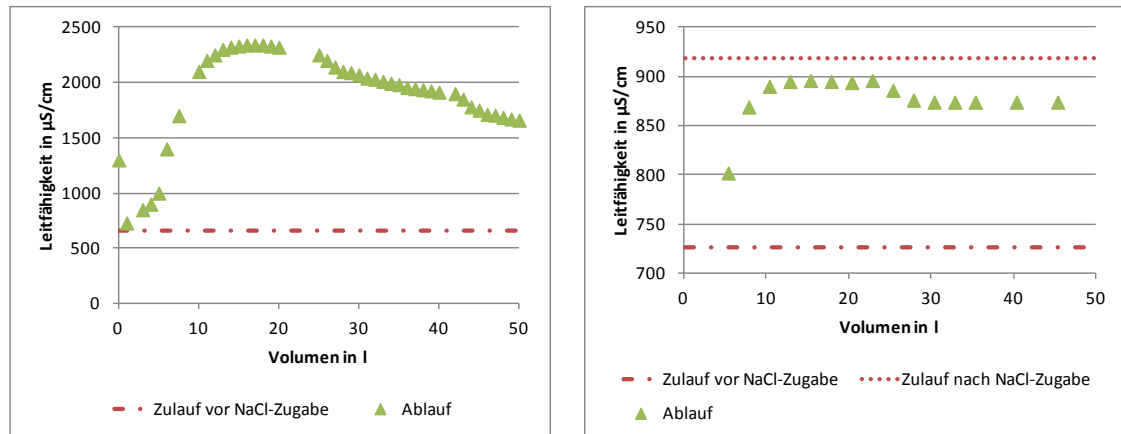


Abbildung 35) Tracerversuche mit Natriumchlorit. Bestimmung der Leitfähigkeit über einen Ablauf von 50 Litern.

Anhand der Ergebnisse wurde für die Versuche mit zusätzlich zugegebenen Indikatorbakterien und Viren eine Mischprobe nach 15 und 25 Litern nach Dosierung festgelegt.

Da die Tracerversuche eine rasche und damit eher lineare Infiltration vom dosierten Wasser zeigten, wurde kein Korrekturfaktor für die berechneten LRVs als notwendig angesehen.

3.6 Aufgetretene Defekte

Beim Transport von PAUL A und PAUL B vom offenen Versuchsfeld in das frostsichere Technikum im Dezember 2012 wurden beide Rucksäcke leicht beschädigt. Bei PAUL A ist das befestigte Ablaufrohr (Kunststoff) von der Membran abgebrochen, bei PAUL B trat ein Riss des Ablaufschlauchs auf (Abbildung 36).

Grund für diese Beschädigung waren fehlende Halterungselemente, die das Membranmodul arretierten. Die Halterungen aus Schaumstoff lösten sich und schwammen nach wenigen Wochen Dauerbetrieb auf und wurden entfernt. Dieser Effekt wurde ebenso bei PAUL C beobachtet. Daher wurden bei PAUL D die Halterungen vorsorglich entfernt.

Da das Membranmodul schwamm, drückte diese Auftriebskraft gegen die Befestigung des Ablaufhahns. Über längere Zeit sorgte diese Einwirkung zum Bruch oder Abriss des Schlauchs.



Abbildung 36) Beobachtete Defekte. Oben links: Ausbeulung des Gehäuses. PAUL A: Abgebrochener Membranablauf. PAUL B: Riss am Schlauch an der Befestigung Ablaufhahn. PAUL C: Riss im Schlauch an der Befestigung Ablaufhahn. PAUL D: Abgerissener Schlauch.

Möglicherweise lösten sich die Membranmodulhalterungen aufgrund von Deformierungen des Wasserrucksacks, die infolge des stetigen Wasserdrucks bei Dauerbetrieb auftraten.

3.7 Tabellarische Übersicht der Ergebnisse

Tabelle 6) Übersicht der Ergebnisse. Werte der parallel betriebenen Wasserrucksäcke wurden gemittelt.

Bez- eich- ung	Untersuchung	Ergebnisse						Bemerkung	Kapitel
		<i>E. coli</i>	Enterokokken	PhiX174	MS2	hAdV	Durchfluss		
		LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	[m ³]		
PAUL A + B	Durchflusskapazität						Min.: - Max.: - Ø /d: 0,7 Σ: 117	Untersuchungszeit- raum: 191 Tage	3.1.1 4.1
PAUL A + B	Freilandversuch mit Abwasser kontaminiertem Oberflächenwasser	Min.: 3,1 Max: 4,7 Ø: >3,9	Min.: 2,8 Max.: >3,1 Ø: >2,4	Min.: 2,9 Max.: >3,3 Ø: >2,7	Min.: 1,0 Max.: >2,2 Ø: >1,1	Min.: - Max.: >4,5 Ø: >2,0	Min.: 0 Max.: 64 Ø /d: - Σ: 64	-	1.7.1 2.5.1
PAUL C + D	Untersuchungen der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser				Koloniezahl [Log ₁₀]		Min.: 280 Max.: 420 Ø /d: 350 Σ: -	-	1.7.4 2.3 3.3
					ISO	DEV			
					22°C: 5,7 36°C: 5,6	20°C: 2,9 36°C: 5,2			

Bezeichnung	Untersuchung	Ergebnisse						Bemerkung	Kapitel
		<i>E. coli</i>	Enterokokken	PhiX174	MS2	hAdV	Durchfluss		
		LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	LRV [Log ₁₀]	[m ³]		
PAUL C + D	Laboruntersuchungen (ein Messwert im Freiland wurde einbezogen)			Min.: 0,8 Max.: 6,4 Ø: 4,0	Min.: 0,7 Max.: 7,4 Ø: 4,9	Min.: 0,7 Max.: >5,0 Ø: 4,1	Min.: 0 Max.: 392 Ø /d: 1,8 Σ: 392	Freiland 392-447m ³ > 400 Tage (>440m ³)	1.7.2 2.5.2 3.1.2 3.1.3 3.2
PAUL E + F	Laboruntersuchung über den Rückhalt von Viren direkt nach Inbetriebnahme	Min.: 1,8 Max.: 3,9 Ø: 3,0	Min.: 3,7 Max.: 4,1 Ø: 3,8	Min.: 2,6 Max.: 5,4 Ø: -	Min.: 2,7 Max.: 6,7 Ø: -	Min.: 2,9 Max.: 4,6 Ø: -	Min.: 0 Max.: 582 Ø /d: -	-	1.7.3 2.5.2 3.2
PAUL C + D	Untersuchungen der Koloniezahl im aufbereiteten Wasser		Vor Cl₂ Koloniezahl [Log ₁₀]		Nach Cl₂ Koloniezahl Versuch 2 [Log ₁₀]		Min.: 280 Max.: 420	-	1.7.4 2.3 3.3 3.4
			<u>ISO</u>	<u>DEV</u>	<u>ISO</u>	<u>DEV</u>			
			22°C: 7,0 36°C: 6,3	20°C: 5,4 36°C: ≤5,4	22°C: 4,3 36°C: 4,3	20°C: 4,1 36°C: 4,3			

4 Diskussion

Die Langzeitversuche wurden mit verdünntem Abwasser durchgeführt. Zusätzlich fanden Laborversuche statt, um einen größeren Konzentrationsbereich untersuchen zu können. Die Beschickung der Wasserrucksäcke erfolgte über mehrere Monate hinweg im überwiegend kontinuierlichen Betrieb.

Eine tabellarische Zusammenfassung befindet sich im Ergebnisteil (Tabelle 6).

4.1 Durchflusskapazität

Die Durchflusskapazitäten der parallel betriebenen Wasserrucksäcke PAUL A und B (mit Abwasser) und PAUL C und D lassen sich nur eingeschränkt miteinander vergleichen. Durch den unterschiedlichen Versuchsaufbau wurden die Rucksäcke nicht immer mit dem gleichen Füllstand betrieben. Unterschiede im hydrostatischen Druck sorgten für Unterschiede in den Durchflussvolumina.

Dennoch ist erkennbar, dass die Rucksäcke (A/B), die mit Abwasser betrieben wurden, mit durchschnittlich $0,7 \text{ m}^3/\text{d}$ eine deutlich niedrigere Durchflusskapazität aufwiesen als die Rucksäcke (C/D), die mit Leitungswasser und durchschnittlich $2,0 \text{ m}^3/\text{d}$ betrieben wurden. Damit sorgte die Verschmutzung des Wassers durch die Abwasserdosierung für eine deutliche Reduktion der Durchflüsse der Membran. Die Rucksäcke PAUL C und PAUL D zeigten in etwas die gleichen Durchflüsse wie PAUL A und B nach dem diese ebenso mit Abwasser betrieben wurden.

Überraschend konnte festgestellt werden, dass eine Desinfektion mit hohen Konzentrationen an freiem Chlor, die mit einer sichtbaren Reinigung einherging, nur zu einem geringen Anstieg des Durchflusses führte, zumal bei PAUL C und D eine deutliche Abnahme der Durchflüsse über die Betriebszeit erkennbar war. Entweder bildete sich nach der Desinfektion umgehend erneut eine blockierende Schicht aus oder der Reinigungsvorgang durch die Desinfektion war nicht vollständig. Gerade anorganische Ablagerungen in der Membran können nur schlecht durch die oxydative Wirkung von Hypochlorit entfernt werden.

Insgesamt waren die Durchflüsse des untersuchten Membransystems PAUL für eine Notversorgung von kleinen Gruppen ausreichend. Ein Betrieb über einen längeren Zeitraum ist technisch durchaus möglich.

4.2 Eliminierung von Bakterien und Viren

Für die durchschnittliche Elimination der Bakterien *E. coli* und *Enterococcus faecium* wurden 3-4 Log₁₀-Stufen erreicht. Diese Werte wurden in den ersten 400 Litern Durchfluss mit Trinkwasser und künstlich zugesetzten Bakterien gemessen (Abbildung 25, 26). Die durchgeführten Versuche mit Abwasser und Oberflächenwasser liegen den tatsächlichen Einsatzbedingungen näher als Laborversuche. Jedoch war bei diesen Versuchen der Bestimmungsbereich für die Reduktion der Bakterien zu gering. Zudem wurden die Messungen bereits nach einem Durchfluss von wenigen hundert Litern durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass nach längerem Betrieb der LRV ansteigt (3.2.4, 3.1.2). Eine Verkeimung mit *E. coli* und *Enterococcus faecium* auf der Filtratseite wurde nicht beobachtet. Aufgrund der Porenweite der Membran von 20 - 100 nm wurde ein höherer Rückhalt der Bakterien erwartet. Ursache für den geringen Rückhalt könnten beispielsweise Fehlstellen in der Membran und/oder eine nicht vollständige Trennung von Rohwasser und Filtratseite sein. Die Integrität der Membran konnte nicht abschließend getestet werden.

Berücksichtigt man nur Werte nach einer längeren Betriebszeit der Rucksäcke (ohne Einfahrphase; siehe hierzu separates Kapitel 4.3, 4.3), kann von einer durchschnittlichen Viruselimination von größer 4 LRV und einer sicheren Elimination von mindestens 2 Log₁₀-Stufen ausgegangen (Abbildung 22, 23, Versuche mit Trinkwasser) werden.

4.3 Anfangseliminierung und Einfahrphase

Der Effekt eines geringeren Rückhalts der Bakterien direkt nach Inbetriebnahme, ist nur ansatzweise durch vereinzelte Werte erkennbar. So wurde zum Startzeitpunkt im Laborversuch für *E. coli* mit Trinkwasser der niedrigste Wert von 1,8 LRV (Log₁₀-Stufen) gemessen. Die größte Elimination von *E. coli* lag bei 3,9 LRV.

Für Enterokokken wurden LRVs von 3,7 bis > 4,1 ermittelt (Tabelle 6, PAUL E/F). In den Freilandversuchen wurden LRVs von 2,8 bis > 3,1 gemessen (PAUL A/B).

Ob zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme Bakteriophagen und hAdV schlechter zurückgehalten wurden, dazu liegen widersprüchliche Ergebnisse vor. Ein derartiger Effekt wurde bei den Rucksäcken PAUL E und PAUL F nicht zweifelsfrei beobachtet (Abbildung 27, 28, 29.). In dieser Testreihe, in der speziell der Rückhalt zu Betriebsbeginn mit einer höheren Messdichte beleuchtet wurde, wurden LRV-Virenrückhalte zwischen 2,6 und 6,7 gemessen.

Bei PAUL A und PAUL B, die mit Abwasser betrieben wurden, wurden in den ersten 10 m³ vereinzelt Viren im Ablauf nachgewiesen. Spätere Messungen lagen unterhalb der NWG.

Die Laborexperimente mit Zugabe hoher Konzentrationen an Bakteriophagen und Adenoviren (PAUL C/D und E/F) lieferten im Ablauf stets Werte oberhalb der Nachweisgrenze und können daher genaue Aussagen über die LRV ermöglichen.

Entgegen den hohen Rückhalte-Ergebnissen mit den PAUL E/F wurde bei PAUL C/D zum Startzeitpunkt für die Viren ein deutlich geringerer Rückhalt von $< 1 \text{ Log}_{10}$ -Stufe (mit einer Ausnahme der hAdV bei PAUL C: $\text{LRV} = 1,5$). Diese Werte sind kritisch und für eine Elimination von Viren zu gering (3.2.2). Die empfohlene Spülung vor Inbetriebnahme, die in diesen Experimentalreihen ausgesetzt wurde, ist daher wichtig und sollte eingehalten werden.

Während die Bakterien (mit Größen von $> 600\text{nm}$) durch die Membran von Anfang an gut zurückgehalten werden, können die sehr viel kleineren Viren (Phagen ca. 26 - 30 nm, hAdV $\sim 70\text{-}90 \text{ nm}$) durch die Poren (20-100 nm) der Membran gelangen. Nach der Bildung einer Deckschicht kommt es zur Deckschichtfiltration, die vor allem durch Adsorptionsvorgänge den Virenrückhalt deutlich verbessert. Da Viren eine hohe Bindungsaffinität an Oberflächen haben, ist die Deckschicht besonders wirksam.

4.4 Zahl der Bakterienkolonien im abgegebenen Wasser und Desinfektion

Eine filtratseitige Verkeimung des Wasserrucksacks trat unabhängig von der Betriebsart (mit Trinkwasser oder Abwasser) auf. Die Messwerte mit Abwasser um etwa eine Log_{10} -Stufe höher als die mit Trinkwasser, was sich mit dem höheren Nährstoffangebot begründen lässt (3.3, 3.4.2).

Insgesamt liegen die Werte für Messungen mit der ISO Methode zwischen $10^5 \text{ KBE}/100\text{ml}$ und $2 \times 10^7 \text{ KBE}/100\text{ml}$. Werden die Messungen zur zweiten Desinfektion und der erhöhte Wert nach DEV ($36 \text{ }^\circ\text{C}$) nicht berücksichtigt, lagen die Werte der DEV-Messung deutlich niedriger (1 - 3,5 Log_{10} -Stufen). Dies könnte auf eine stärkere Besiedelung mit oligotrophen Umweltkeimen hindeuten, da das Nährmedium nach ISO weniger Nährstoffe enthält als das DEV-Nährmedium. Umweltkeime sind ihrem Lebensraum (häufig im Biofilm) angepasst und benötigen weniger Nährstoffe. Analog benötigen Fäkalkeime viele Nährstoffe. In einigen Messungen ohne vorherige Zugabe von Bakterienkonzentrationen wurden keine *E. coli* und keine Enterokokken nachgewiesen, was wiederum die Rückverkeimung belegt.

Vor der zweiten Desinfektion wurden hohe Werte mit dem DEV-Verfahren gemessen. Die Werte lagen nur knapp unter den mit dem ISO-Verfahren gemessenen Werten. Es erscheint möglich, dass durch den ersten Desinfektionsversuch ein hoher Eintrag an Nährstoffen mit einer einhergehenden Neubesiedelung mit hypertrophen Bakterien zusammenhängen könnte.

Der Einsatz von einem Äquivalent von 130 g freiem Chlor zeigte beim ersten Desinfektionsversuch eine deutliche Wirkung. Es konnten keine Bakterien in einem Milliliter im Ablauf nachgewiesen werden. Die Reduktion betrug mehrere Log_{10} -Stufen. Beim zweiten Versuch mit einer einmaligen Zugabe von einem Äquivalent an freiem Chlor mit 50 g wurden Werte in Höhe von 10^4 Log_{10} -Stufen gemessen. Diese Werte zeigen, dass unter den gegebenen Bedingungen Zugaben von 50 g – 130 g freies Chlor zur Desinfektion der Rucksäcke notwendig sind. Ferner ist frühestens nach 12 Tagen mit einer maximalen Wiederverkeimung bis zu 10^7 KBE/100ml zu rechnen.

Die schnelle und hohe Wiederverkeimung nach einer Anlagendesinfektion mittels Hochchlorung lässt eine chemische Desinfektion als kaum sinnvoll erscheinen, besonders auch hinsichtlich des Einsatzzweckes des Wasserrucksacks. Die hohen Koloniezahlen aufgrund von Rückverkeimungen stellen jedoch ein gesundheitliches Risiko dar, das aber mit den vorliegenden Ergebnissen noch nicht eindeutig quantifizierbar ist.

4.5 Hygienische Beurteilung

Das DALY-Konzept (disability-adjusted life years, 1.5) würde für ein angenommenes und von der WHO angestrebtes hohes Gesundheitsziel von 10^{-6} DALY bei Vorhandensein von 10 Rotaviren (80-85 nm) pro 1 Liter Rohwasser einer Viruseliminierung von ca. 6 Log_{10} -Stufen erfordern. Folglich dürfte bei einer Eliminierung von 2 Log_{10} -Stufen (wie sie in der durchgeführten Testreihe für die PAUL Einheiten ermittelt wurden) das Oberflächengewässer lediglich eine Konzentration an Rotaviren von 0,001 Viren pro Liter im Rohwasser enthalten. Da im Abwasser aber Rotaviren in Konzentrationen von eher 50 - 5000 Viren pro Liter vorkommen können und im Katastrophenfall im aufzubereitenden Trinkwasser eine Abwasserkontamination von 1 % als realistisch angenommen werden kann, kann eine Konzentration von deutlich mehr als 10 Viren pro Liter Rohwasser oder noch höheren Konzentrationen als realistisch angesehen werden. Das Gesundheitsziel von 10^{-6} DALY kann für Viren unter diesen Bedingungen nicht erreicht werden.

Das Beispiel zeigt dennoch, dass mit einer Reduktion von minimal 2 Log_{10} -Stufen (Abbildung 22) durchaus eine signifikante Verringerung von Erkrankungen erreicht werden kann. Damit kann zur Verbesserung der gesundheitlichen Situation von Kleingruppen in Notsituationen signifikant beigetragen werden, vorausgesetzt dass auf der Filtratseite keine Pathogene wachsen und die PAUL Einheit störungsfrei betrieben wird.

Es gibt jedoch eine Reihe von Faktoren, die in Notsituation in Betracht gezogen werden müssen. Die Versorgung mit Wasser sollte schnellstmöglich erfolgen und ist zeitlich begrenzt. Gerade eine schnelle Versorgung von kleinen Personengruppen in abgelegenen Gebieten stellt eine besondere Herausforderung dar (siehe Einleitung).

Für die Notwasserversorgung im Katastrophenfall ist meistens das vorrangige Ziel die Qualität des direkt zur Verfügung stehenden Wassers zu verbessern (WHO 2001, Kapitel 6.7).

4.6 Defekte

Als Fehlerquelle für die aufgetretenen Defekte (3.6) wurde eine nicht ausreichende Arretierung des Membranmoduls festgestellt. Durch eine Neukonstruktion der Formteile zur Fixierung des Membranmoduls konnte diese Fehlerquelle für spätere Baureihen der PAUL Filtriereinheiten plausibel ausgeschlossen werden.

4.7 Fazit

Das Fazit ist im Rahmen der Zielstellung (1.6) der F&E-Kooperation in Abgrenzung zu anderen Fragestellungen einzuordnen (1.6.1).

Die Aufbereitungsleistung des getesteten Membranfiltersystems in Verbindung mit der langen Einsatzfähigkeit und ohne den Einsatz von Fremdenergie kann die gesundheitliche Situation von Kleingruppen in Notsituationen auch hinsichtlich des Infektionsrisikos gegenüber aus dem Wasser aufgenommenen Viren signifikant verbessern. Ist eine verminderte Startelimination auszuschließen, kann von einem zuverlässig erreichten Rückhalt von mindestens 3 Log₁₀-Stufen für Bakterien und mindestens 2 Log₁₀-Stufen für Viren (Abbildung 22.) ausgegangen werden. Zahlreiche Messwerte lagen jedoch mehrere Log₁₀-Stufen höher.

Fazit der weiteren Untersuchungen

Bei gering verschmutztem Wasser bildet sich vergleichsweise langsam eine Deckschicht auf der Membran aus, welche die Leistungsfähigkeit des Wasserrucksacks erhöhen könnte. Daher erfolgte zum Startzeitpunkt nur eine geringe oder gar keine Eliminierung von Viren (< 1 Log₁₀-Stufen). Die empfohlene Spülung vor Inbetriebnahme, die in den vorliegenden Experimentalreihen ausgesetzt wurde, ist daher wichtig und sollte eingehalten werden. Der Zeitpunkt, ab dem eine ausreichende Deckschicht vorhanden ist, sollte eingehender untersucht werden.

Insgesamt waren die Durchflüsse des untersuchten PAUL Membransystems für eine Notversorgung von kleinen Gruppen ausreichend. Ein Einsatz über eine längere Zeitspanne ist technisch durchaus realistisch. Die maximale Aufbereitungsmenge der Membran konnte im Untersuchungszeitraum nicht bestimmt werden.

Die Halterung des Filtrationsmoduls wurde im Projektzeitraum verbessert, so dass die beobachteten Defekte am Modul nicht mehr zu erwarten sind.

Für eine Porenweite der Membran von 20 – 100 nm lag der Rückhalt der Bakterien etwas zu niedrig. Die technische Weiterentwicklung des Wasserrucksacks sollte auch eine tatsächliche Filterung des Wassers vom angegebenen Bereich verfolgen.

Die beobachteten hohen Koloniezahlen aufgrund von Rückverkeimungen des Filtrats stellen durchaus ein gesundheitliches Risiko dar, das jedoch mit den bisher vorliegenden Ergebnissen nicht eindeutig quantifizierbar ist. Eine chemische Desinfektion des Membransystems durch einmalige Zugabe einer hohen Wirkstoffkonzentration (Anlagendesinfektion) zur Absenkung der Koloniezahl scheint wenig sinnvoll, da zum einen beim Einsatz von Chlor (Hypochlorit) extrem hohe Einsatzmengen benötigt werden (zwischen > 50 g – 130 g freies Chlor), zum anderen mit einer raschen Wiederverkeimung zu rechnen ist. Gerade vor dem Hintergrund des Einsatzzwecks erscheint die Anwendung einer Hochchlorung praktisch kaum durchführbar. Eine zusätzliche Desinfektion des abgegebenen Wassers erscheint hingegen als erfolgversprechend, da das Filtrat nahezu frei von Partikeln ist. Eine nachgeschaltete Desinfektion z.B. durch UV-Bestrahlung würde auch zu erhöhten Sicherheit der Aufbereitung führen, da bei Membranfiltersystemen eine Beschädigung der Membran häufig nicht erkannt werden kann.

4.8 Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Präzisierung der Startelimination und Einfahrphase
- Gewährleistung der angegebenen Porenweite von 20-100 nm
- Taxonomische Aufklärung der Keime im Ablauf zur Bewertung des Auftretens möglicher Krankheitserreger
- Ermittlung der Wiederverkeimungsgeschwindigkeit nach Desinfektion
- Entwicklung alternativer Verfahren zur Reduktion der Verkeimung z.B. durch eine dauerhaft angewendete UV-Desinfektion
- Einfluss von Extremereignissen auf die Funktionsfähigkeit (Trockenfallen, begünstigende Bedingungen für Schimmelbildung, häufige Desinfektion)
- Funktionsprüfung nach Rückführung von im praktischen Einsatz befindlichen Wasserrucksäcken
- Epidemiologische Studien

Danksagung

Die Kooperation wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert und durch die Universität Kassel unterstützt.

Das Umweltbundesamt dankt für die Förderung und Unterstützung sowie für die gute Zusammenarbeit!

Im Besonderen sei auch den technischen Mitarbeitern an den Standorten Corrensplatz und Marienfelde des UBA, Frau Arndt, Herrn Beetz, Frau Klinkmüller, Frau Kretschmer, Frau Mekonnen, Herrn Mudra und Frau Süßenbach, gedankt, die durch ihre tatkräftige Unterstützung die technische Umsetzung der Experimente ermöglichten. Herrn Dr. Hartmann wird für die Herstellung und Überlassung der verwendeten Adenoviren gedankt.

Literatur

- Bae, J. und Schwab, K.J.:** Evaluation of murine Norovirus, feline Calicivirus, Poliovirus and MS2 as surrogates for human Norovirus in a model of viral persistence in surface water and groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*, (2008) 74 (2):477-484.
- Boom, R.; Sol, C.J.A.; Salimans, M.M.M.; Jansen, C.J.; Wertheim-van Dillen, P.M.E.; van der Noordaa, J.:** Rapid and simple method for purification of nucleic acids. *J Clin Microbiol.* (1989), 28:495-503.
- DIN EN ISO 6222:1999 (22 °C und 36 °C):** Quantitative Bestimmung der kultivierbaren Mikroorganismen – Bestimmung der Koloniezahl durch Einimpfen in ein Nähragarmedium
- DIN EN ISO 7899-1:** *Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwasser und Abwasser - Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren).* 1999.
- DIN EN ISO 9308-3:** *Nachweis und Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien in Oberflächenwasser und Abwasser - Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren).* 1999.
- DIN EN ISO 10705-1:** *Nachweis und Zählung von Bakteriophagen - Teil 1: Zählung von F spezifischen RNA-Bakteriophagen.* 2002.
- DIN EN ISO 10705-2:** *Nachweis und Zählung von Bakteriophagen - Teil 2: Zählung von somatischen Coliphagen.* 2002.
- Fields B.N., Knipe D.M., Howley P.M.:** Adenoviridae: The viruses and their replication. *Fields Virology.* Philadelphia: *Lippincott-Raven publishers* (1996) 2111-2138.
- Gantzer, C.; Maul, A.; Audic, J.M.; Schwartzbrod, L.:** Detection of infectious enteroviruses, enterovirus genomes, somatic coliphages, and Bacteroides fragilis phages in treated wastewater. *Appl Environ Microbiol.* (1998) 64(11):4307-12.
- Grabow, W.O.K., Gauss-Müller, V., Prozesky, O.W. und Deinhardt, F.:** Inactivation of Hepatitis A Virus and Indicator Organisms in Water by Free Chlorine Residuals. *Applied and Environmental Microbiology*, (1983) 46 (3):619-624.
- Grabow, W.O.K.:** Bacteriophages: Update on application as models for viruses in water. *Water. SA* (2001), 27 (1): 251-268.

- Hernroth, B.E.; Conden-Hansson, A.C.; Rehnstam-Holm, A.S.; Girones, R.; Allard, A.K.:** Environmental factors influencing human viral pathogens and their potential indicator organisms in the blue mussel, *Mytilus edulis*: the first Scandinavian report. *Appl Environ Microbiol.* (2002). 68(9): 4523-33.
- IHU (Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg).** Cholera in Hamburg – die Katastrophe beginnt (2009)
URL: <http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2009/2870/>, letzter Zugriff am 03.09.2012.
- Hunter P.R.:** Waterborne disease: Epidemiology and ecology. *J. Wiley and Sons, Chichester* (1997).
- Kennedy, M.; Parks, R.J.:** Adenovirus Virion Stability and the Viral Genome: Size Matters. *Mol Ther.* (2009) 17(10), S. 1664–1666. PMC2835018.
- Michel, A.; Clermont, O.; Denamur, E.; Tenailon, O.:** Bacteriophage PhiX174's ecological niche and the flexibility of its Escherichia coli lipopolysaccharide receptor. *Applied and Environmental Microbiology* (2010), 71[21]: 7310–7313.
- Modrow, S.; Falke, D.; Truyen, U.:** Molekulare Virologie. *Spektrum Akademischer Verlag GmbH* (2003), Heidelberg, Berlin. 2. Aufl, S. 17.
- Schmoll, O.; Chorus, I.; Feuerpfeil, I.; Selinka, H.-C.; Szewzyk, R.:** Die Bewertung gesundheitlicher Risiken durch Krankheitserreger im Trinkwasser. Theoretische Maßstäbe und praktische Konsequenzen. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 17 (2) 2012.
- Shirasaki, N.; Matsushita, T.; Matsui, Y.; Ohno, K.:** Effects of reversible and irreversible membrane fouling on virus removal by a coagulation–microfiltration system. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA* Vol 57 No 7 pp 501–506. IWA 2008. doi:10.2166/aqua.2008.048.
- Trinkwasserverordnung:** *Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001)* in der Fassung vom 28. November 2011 (BGBl. I S. 2370), zuletzt geändert durch die Zweite Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 5. Dezember 2012.
- Umweltbundesamt:** *Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 Trinkwasserverordnung 2001.*
17. Änderung. 30.11.2012. www.umweltbundesamt.de/;
www.bundesanzeiger.de.
- Vilaginès, P.h.; Sarrette, B.; Husson, G.; Vilaginés R.:** Glasswool for Virus concentration at ambient water pH level. *Wat. Sci. Tech.* (1993), Vol. 27, No 3-4, pp, 299-306.
- World Health Organization (WHO):** Editors: Guidelines for drinking-water quality, *WHO* fourth edition (2011); ISBN: 978 92 4 154815 1

-
- Wyer, M.D.; Wyn-Jones, A.P.; Kay, D.; Au-Yeung, H.K.; Gironés, R.; López-Pila, J.; de Roda Husman, A.M.; Rutjes, S.; Schneider, O.:** Relationships between human adenoviruses and faecal indicator organisms in European recreational waters. *Water Res.* (2012). 1;46(13):4130-41. doi: 10.1016/j.watres.2012.04.008. Epub 2012 Apr 19.
- Wyn-Jones, A.P.; Sellwood, J.:** enteric viruses in aquatic environment. *J Appl. Microbiol.* (2001) 91:945-962.

Anhänge

Anhang 1 Durchflussmessung

PAUL A und PAUL B

Ablaufvolumen								gemessener Volumenstrom in l/h		
								30.05.2012	160	170
								31.05.2012	75,2	75,9
Versuchsbeginn	30.05.2012									
								Durchschnitt	0,59	0,64
		von Wasserzähler abgelesene Stände in m ³			Volumen in m ³			Volumenstrom in m ³ /d		
Datum + Uhrzeit		PAULA	PAULB		Zeit in d	PAULA	PAULB		PAULA	PAULB
30.05.2012		0,160	0,146		0,0	0,0	0,0			
30.05.2012		0,254	0,268		0,4	0,1	0,1		0,2	0,3
31.05.2012		1,006	1,011		1,0	0,8	0,9		1,3	1,3
04.06.2012		2,084	2,030		5,0	1,9	1,9		0,3	0,3
19.06.2012		5,118	3,815		20,0	5,0	3,7		0,2	0,1
20.06.2012		5,160	4,030		21,0	5,0	3,9		0,0	0,2
25.06.2012		5,499	4,472		26,0	5,3	4,3		0,1	0,1
26.06.2012		5,559	4,508		27,5	5,4	4,4		0,0	0,0
27.06.2012		5,629	4,744		28,6	5,5	4,6		0,1	0,2
03.07.2012		6,880	8,960		34,6	6,7	8,8		0,2	0,7
04.07.2012		7,040	9,182		35,3	6,9	9,0		0,2	0,3
10.07.2012		11,300	10,844		41,4	11,1	10,7		0,7	0,3
18.07.2012		15,968	14,604		49,6	15,8	14,5		0,6	0,5
25.07.2012		17,037	18,098		56,7	16,9	18,0		0,2	0,5
31.07.2012		20,227	21,868		62,8	20,1	21,7		0,5	0,6
13.08.2012		23,056	28,999		75,4	22,9	28,9		0,2	0,6
21.08.2012		24,631	33,681		83,0	24,5	33,5		0,2	0,6
04.09.2012		25,430	41,603		97,0	25,3	41,5		0,2	0,6
05.09.2012		26,580	43,040		98,0	26,4	42,9		1,2	1,4
07.09.2012		28,420	45,060		100,0	28,3	44,9		0,9	1,0
11.09.2012		32,878	48,196		104,0	32,7	48,1		1,1	0,8
13.09.2012		35,281	50,173		106,0	35,1	50,0		1,2	1,0
19.09.2012		42,270	55,810		112,0	42,1	55,7		1,2	0,9
20.09.2012		43,280	56,320		113,0	43,1	56,2		1,0	0,5
24.09.2012		47,700	59,180		117,0	47,5	59,0		1,1	0,7
26.09.2012		50,150	60,540		119,0	50,0	60,4		1,2	0,7
02.10.2012		57,050	63,510		125,0	56,9	63,4		1,2	0,5
04.10.2012		59,200	64,810		127,0	59,0	64,7		1,1	0,7
09.10.2012		64,372	66,211		132,0	64,2	66,1		1,0	0,3
24.10.2012		77,740	77,510		147,0	77,6	77,4		0,9	0,8
31.10.2012		84,289	89,329		154,6	84,1	89,2		0,9	1,5
06.11.2012		88,580	91,400		160,0	88,4	91,3		0,8	0,4
13.11.2012		93,380	97,890		167,0	93,2	97,7		0,7	0,9
14.11.2012		94,430	99,160		168,0	94,3	99,0		1,1	1,3
23.11.2012		101,880	108,210		177,0	101,7	108,1		0,8	1,0
06.12.2012		112,260	121,300		190,0	112,1	121,2		0,8	1,0
07.12.2012		112,930	122,110		191,0	112,8	122,0		0,7	0,8

PAUL C und PAUL D

Ablaufvolumen											
					Durchschnitt			2,04	1,91		
02.07.2012 12:00		von Wasserzähler abgelesene Stände in m ³				Volumen in m ³		Volumenstrom in m ³ /d			
Datum + Uhrzeit		PAUL C	PAUL D		Zeit in d	PAUL C	PAUL D	PAUL C	PAUL D		
03.07.2012 08:30		1,771	0,752		0,9	1,8	0,8	2,1	0,9		
04.07.2012 08:50		4,063	2,818		1,9	4,1	2,8	2,3	2,0		
05.07.2012 08:25		6,081	4,811		2,9	6,1	4,8	2,1	2,0		
09.07.2012 09:05		16,306	12,322		6,9	16,3	12,3	2,5	1,9		
11.07.2012 08:40		20,307	16,001		8,9	20,3	16,0	2,0	1,9		
12.07.2012 09:00		22,810	18,458		9,9	22,8	18,5	2,5	2,4		
13.07.2012 07:30		24,791	20,173		10,8	24,8	20,2	2,1	1,8		
16.07.2012 10:00		33,082	28,383		13,9	33,1	28,4	2,7	2,6		
17.07.2012 08:30		34,424	29,674		14,9	34,4	29,7	1,4	1,4		
18.07.2012 08:10		36,980	32,210		15,8	37,0	32,2	2,6	2,6		
19.07.2012 09:30		38,556	33,479		16,9	38,6	33,5	1,5	1,2		
23.07.2012 10:00		49,131	33,479		20,9	49,1	33,5	2,6	0,0		
26.07.2012 11:00		55,656	40,981		24,0	55,7	41,0	2,1	2,5		
30.07.2012 08:00		55,656	47,301		27,8	55,7	47,3	0,0	1,6		
31.07.2012 14:05		55,656	49,962		29,1	55,7	50,0	0,0	2,1		
31.07.2012 15:15			30,177	neuer Wasserzähler an PAUL D							
14.08.2012 10:10		98,394	67,664		42,9	98,4	87,4	3,1	2,7		
16.08.2012 08:30		102,250	70,459		44,9	102,3	90,2	2,0	1,4		
20.08.2012 09:00		110,689	78,760		48,9	110,7	98,5	2,1	2,1		
21.08.2012 09:00		112,228	80,844		49,9	112,2	100,6	1,5	2,1		
22.08.2012 09:50		113,537	83,126		50,9	113,5	102,9	1,3	2,2		
23.08.2012 09:00		115,480	85,163		51,9	115,5	104,9	2,0	2,1		
27.08.2012 09:15		124,372	91,689		55,9	124,4	111,5	2,2	1,6		
28.08.2012 09:00		125,978	93,568		56,9	126,0	113,4	1,6	1,9		
29.08.2012 08:30		126,937	95,651		57,9	126,9	115,4	1,0	2,1		
30.08.2012 09:50		129,125	97,893		58,9	129,1	117,7	2,1	2,1		
03.09.2012 09:00		138,380	106,365		62,9	138,4	126,2	2,3	2,1		
05.09.2012 08:45		143,272	109,634		64,9	143,3	129,4	2,5	1,6		
06.09.2012 08:45		145,408	111,688		65,9	145,4	131,5	2,1	2,1		
10.09.2012 08:50		154,798	117,618		69,9	154,8	137,4	2,3	1,5		
11.09.2012 08:50		156,859	119,931		70,9	156,9	139,7	2,1	2,3		
13.09.2012 08:50		161,359	123,499		72,9	161,4	143,3	2,3	1,8		
17.09.2012 08:50		169,494	130,821		76,9	169,5	150,6	2,0	1,8		
18.09.2012 09:00		171,469	132,947		77,9	171,5	152,7	2,0	2,1		
25.09.2012 17:00		187,515	146,391		85,2	187,5	166,2	2,2	1,8		
27.09.2012 15:00		191,221	149,892		87,1	191,2	169,7	1,9	1,8		
01.10.2012 13:00		199,431	159,240		91,0	199,4	179,0	2,1	2,4		
08.10.2012 10:00		213,184	175,954		97,9	213,2	195,7	2,0	2,4		
12.10.2012 13:30		221,290	184,754		102,1	221,3	204,5				
12.10.12 13:30 bis 15.10.12 11:30	wegen Wassersperrung abgedreht										
22.10.2012 13:15		230,781			112,1	230,8					
22.10.2012 15:26		230,971	196,102		112,1	231,0	215,9	2,1			
22.10.2012 15:50		230,978			112,2	231,0					
22.10.2012 18:50		231,270			112,3	231,3		2,3			
23.10.2012 10:20		232,678	197,901		112,9	232,7	217,7	2,2	2,3		
23.10.2012 14:45		232,986	198,335		113,1	233,0	218,1	1,7	2,4		
31.10.2012 09:30		247,114	211,686		120,9	247,1	231,5	1,8	1,7		

12.11.2012 10:30	270,238	232,852		41225,4	270,2	252,6		0,0	1,8
30.11.2012 00:00	299,642	259,447		41243,0	299,6	279,2		1,7	1,5
21.12.2012 07:30	327,620	284,567		41264,3	327,6	304,4		1,3	
	abgeschaltet! Weihnachtspause								
07.01.2013 10:30	Füllstand ca. 10 cm unter Filterkante (leicht modriger Kunststoffgeruch)							0,0	1,9
09.01.2013 07:20	328,305	288,230		41283,3	328,3	308,0		0,0	1,6
31.01.2013 08:00	342,668	288,262		41305,3	342,7	308,0		0,7	
	PAUL D eintauchtiefe gering								
31.01.2013 12:36	342,869	288,494		41305,5	342,9	308,3		1,0	1,2
11.02.2013 07:00	355,133	303,713		41316,3	355,1	323,5		1,1	1,4
14.02.2013 09:00	358,127	307,511		41319,4	358,1	327,3		1,0	1,2
26.02.2013 08:00	369,736	322,383		41331,3	369,7	342,2		1,0	1,2
14.03.2013 08:00	385,464	339,224		41347,3	385,5	359,0		1,0	1,1
05.04.2013 08:00	398,810	352,451		41369,3	398,8	372,2		0,6	0,6
25.04.2013 08:00	407,976	360,173		41389,3	408,0	380,0		0,5	0,4
08.05.2013 08:00	413,574	364,851		41402,3	413,6	384,6		0,4	0,4
13.05.2013 08:00	415,907	367,103		41407,3	415,9	386,9		0,5	0,5
14.05.2013 08:00	416,208	367,369		41408,3	416,2	387,2			
04.06.2013 09:30	416,239	367,392		41429,4	416,239	387,2			
04.06.2013 11:30	416,301	367,454		41429,5	416,301	387,2			
04.06.2013 13:30	416,460	367,590		41429,6	416,5	387,4			
05.06.2013 10:15	416,709	367,773		41430,4	416,7	387,6			
05.06.2013 17:00	416,826	367,881		41430,7	416,8	387,7			
12.06.2013 00:00	416,826	367,881		41437,0	416,8	387,7			
13.06.2013 00:00	416,826	367,881		41438,0	416,8	387,7		0,0	0,0
14.06.2013 00:00	416,826	367,881		41439,0	416,8	387,7		0,0	0,0
17.06.2013 00:00	416,826	367,881		41442,0	416,8	387,7		0,0	0,0
24.06.2013 00:00	416,826	367,881		41449,0	416,8	387,7		0,0	0,0
26.06.2013 00:00	416,826	367,881		41451,0	416,8	387,7		0,0	0,0
28.06.2013 00:00	416,826	367,881		41453,0	416,8	387,7		0,0	0,0
01.07.2013 00:00	416,826	367,881		41456,0	416,8	387,7		0,0	0,0
03.07.2013 00:00	416,826	367,881		41458,0	416,8	387,7		0,0	0,0
05.07.2013 00:00	416,826	367,881		41460,0	416,8	387,7		0,0	0,0
08.07.2013 00:00	416,826	367,881		41463,0	416,8	387,7		0,0	0,0
11.07.2013 00:00	416,826	367,881		41466,0	416,8	387,7		0,0	0,0
15.07.2013 00:00	416,826	367,881		41470,0	416,8	387,7		0,0	0,0
19.07.2013 00:00	416,826	367,881		41474,0	416,8	387,7		0,0	0,0
24.07.2013 00:00	416,826	367,881		41479,0	416,8	387,7		0,0	0,0
25.07.2013 00:00	416,826	367,881		41480,0	416,8	387,7		0,0	0,0
01.08.2013 00:00	416,826	367,881		41487,0	416,8	387,7		0,0	0,0
07.08.2013 00:00	416,826	367,881		41493,0	416,8	387,7		0,0	0,0
14.08.2013 00:00	416,826	367,881		41500,0	416,8	387,7		0,0	0,0
15.08.2013 00:00	416,826	367,881		41501,0	416,8	387,7		0,0	0,0
19.08.2013 00:00	416,826	367,881		41505,0	416,8	387,7		0,0	
21.08.2013 00:00	416,826	367,881		41507,0	416,8	387,7		0,0	
26.08.2013 00:00	416,826	367,881		41512,0	416,8	387,7		0,0	
29.08.2013 00:00	416,826	367,881		41515,0	416,8	387,7		0,0	
11.09.2013 00:00	416,826	367,881		41528,0	416,8	387,7		0,0	
23.09.2013 00:00	416,826	367,881		41540,0	416,8	387,7		0,0	

EREIGNISSE	von Wasserzähler abgelesene Stände in m ³		Wertetabelle		
	PAUL C	PAUL D	PAUL C	PAUL D	
12.06.2013 00:00	416,826	367,881	0	0	MF Abwasser ca. 1,4 %
12.06.2013 00:00	416,826	367,881	3	3	
16.07.2013 00:00	441,616	396,060	0	0	Desinfektion 1
16.07.2013 00:00	441,616	396,060	3	3	
29.07.2013 00:00	451,177	403,156	0	0	Desinfektion 2
29.07.2013 00:00	451,177	403,156	3	3	

Anhang 2 Messwerte Indikatororganismen /-viren

PAUL A und PAUL B

		Messwerte											
		Abwasser Ruheleben						Zulauf PAUL A/B					
		Konzentration in 1/100 ml						Konzentration in 1/100 ml					
Datum	MR-Nr.	somatische Coliphagen	F ⁺ -spezifische Coliphagen	hAdV	E. coli	I. E.	Nachweismethode	MR-Nr.	somatische Coliphagen	F ⁺ -spezifische Coliphagen	hAdV	E. coli (MTP)	I. E. (MTP)
29.05.2012	325-12	2,5E+06	4,7E+05	1,0E+06	1,6E+07	1,0E+06	MTP						
30.05.2012	326-12	1,1E+06	1,1E+05	1,4E+06	1,3E+07	2,2E+05	MTP	327-12	1,8E+04	1,5E+03	5,9E+04	5,0E+04	3,5E+03
31.05.2012								330-12	3,6E+03	9,0E+01 <	1,0E+02	4,5E+04	7,8E+02
01.06.2012								333-12	2,6E+03	4,0E+01	2,0E+02	4,3E+04	1,2E+03
04.06.2012								336-12	1,3E+04	4,0E+02	3,5E+04	5,1E+04	1,2E+03
19.06.2012								358-12	6,8E+03	9,0E+01	2,0E+02		
26.06.2012								373-12	3,6E+02 <	1,0E+01	9,9E+02		
10.07.2012								424-12	1,1E+04	1,5E+02	4,6E+02	3,6E+04	1,2E+03
21.08.2012								481-12	4,8E+03	1,3E+02 <	1,0E+02		
09.10.2012								570-12	1,1E+04	2,3E+02	1,6E+03		

Messwerte									
Ablauf PAUL A									
Konzentration in 1/100 ml									
Datum	MR-Nr.	somatische Coliphagen	F ⁺ -spezifische Coliphagen	hAdV (direkt)	hAdV (GW)	E. coli (MTP)	E. coli (MF)	I. E. (MTP)	I. E. (MF)
29.05.2012									
30.05.2012	328-12	2,5E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02		3,2E+01	1,9E+01	< 1,0E+01	5,0E+00
31.05.2012	332-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02		< 1,0E+01		< 1,0E+01	
01.06.2012	334-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02		< 1,0E+01		< 1,0E+01	
04.06.2012	337-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01				
19.06.2012	359-12	< 1,0E+01	2,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01		1,0E+00		< 1,0E+00
26.06.2012	374-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01				
10.07.2012	425-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01	< 1,0E+01		< 1,0E+01	
21.08.2012	482-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01				
09.10.2012	568-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01				

Ablauf PAUL B									
Konzentration in 1/100 ml									
Datum	MR-Nr.	somatische Coliphagen	F ⁺ -spezifische Coliphagen	hAdV (direkt)	hAdV (GW)	E. coli (MTP)	E. coli (MF)	I. E. (MTP)	I. E. (MF)
29.05.2012									
30.05.2012	329-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02		4,3E+01	2,5E+01	< 1,0E+01	5,0E+00
31.05.2012	331-12	1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02		1,1E+01		< 1,0E+01	
01.06.2012	335-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02		< 1,0E+01		< 1,0E+01	
04.06.2012	338-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01				
19.06.2012	360-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,0E+02	< 1,0E-01		3,0E+00		< 1,0E+00
26.06.2012	375-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,1E+02	< 1,0E-01				
10.07.2012	426-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,1E+02	< 1,0E-01	< 1,0E+01		< 1,0E+01	
21.08.2012	483-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,1E+02	< 1,0E-01				
09.10.2012	569-12	< 1,0E+01	< 1,0E+01	< 1,1E+02	< 1,0E-01				

Rechnungen														
Ablauf PAUL A														
Datum	Zeit in d	Ablaufvolumen in m ³	LRV = log ₁₀ (C ₀ /C _{ab})											
			somatische Coliphagen		F ⁺ -spezifische Coliphagen		hAdV (direkt)		hAdV (GW)		E. coli		I. E.	
			quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG
29.05.2012	0	0,000												
30.05.2012	1	0,094	2,9	#NV	#NV	2,2	#NV	2,8	#NV	#NV	3,2	#NV	2,8	#NV
31.05.2012	2	0,846	#NV	2,6	#NV	1,0	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	3,6	#NV	1,9
01.06.2012	3	1,500	#NV	2,4	#NV	0,6	#NV	0,3	#NV	#NV	#NV	3,6	#NV	2,0
04.06.2012	6	2	#NV	3,1	#NV	1,6	#NV	2,5	#NV	5,5	4,7	#NV	#NV	3,1
19.06.2012	21	5	#NV	2,8	0,7	#NV	#NV	0,3	#NV	3,3	#NV	#NV	#NV	#NV
26.06.2012	28	5	#NV	1,6	#NV	0,0	#NV	1,0	#NV	4,0	#NV	#NV	#NV	#NV
10.07.2012	42	11	#NV	3,0	#NV	1,2	#NV	0,7	#NV	3,7	#NV	3,5	#NV	2,1
21.08.2012	84	24	#NV	2,7	#NV	1,1	#NV	#NV	#NV	3,0	#NV	#NV	#NV	#NV
09.10.2012	133	64	#NV	3,0	#NV	1,4	#NV	1,2	#NV	4,2	#NV	#NV	#NV	#NV

Ablauf PAUL B														
LRV = log ₁₀ (C ₀ /C _{ab})														
Datum	Zeit in d	Ablaufvolumen in m ³	LRV = log ₁₀ (C ₀ /C _{ab})											
			somatische Coliphagen		F ⁺ -spezifische Coliphagen		hAdV (direkt)		hAdV (GW)		E. coli		I. E.	
			quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG
29.05.2012	0	0,000												
30.05.2012	1	0,122	#NV	3,3	#NV	2,2	#NV	2,8	#NV	#NV	3,1	#NV	2,8	#NV
31.05.2012	2	0,865	2,6	#NV	#NV	1,0	#NV	#NV	#NV	#NV	3,6	#NV	#NV	1,9
01.06.2012	3	1,500	#NV	2,4	#NV	0,6	#NV	0,3	#NV	#NV	#NV	3,6	#NV	2,0
04.06.2012	6	2	#NV	3,1	#NV	1,6	#NV	2,5	#NV	5,5	4,2	#NV	#NV	3,1
19.06.2012	21	4	#NV	2,8	#NV	1,0	#NV	0,3	#NV	3,3	#NV	#NV	#NV	#NV
26.06.2012	28	4	#NV	1,6	#NV	0,0	#NV	1,0	#NV	4,0	#NV	#NV	#NV	#NV
10.07.2012	42	11	#NV	3,0	#NV	1,2	#NV	0,6	#NV	3,7	#NV	3,6	#NV	2,1
21.08.2012	84	34	#NV	2,7	#NV	1,1	#NV	#NV	#NV	3,0	#NV	#NV	#NV	#NV
09.10.2012	133	66	#NV	3,0	#NV	1,4	#NV	1,2	#NV	4,2	#NV	#NV	#NV	#NV

PAUL C und PAUL D

Messwerte																	
	Ansatz für Spikeversuch					Zulauf/Überstand PAUL C					Zulauf/Überstand PAUL D						
		Konzentration in 1/100 ml					Konzentration in 1/100 ml					Konzentration in 1/100 ml					
Datum	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	E. coli I. E.	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	E. coli	I. E.	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	E. coli	I. E.
02.07.2012	380-12	1,0E+09	3,5E+10	4,1E+08		nicht	1,8E+07	6,2E+08	7,4E+06			nicht	1,8E+07	6,2E+08	7,4E+06		
03.07.2012	383-12	2,8E+10	7,6E+10	7,2E+09		beprob-	5,0E+08	1,4E+09	1,3E+08			beprob-	5,0E+08	1,4E+09	1,3E+08		
04.07.2012	390-12	2,7E+08	3,1E+09	8,3E+08		sondern	4,8E+06	5,4E+07	1,5E+07			sondern	4,8E+06	5,4E+07	1,5E+07		
05.07.2012	399-12	7,6E+08	4,0E+09	4,0E+08		berech-	1,3E+07	7,1E+07	7,2E+06			berech-	1,3E+07	7,1E+07	7,2E+06		
09.07.2012	421-12	2,8E+08	2,6E+08	6,3E+08		net	4,9E+06	4,6E+06	1,1E+07			net	4,9E+06	4,6E+06	1,1E+07		
11.07.2012	427-12	2,7E+08	1,6E+09	4,7E+08			4,8E+06	2,9E+07	8,4E+06				4,8E+06	2,9E+07	8,4E+06		
16.07.2012	433-12	6,0E+08	2,9E+09	6,8E+08			1,1E+07	5,1E+07	1,2E+07				1,1E+07	5,1E+07	1,2E+07		
14.08.2012	474-12	7,9E+08	2,6E+10	1,4E+09			1,4E+07	4,6E+08	2,4E+07				1,4E+07	4,6E+08	2,4E+07		
23.10.2012	600-12	3,1E+08	7,6E+10	7,0E+08		601-12	1,7E+06	2,8E+08	1,3E+07			602-12	1,9E+06	2,0E+08	1,2E+07		
11.02.2013	28-13	2,7E+07	3,0E+08			29-13	2,4E+05	2,3E+06				29-13	2,4E+05	2,3E+06			
14.03.2013						99-13	1,2E+08	4,5E+08				99-13	1,2E+08	4,5E+08			
06.05.2013						140-13	1,5E+08	4,0E+08	9,0E+06			140-13	1,5E+08	4,0E+08	2,0E+07		
02.07.2013						178-13	2,4E+07	6,5E+08	1,0E+04	8,4E+04	1,0E+03	178-13	2,4E+07	6,5E+08	1,0E+04	8,4E+04	1,0E+03

Berechnungsbeispiel für ΦX174-Werte vom 3.7.: 500 ml Phagenansatz wurden je PAUL zugegeben und auf ca. 28 l verdünnt
 2,8 x 10E10 / 100 ml (Stammlsg. und Messwert); 2,8 x 10E11 / 1000 ml [*10]; 1,4 x 10E11 / 500 ml (je PAUL C u. D) [/2]; 1,4 x 10E11 / 28 l (Paul Volumen); 5x 10E10 / 100 ml (Endkonzentration) [/28]

Messwerte							
Ablauf PAUL C							
Konzentration in 1/100 ml							
Datum	MR-Nr.	ØX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.
02.07.2012	381-12	2,5E+06	7,1E+07	2,4E+04	5,6E+04		
03.07.2012	384-12	5,0E+05	7,0E+05	2,0E+04			
04.07.2012	391-12	2,2E+03	2,0E+01	1,0E+03			
05.07.2012	400-12	1,5E+03	5,0E+01	2,4E+03			
09.07.2012	422-12	4,9E+02	1,6E+02	1,6E+03			
11.07.2012	428-12	6,4E+02	2,0E+01	1,0E+02			
16.07.2012	434-12	1,2E+03	1,9E+03	1,2E+02			
14.08.2012	475-12	5,0E+01	5,0E+01	2,4E+02			
23.10.2012	603-12	1,2E+02	1,3E+03	1,0E+02	2,3E-01		
11.02.2013	30-13	2,1E+03	2,5E+03				
14.03.2013	101-13	1,2E+03	5,8E+03				
06.05.2013	142-13	1,4E+03	5,9E+03				
02.07.2013	179-13	1,0E+01	4,2E+01		< 1,0E+00	< 1,0E+01	< 1,0E+01

Ablauf PAUL D							
Konzentration in 1/100 ml							
Datum	MR-Nr.	ØX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.
02.07.2012	382-12	2,8E+06	1,1E+08	3,1E+04	1,5E+05		
03.07.2012	385-12	7,7E+05	9,3E+05	2,5E+04			
04.07.2012	392-12	3,6E+03	2,0E+01	5,2E+02			
05.07.2012	401-12	1,5E+03	6,0E+01	1,7E+02			
09.07.2012	423-12	9,7E+02	3,6E+02	2,4E+03			
11.07.2012	429-12	5,9E+02	1,0E+01	1,5E+02			
16.07.2012	435-12	1,8E+02	8,1E+02	1,0E+02			
14.08.2012	476-12	1,7E+01	6,0E+01	1,0E+02			
23.10.2012	604-12	1,3E+02	1,0E+03	1,0E+02	1,0E-01		
11.02.2013	31-13	1,1E+03	1,7E+03				
14.03.2013	102-13	1,2E+03	5,0E+03				
06.05.2013	143-13	1,5E+03	4,9E+03	1,0E+02			
02.07.2013	180-13	1,0E+01	1,7E+01		< 1,1E+00	< 1,0E+01	< 1,0E+01

Rechnungen														
Ablauf PAUL C														
LRV = $\log_{10}(C_0/C_{ab})$														
Datum	Zeit in d	Ablaufvolumen in m ³	ΦX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.						
			quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG
02.07.2012	0	0	0,9	#NV	0,9	#NV	2,5	#NV	2,1	#NV				
03.07.2012	1	2	3,0	#NV	3,3	#NV	3,8	#NV	#NV	#NV				
04.07.2012	2	4	3,3	#NV	6,4	#NV	4,2	#NV	#NV	#NV				
05.07.2012	3	6	3,9	#NV	6,2	#NV	3,5	#NV	#NV	#NV				
09.07.2012	7	16	4,0	#NV	4,5	#NV	3,8	#NV	#NV	#NV				
11.07.2012	9	20	3,9	#NV	6,2	#NV	#NV	4,9	#NV	#NV				
16.07.2012	14	33	4,0	#NV	4,4	#NV	5,0	#NV	#NV	#NV				
14.08.2012	43	98	5,4	#NV	7,0	#NV	5,0	#NV	#NV	#NV				
23.10.2012	113	233	4,2	#NV	5,3	#NV	#NV	5,1	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
11.02.2013	224	355	2,1	#NV	3,0	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
14.03.2013	255	385	5,0	#NV	4,9	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
06.05.2013	308	417	5,0	#NV	4,8	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
02.07.2013	365	434	6,4	#NV	7,2	#NV	#NV	#NV	#NV	4,0	#NV	4,9	#NV	2,0

Ablauf PAUL D														
LRV = $\log_{10}(C_0/C_{ab})$														
Datum	Zeit in d	Ablaufvolumen in m ³	ΦX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.						
			quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG
02.07.2012	0	0	0,8	#NV	0,7	#NV	2,4	#NV	1,7	#NV				
03.07.2012	1	1	2,8	#NV	3,2	#NV	3,7	#NV	#NV	#NV				
04.07.2012	2	3	3,1	#NV	6,4	#NV	4,5	#NV	#NV	#NV				
05.07.2012	3	5	4,0	#NV	6,1	#NV	4,6	#NV	#NV	#NV				
09.07.2012	7	12	3,7	#NV	4,1	#NV	3,7	#NV	#NV	#NV				
11.07.2012	9	16	3,9	#NV	6,5	#NV	4,8	#NV	#NV	#NV				
16.07.2012	14	28	4,8	#NV	4,8	#NV	#NV	5,1	#NV	#NV				
14.08.2012	43	87	5,9	#NV	6,9	#NV	#NV	5,4	#NV	#NV				
23.10.2012	113	218	4,1	#NV	5,3	#NV	#NV	5,1	#NV	8,1	#####	#NV	#####	#NV
11.02.2013	224	323	2,4	#NV	3,1	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
14.03.2013	255	359	5,0	#NV	5,0	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
06.05.2013	308	388	5,0	#NV	4,9	#NV	#NV	5,3	#NV	#NV	#####	#NV	#####	#NV
02.07.2013	365	405	6,4	#NV	7,6	#NV	#NV	#NV	#NV	4,0	#NV	2,0	#NV	2,0

PAUL E und PAUL F

		Messwerte																		
		Ansatz für Spikeversuch					Zulauf/Überstand PAUL E					Zulauf/Überstand PAUL F								
		Konzentration in 1/100 ml					Konzentration in 1/100 ml					Konzentration in 1/100 ml								
Datum	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	E. coli	I. E.	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	E. coli	I. E.	Nachweismethode	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	E. coli	I. E.	Nachweismethode
04.06.2013	158-13 u. 154-13	1,0E+10						1,8E+08	5,1E+07		6,0E+08	2,6E+08	MTP		1,8E+08	5,1E+07		1,8E+08	1,5E+08	MTP
04.06.2013	158-13	1,9E+10	1,9E+11				nicht beprobt, sondern berechnet	3,3E+08	3,5E+09	2,7E+08	6,0E+08	2,6E+08	MTP	nicht beprobt, sondern berechnet	3,3E+08	3,5E+09	2,7E+08	1,8E+08	1,5E+08	MTP
05.06.2013	161-13 u. 162-13						nicht beprobt, sondern berechnet	1,8E+06	1,7E+08	1,4E+07	1,4E+09	8,3E+08	MTP	nicht beprobt, sondern berechnet	1,8E+06	2,9E+08	1,5E+07	1,9E+08	1,6E+08	MTP
06.06.2013	169-13 u. 169a-13 u. 170-13			4,5E+08				2,0E+07	5,1E+08	8,1E+06					1,5E+07	3,0E+08	8,1E+06			

Messwerte								
Ablauf PAUL E								
Konzentration in 1/100 ml								
Datum	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.	Nachweismethode
4.6.13 10:00	156-13	2,8E+03	9,0E+04			8,6E+06	2,3E+04	MTP
4.6.13 16:00	159-13	2,2E+03	4,1E+05	2,1E+04		1,4E+05	2,1E+04	MTP
5.6.13 10:30	163-13	4,0E+03	3,0E+04	1,8E+04		3,8E+05	1,7E+05	MTP
6.6.13 11:00	171-13	2,2E+03	3,3E+05	< 1,0E+02				

Ablauf PAUL F								
Konzentration in 1/100 ml								
Datum	MR-Nr.	ΦX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.	Nachweismethode
4.6.13 10:00	157-13	1,4E+03	9,0E+04			2,6E+06	2,7E+04	MTP
4.6.13 16:00	160-13	1,3E+03	9,5E+04	7,6E+03		8,4E+04	2,6E+04	MTP
5.6.13 10:30	164-13	1,4E+03	8,7E+03	1,6E+03		2,6E+04	2,7E+04	MTP
6.6.13 11:00	172-13	5,2E+02	6,0E+01	< 1,0E+02				

Rechnungen														
Ablauf PAUL E														
LRV = log ₁₀ (C ₀ /C _{ab})														
Datum	Zeit in d	Ablaufvolumen in m ³	ΦX174	MS2	AdV	AdV (GW)	E. coli	I. E.						
			quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG
04.06.2013	0	0	4,8	#NV	2,7	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	1,8	#NV	4,0	#NV
04.06.2013	0	99	5,2	#NV	3,9	#NV	4,1	#NV	#NV	#NV	3,6	#NV	4,1	#NV
05.06.2013	1	383	2,6	#NV	3,7	#NV	2,9	#NV	#NV	#NV	3,6	#NV	3,7	#NV
06.06.2013	2	582	4,0	#NV	3,2	#NV	#NV	4,9	#NV	#NV				

		Ablauf PAUL F												
		LRV = $\log_{10}(C_0/C_{ab})$												
Datum	Zeit in d	Ablaufvolumen in m ³	ΦX174		MS2		AdV		AdV (GW)		E. coli		I. E.	
			quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG	quan- titativ	< NWG
04.06.2013	0	0	5,1	#NV	2,7	#NV	#NV	#NV	#NV	#NV	1,8	#NV	3,7	#NV
04.06.2013	0	79	5,4	#NV	4,6	#NV	4,6	#NV	#NV	#NV	3,3	#NV	3,8	#NV
05.06.2013	1	294	3,1	#NV	4,5	#NV	4,0	#NV	#NV	#NV	3,9	#NV	3,8	#NV
06.06.2013	2	481	4,5	#NV	6,7	#NV	#NV	4,9	#NV	#NV				

**Anhang 3 Quantitative Bestimmung der kultivierbaren Mikroorganismen -
Bestimmung der Koloniezahl durch Einimpfen in ein Nährgarmedium**

		Ablauf PAUL C					
Datum	MR-Nr.		Bakterien			DEV 20 °C	DEV 36 °C
			ISO 22 °C	ISO 36 °C	Δ log ₁₀		
31.01.2013	20-13	Betrieb	1,6E+04	7,8E+03			
31.01.2013							
14.02.2013	35-13	ca.	5,0E+04	1,1E+04		1,0E+02	2,0E+02
22.04.2013	137-13		n.a.	5,1E+04		n.a.	1,4E+04
13.05.2013	146-13		4,4E+05 <	3,7E+05		1,0E+03	2,0E+03
Mittelwert			2,5E+05	1,4E+05		5,5E+02	5,4E+03
Stabw			2,4E+05	1,7E+05		6,4E+02	7,5E+03
16.07.2013	181-13	PAUL C	2,0E+07 <	1,0E+00		3,0E+03 <	1,0E+00
	183-13	PAUL D	8,0E+06 <	1,0E+00	0,0E+00	3,0E+03 <	1,0E+00
17.07.2013		PAUL C	1,40E+05 <	1,0E+00	<	1,0E+02 <	1,0E+00
		PAUL D	1,20E+03 <	1,00E+00	0 <	1,00E+02 <	1,00E+00
29.07.2013	185-13	PAUL C	9,0E+06	2,0E+06		7,1E+05	8,3E+05
		PAUL D	3,2E+06	1,8E+06	0,0E+00	2,1E+05	2,8E+05
30.07.2013	187-13	PAUL C	3,2E+03	3,5E+03		6,0E+02	2,8E+03
		PAUL D	3,5E+04	3,5E+04	0,0E+00	2,3E+04	3,7E+04

		Ablauf PAUL D					
Datum	MR-Nr.		Bakterien			DEV 20 °C	DEV 36 °C
			ISO 22 °C	ISO 36 °C	Δ log ₁₀		
31.01.2013	21-13	Stagnation (1 l)	3,1E+04	3,1E+04			
31.01.2013	22-13	Stagnation (200 l)	1,3E+04	6,2E+03			
14.02.2013	38-13		1,1E+04	9,4E+03		1,0E+03	4,4E+03
22.04.2013	139-13		> 1,0E+06	1,0E+06	>	n.a.	1,0E+06
13.05.2013	149-13		> 1,0E+06	1,0E+06	>	1,0E+03	4,3E+04
Mittelwert			6,7E+05	6,7E+05		1,0E+03	3,5E+05
Stabw			5,4E+05	5,4E+05		0,0E+00	5,6E+05
16.07.2013	182-13		8,0E+06 <	1,5E+06		3,0E+03 <	3,0E+03
	184-13		1200 <	1,0E+02	<	1,0E+02 <	1,0E+02
17.07.2013							
29.07.2013	186-13		3,2E+06	1,8E+06		2,1E+05	2,8E+05
30.07.2013	188-13		3,5E+04	3,5E+04		2,3E+04	3,7E+04

Probe	Proben- nummer MR	Datum	Kol.zahl nach DEV KBE/ 1 ml 20°C	Kol.zahl nach DEV KBE/ 1 ml 36°C	Kol.zahl nach ISO KBE/ 1 ml 22°C	Kol.zahl nach ISO KBE/ 1 ml 36°C
Ablauf Paul C vor Desinfektion	181-13	16.07.2013	<30	<30	~2e5	~5e4
Ablauf Paul D vor Desinfektion	182-13	16.07.2013	<30	<30	~8e4	~1,5e4
Ablauf Paul C nach Desinfektion	183-13	17.07.2013	<1	<1	~14 SchiPi	<1
Ablauf Paul D nach Desinfektion	184-13	17.07.2013	<1	<1	~12 SchiPi	<1
Ablauf Paul C vor Desinfektion	185-13	29.07.2013	~7,1e3	~8,3e3	~9e4	~2,0e4
Ablauf Paul D vor Desinfektion	186-13	29.07.2013	~2,1e3	~2,8e3	~3,2e4	~1,8e4
Ablauf Paul C nach Desinfektion	187-13	30.07.2013	~6	~28	~32	~35
Ablauf Paul D nach Desinfektion	188-13	30.07.2013	~233	~267	~350	~350

Anhang 4 Tracerversuche

Tracerversuch PAUL C											
Datum		19.07.2012									
20 g NaCl in 1000ml Leitungswasser			2% NaCl			205000			µS/cm		
davon 500ml zu PAUL C gegeben											
PAUL D:		Wasser ohne NaCl				665		µS/cm			
Salzlösung zugegeben und eingemischt											
Leitungswasser-Durchfluss-Zählerstand in m ³	Füllstand-Reduktion in Liter	elektrische Leitfähigkeit in µS/cm	Leitungswasser-Durchfluss-Zählerstand in m ³	Füllstand-Reduktion in Liter	elektrische Leitfähigkeit in µS/cm	Leitungswasser-Durchfluss-Zählerstand in m ³	Füllstand-Reduktion in Liter	elektrische Leitfähigkeit in µS/cm	Leitungswasser-Durchfluss-Zählerstand in m ³	Füllstand-Reduktion in Liter	elektrische Leitfähigkeit in µS/cm
	0	1300		32	2030		61	#NV			
	1	730		33	2010		62	1530			
	3	850		34	1993		63	#NV			
	4	900		35	1981		64	1495			
	5	1000		36	1955		65	1470			
	6	1400		37	1945		66	1460			
	7,5	1700		38	1935		67	1451			
	10	2100		39	1925		68	1433			
	11	2200		40	1913		69	1424			
	12	2250		41	#NV		70	1418			
	13	2300		42	1900		71	1409			
	14	2320		43	1850		72	1405			
	15	2330		44	1780		73	1400			
	16	2340		45	1750		74	1396			
	17	2340		46	1712		75	1394			
	18	2340		47	1705		76	1390			
	19	2330		48	1685		77	1388			
	20	2320		49	1670		78	1385			
	21	#NV		50	1660		79	1382			
	22	#NV		51	1645		80	1379			
	23	#NV		52	#NV		100	1208			
	24	#NV		53	#NV		120	1153			
	25	2250		54	#NV		22,922	140	1128		
	26	2200		55	1616	22,92	22,973	140	1040		
	27	2140		56	1605	0,051	23,060	140	805		
	28	2100		57	1601	0,087	23,158	140	725		
	29	2090		58	1595	0,098	24,789	140	696		
	30	2070		59	1589						
	31	2040		60	1580						

Tracerversuch PAUL C				
Datum	22.10.2012			
PAUL C wurde vollgefüllt		Leitfähigkeit vor Salzzugabe in $\mu\text{S}/\text{cm}$	727	
Salzlösung angesetzt: 10 g NaCl auf 500 ml		Leitfähigkeit der Salzlösung in $\mu\text{S}/\text{cm}$	32800	
Salzlösung zugegeben und eingemischt		Leitfähigkeit nach Salzzugabe in $\mu\text{S}/\text{cm}$	919	
wegen des Membranstapels wird nicht das gesamte Volumen erreicht				
Hahn wurde geöffnet, Ablauf über Schlauch in Becherglas im Ausguss geleitet, in dem die Leitfähigkeitssonde hing				
Messung mit wtw Cond 3310 und TetraCon 325				
Volumen im Schlauch in l		0,35		
		abgelesen an "Skala" an Paul C	abgelaufenes Volumen in l	elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$
		5	5,35	802
		7,5	7,85	869
		10	10,35	890
		12,5	12,85	895
		15	15,35	896
		17,5	17,85	895
		20	20,35	894
nach Ablauf von 20 l wurde Hahn geschlossen,				
Paul C wieder bis oben befüllt und Hahn wieder geöffnet				
Leitfähigkeit schwankte und stieg zwischenzeitlich bis auf 901 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
		2,5	22,85	896
		5	25,35	886
		7,5	27,85	876
		10	30,35	874
		12,5	32,85	874
		15	35,35	874
		20	40,35	874
erneut aufgefüllt				
		5	45,35	874
		10	50,35	873
		15	55,35	867
entspricht Zählerstand 230,951		20	60,35	860
nun wurde wieder automatische Füllstandsregelung aktiviert				
automatische Auffüllung				
22.10.2012 15:26		abgelesen an Wasserzähler		
		230,971		
Leitfähigkeitsmessung direkt am Ablauf				
22.10.2012 15:50		230,978	67,35	840
22.10.2012 18:50		231,270	359,35	740
23.10.2012 10:20		232,678	1767,35	729

Abschlussbericht Germanconect zum DBU-Projekt AZ 23860/04

Folgende Leistungen und Aufgaben wurden im Rahmen der Projektvorgaben durchgeführt:

1. Bearbeitung von Anfragen und Korrespondenz

Interessenten wurden über die Innovation informiert und mit dem Gerät vertraut gemacht. Dazu gehört die erste Vorstellung des Gerätes und Beratung zu Einsatzmöglichkeiten, Anwendung, Leistungsfähigkeit, Praxiserfahrungen etc. Je nach Art der Anfragen werden Auskünfte telefonisch, per E-Mail oder auch auf dem Postweg bearbeitet. Dies umfasst auch die Zusendung von Informationsmaterialien und den Verweis auf die Berichterstattung in Presse und Fernsehen. Durch gezielte Kontaktaufnahme mit Entscheidern der Katastrophenhilfe wird der Wasserrucksack PAUL der Öffentlichkeit vorgestellt und zur Nothilfe in Einsatz gebracht.

Folgende Tätigkeiten wurden im Konkreten durchgeführt:

Gezielte Werbung nach Katastrophen für den Einsatz von PAUL. Dabei wurden zur Flutkatastrophe in Thailand große Erfolge erzielt. Nach Zusendung von Infomaterial an verschiedene Organisationen und Institutionen (z.B. Auswärtiges Amt, Deutsche Botschaft in Thailand, Industrie und Handelskammer Thailand) wurden 40 Geräte für den Einsatz bestellt. Für die Entsendung wurde das Technische Hilfswerk (THW) beauftragt und die Geräte vor Ort von heimischen Organisationen verteilt. Durch Berichterstattung in verschiedenen Medien (z.B. Fernsehbericht von RTL Hessen¹, Artikel auf der Seite des Auswärtigen Amtes², Artikel in verschiedenen thailändischen Zeitungen und auf der Internetseite des thailändischen Roten Kreuz³) konnte die Bekanntmachung im In- und Ausland enorm gesteigert werden. Auch nach dem Erdbeben auf den Philippinen wurde gezielt Werbung für den Einsatz des Gerätes betrieben. Die Entscheider waren in diesem Fall nicht für einen Einsatz, sind aber für zukünftige Einsätze informiert. Auch nach einer Hochwasserkatastrophe im Februar 2013 in Mosambik wurde aktiv Werbung für den Einsatz des Gerätes zur Erstversorgung mit trinkbarem Wasser geworben. Die Aktivitäten der Bundesregierung und von Hilfsorganisationen wurden bei dieser Katastrophe allerdings sehr gering oder gar nicht durchgeführt, was auch keinen direkten Hilfeinsatz vor Ort bedeutete, in dem das Gerät hätte eingesetzt werden können. Behörden, Institutionen und Organisationen sind über die Einsatzmöglichkeiten und Vorteile der dezentralen Wasseraufbereitung für kleinere Gruppen in abgelegenen Dörfern und ländlichen Regionen sensibilisiert.

Einholung der Rechte für die Nutzung von Fotos und Filmbeiträgen. Um Fotos oder Beiträge rund um den Wasserrucksack PAUL für die weitere Nutzung zu gebrauchen, ist es wichtig die Rechte der Urheber nicht zu verletzen. Daher wurde ausdrücklich bei den Urhebern für die weitere Verwendung in Bloggs oder bei Präsentationen eine Erlaubnis eingeholt. Ein besonderer Erfolg ist die unentgeltliche Nutzung des Medienbeitrags der Mediengruppe RTL, die die Entsendung des

¹ <http://www.youtube.com/watch?v=UMGJFXSUXkw>

² <http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/HumanitaereHilfe/AktuelleArtikel/111027-Flut-Suedostasien.html>

³ <http://www.redcross.or.th/news/information/12889>

Wasserrucksacks durch das Technische Hilfswerk begleitete. Der Beitrag steht nun für die Nutzung durch die Universität Kassel zur Verfügung und darf für Vorführungen verwendet werden.⁴

Zuarbeiten von Informationen und Werbematerialien für die Durchführung von Spendenaktionen.

Nach Anfrage des Leo Cub Rheingau wurde dieser mit Informationen über PAUL und Werbematerialien für eine stattfindende Spendenaktion ausgestattet. Am 20. April 2013 nach einem knappen Jahr Vorbereitung hatte dieser zur ersten Rheingauer Löwentour eingeladen und viele Oldtimer- und Rallyefans aus Lions-Clubs, Oldtimervereinen und natürlich aus dem Rhein-Main-Gebiet folgten der Einladung. An diesem Tag wurden für PAUL Spenden gesammelt. Ein PAUL konnte über die Startgelder und im Rahmen des Grillfestes komplett finanziert werden und wird nun seine Reise nach Namibia antreten. Dort soll er den Menschen vor Ort eine bessere Trinkwasserqualität bieten.



Fotos: Der Leo Cub Rheingau dankt allen Organisatoren, Teilnehmer und Spender, die diesen Tag zu einer gelungenen Veranstaltung machten.

2. Vernetzung und Kontaktpflege mit Organisationen

Um den Wasserrucksack PAUL in Projekte zu implementieren, ist es wichtig, zwischen Organisationen, Unternehmen und Sponsoren zu vermitteln. Dazu wurden gezielt Projekte der Zusammenarbeit vorbereitet, den Projektpartnern vorgestellt sowie teilweise Projekte koordiniert. Eine Aufgabe bestand auch in der Erarbeitung eines Überblicks über vertrauenswürdige Organisationen und Pflege sowie Aktualisierung der Kontaktadressen.

Folgende Tätigkeiten wurden im Konkreten durchgeführt:

Entwicklung eines Fragebogens. Für die Zusammenarbeit mit Organisationen in Entwicklungsländern wurde ein Fragebogen erstellt. In diesem ging es um die Datenerfassung für eine mögliche Zusammenarbeit zur Implementierung des Gerätes, die personellen, materiellen und finanziellen Möglichkeiten der Organisation sowie schon vorhandene Partner und Sponsoren aus anderen Projekten. Dazu wurden Fragestellungen sowie Layout und Design des Fragebogens entwickelt. Des Weiteren wurde eine Übersetzung des Fragebogens in Englisch und Portugiesisch vorgenommen.

Erstellung einer Broschüre für die Freiwilligenarbeit. An deutsche Organisationen, die mit Freiwilligen im Ausland arbeiten, wurde Werbung zur Mitarbeit der Freiwilligen an einem Projekt mit PAUL vor Ort gesendet. Idee war und ist es, die Freiwilligen als „PAUL Botschafter“ mit in die Berichterstattung und Betreuung des Gerätes vor Ort einzubinden. Dazu wurde ein Aufruf zur Mitarbeit erarbeitet und gesendet.

⁴ <http://www.youtube.com/watch?v=UMGJFXSUXkw>

Gezielte Anfragen für die Zusammenarbeit in der Nothilfe. Wichtige Organisationen und Institutionen wie Caritas International, Arche Nova e.V. und Münchner Rück Stiftung wurden kontaktiert und PAUL präsentiert. Dabei wurde ein konkreter Projektvorschlag mit Projektpartnern und nationalen Organisationen vor Ort unterbreitet. Ziel war und ist es, das Gerät in nationale Katastrophenvorsorgepläne einzubinden und Entscheider des Katastrophenmanagements auch zu einem präventiven Einsatz zu bewegen.

Realisierung eines Projektes in Indien außerhalb der Nothilfe. PAUL wurde auf dem Kitefestival in Ahmedabad präsentiert, das insgesamt etwa 100.000 Besucher zählt. Dafür wurden Sponsoren gewonnen, PAUL nach Indien entsendet und die Koordination und Durchführung vor Ort übernommen. Ein Flyer sowie Poster wurden in der Landessprache Gujarat und Hindi erstellt. Ziel war es, das Gerät der indischen Bevölkerung vorzustellen, aber auch Aufmerksamkeit auf die zukünftige Wasserproblematik, das Thema Hygiene und Wasserverschmutzung zu lenken. Ein ausführlicher Projektbericht liegt vor.



Fotos: Zum internationalen Kitefestival in Ahmedabad wurde PAUL den Besuchern an einem Stand präsentiert und Infomaterial in der Landessprache ausgeteilt. Alljährlich sind über 90 Nationen zum Drachenfliegen und der Teilnahme an einem Drachenwettbewerb vertreten. Während des gesamten Festivals besuchen 100.000 Menschen das Spektakel.

Organisation eines Einsatzes von PAUL in Kamerun. Für den Einsatz des Gerätes als Wasserfilter in Schulen und Krankenhäusern in Kamerun wurde Kontakt zu einem deutschen Verein hergestellt, der mit Vor-Ort-Partnern gleich mehrere Projekte betreut. Für die Sponsorenakquise wurde eine Spendenplattform im Internet ausgewählt. Dort wurden ein Spendenkonto eröffnet und die Einsatzorte des Gerätes mit Text und Bildmaterial beworben. Die Vorbereitung für die Standortauswahl und Entsendung von PAUL nach Kamerun wurden koordiniert. Ziel war und ist es,

das Medium Internet in die Spendenwerbung einzubeziehen und dort auch Projekte mit PAUL vorzustellen, um so Sponsoren zu gewinnen. Über die Spendenplattform betterplace.org konnten so Gelder für den Kauf von PAUL beworben werden



Foto: Übergabe von PAUL an die Grundschule „Espoir“ in Batouri in Ostkamerun.

Anfrage und Besuch der Organisation Technisches Hilfswerk Regionalgruppe Thüringen. Vorstellung von PAUL für den Einsatz zur Nothilfe bei Auslandseinsätzen des THW. Projektplanung für die gemeinsame Präsentation auf einer Messe mit gemeinsamem Messestand.



Fotos: Zusammenarbeit auf der Messe Kinderkult mit dem Technischen Hilfswerk

Vorstellung von PAUL in Deutschland und Österreich. An mehrere Organisationen in Deutschland und Österreich wurden Kontaktanfragen und Vorabinformationen über PAUL gesendet, um das Gerät für den Einsatz zur Nothilfe und in der Projektarbeit vorzustellen und die Entscheider zu einem Einsatz zu bewegen.

3. Informationsrecherche und Auswertung von Dateien

Wichtig für die Entwicklung, Verbesserung und Implementierung des Gerätes PAUL ist die Auswertung von Bewertungen und Erfahrungsberichten sowie die Marktforschung und Informationsrecherche über Produkte.

Folgende Tätigkeiten wurden im Konkreten durchgeführt:

Auswertung der Informationen PAUL in Kolumbien in der Benutzeranwendung. Befragung der verantwortlichen Mitarbeiter und Reiseteilnehmer über Situation und Nutzung des Gerätes in Kolumbien an verschiedenen Standorten, Zusammenfassung der Ergebnisse und Erstellung eines redaktionellen Beitrags für die Medien.



Fotos: Eine Dorfgemeinschaft in Cundinamarca in Kolumbien hatte im Jahr 2012 einen PAUL erhalten. Hier wird PAUL so oft wie möglich genutzt und versorgt so ca. 300 Gemeindemitglieder. Mehrere Personen betreuen PAUL, lassen ihn nach der Anwendung leerlaufen und spülen mit bereits filtriertem Wasser nach. Die Reinigung wurde von den Dorfbewohnern dokumentiert.

Informationsauswertung der Projekte vor Ort. Nach erfolgreich geplanten Projekten und der Entsendung von PAUL mit Privatpersonen oder über Organisationen kommen auch Rückmeldungen über die Anwendung und den Verbleib des Gerätes vor Ort, oft per Email oder telefonisch. Dabei werden persönliche Eindrücke geschildert und mit Fotos dokumentiert, die für die Auswertung und Öffentlichkeitsarbeit wichtig sind. Informationen über den Projekteinsatz sind wichtig für die weiteren Forschungsarbeiten. Durch die Zusammenarbeit mit der Organisation „Liebe in Aktion“ konnte über den Einsatz von PAUL berichtet werden. Rückmeldungen kamen z.B. von der Übergabe von PAUL an Schulen in Kamerun: „Durch verschmutztes Trinkwasser werden hier im Osten Kameruns viele Krankheiten übertragen. Am sichersten ist es gefiltertes Wasser zu trinken. Täglich Wasser für

350 Schüler zu filtern ist keine Kleinigkeit. Welcher Filter schafft das in kurzer Zeit? So freuten wir uns von dem neuen Filtersystem „Paul“ zu hören. Ein Gerät kann bis zu 1200 L Wasser pro Tag filtern. Anfang Februar 2013 wurden von der Organisation „Liebe in Aktion“ zwei solche Filter für den Osten Kameruns nach Yaounde geschickt. Am 13. Februar konnte in Anwesenheit der Schulaufsichtsbehörde ein Wasserfilter „PAUL“ in Domiaka bei der Grundschule „Espoir“ (Hoffnung) für die Pygmäen eingeweiht werden. Die Schule ist in der Gründungsphase und hat in diesem Jahr 90 Schüler. Am darauffolgenden Tag überreichten wir das zweite Filtergerät der Grundschule „Espoir“ in Batouri mit 260 Schülern. Gott segne die Spender „Projekt Wasserrucksack PAUL“ – Ihr habt durch diese Tat einen großen Beitrag zur Gesundheit unserer Schüler geleistet.“ (Hans-Jürgen und Erika Klußmann per email)



Foto: Ein PAUL für die Domiaka Grundschule in Ostkamerun. PAUL versorgt hier 90 Schüler.

Im Januar 2013 wurden über die Organisation „Liebe in Aktion“ bei einem Hilfseinsatz auch mehrere Wasserfilter PAUL auf die Philippinen versendet und von dem vor Ort tätigen Missionar Christian Wagner entgegengenommen. Jeweils ein Wasserfilter wurde bei den Gemeinden im Dorf Panansalan (Compostela Valley) und im Dorf Maylaya (Davao Oriental) aufgestellt. Zwei weitere Wasserfilter kommen in der Kleinstadt Baganga zum Einsatz. Auch von dort gibt es ein Feedback von PAUL und zur Situation vor Ort.



Fotos: Ankunft von vier Wasserrucksäcken PAUL auf den Philippinen. Nutzung des Wasserfilters in Malaya und Inspektion durch den Pastor Christian Wagner.

Informationsrecherche von weiteren im Einsatz befindlichen Wasserfiltern. Dafür wurden Unternehmen und deren Produkte (z.B. Katatyn, Lifesaver, Livestraw, Sky Hydrant) und deren Einsatzmöglichkeiten in der Nothilfe und Entwicklungsländern analysiert.

Informationsrecherche von Wasseraufbereitungsanlagen in der Anwendung. Dafür wurden Unternehmen und deren Produkte (z.B. Primalwater, Savajal India, Pureflow Kenia, Aqua Vendor, Safe Water Kiosk) analysiert. Diese befinden sich vorrangig im Einsatz in Indien und Kenia. Das Interesse galt den Einsatzmöglichkeiten, Marketing- und Finanzierungsmodellen für die Kunden (z.B. Francisemodell von Savajal in Indien).⁵ Die Ergebnisse wurden an Fachgebietsmitarbeiter weitergeleitet.

Informationsrecherche für Wassertest für die einfache Anwendung in Entwicklungsländern. Dafür wurden Unternehmen und Organisationen der Entwicklungshilfe recherchiert, die geeignete Testverfahren zur Untersuchung von E.coli, Enterokokken etc. anbieten oder durchführen. Die Testverfahren wurden für eine mögliche Anwendung im Rahmen der Wasseruntersuchung im Auslandseinsatz dieses DBU-Projektes analysiert und die Ergebnisse an Fachgebietsmitarbeiter weitergeleitet.

Informationsrecherche von möglichen Werbe- und Spendenplattformen. Dafür wurden Internetangebote für die Projektvorstellungen und ggf. Eröffnung eines Spendenkontos auf Spendenplattformen (z.B. betterplace.org, helpdirect.org, donare.de, justgiving.com) recherchiert und Anbieter und deren Leistungen zur Spendenakquise und Werbung analysiert. Die Darstellung des Wasserrucksacks PAUL in einem Artikel bei Wikipedia wurde empfohlen und daraufhin von den Mitarbeitern des Fachgebietes erstellt.⁶

4. Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Um die Innovation PAUL gegenüber der Bevölkerung sowie Organisationen, Unternehmen und Regierungen vorzustellen, werden verschiedene Marketingmaßnahmen durchgeführt. Dazu gehört neben der Aufbereitung der Marketingmaterialien auch die Medienberichterstattung, wie das Verfassen von Informationsschreiben, Artikeln und Pressemitteilungen. Persönliche Gespräche sowie die Präsentation des Gerätes PAUL auch auf Messen und Veranstaltungen sorgen für mehr Einprägsamkeit bei den Besuchern und sind oftmals am werbewirksamsten.

Folgende Tätigkeiten wurden im Konkreten durchgeführt:

Bearbeitung der Broschüre PAUL des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft. Als Vorlage wurde diese Broschüre herangezogen und in Layout, Gestaltung und Schriftsatz geändert. Die Broschüre wurde in Französisch und Portugiesisch übersetzt und von Muttersprachlern korrekturgelesen. Downloads in den verschiedenen Sprachen finden sich auf der Universitätshomepage.⁷

Kontaktaufnahme mit Projektpartnern in Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz in Mosambik. Besuch bei Organisationen vor Ort in Mosambik durch Partner (Red Cross Mosambique, Terre des Hommes Southern Africa, Red Came, Rotes Kreuz Deutschland, IP Consulting, GIZ). Treffen mit Regierungsvertretern von INGC (Nacional Institute of Disaster Management) im Bereich Katastrophenvorsorge. Bekanntmachung von PAUL und Übergabe von Informationsmaterial an alle wichtigen Entscheider. Dafür wurden Infomaterialien zusammengestellt und in die Landessprache Portugiesisch übersetzt.

⁵ <http://www.sarvajal.com/solutions/>

⁶ http://de.wikipedia.org/wiki/Portable_Aqua_Unit_for_Lifesaving

⁷ <http://www.uni->

kassel.de/fb14bau/institute/iwau/siedlungswasserwirtschaft/wasserrucksack/downloads.html

Grafik: Infomaterial in Portugiesisch

Vorbereitung und Durchführung Weltwassertag 2012. An verschiedene Institutionen und Organisationen wurden Anfragen zur Zusammenarbeit und mögliche Präsentation von PAUL zum Weltwassertag gestellt. Durch die Unterstützung und Koordination mit dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie wurde das Gerät PAUL an zwei Standorten in Hessen zum „Tag der Offenen Tür“ in die Veranstaltung eingebunden und ausgestellt. Dafür wurden Bildmaterial und Erfahrungsberichte der im Einsatz befindlichen Geräte aufbereitet und eine Präsentation sowie Poster für die Zielgruppe Kinder und Jugendliche erstellt. Mitarbeiter des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft übernahmen die Betreuung vor Ort. Gleichzeitig wurde im Burgaupark Jena gemeinsam mit den Stadtwerken Jena-Pößneck die Wanderausstellung „Wasser ist Zukunft“ eröffnet und im Rahmen dessen ein Gerät PAUL präsentiert. Am gleichen Tag wurde ein Wassermarsch durch Berlin zum Weltwassertag von der Organisation Viva von Aqua e.V. organisiert und eine Kundgebung sowie eine Wasserparty veranstaltet. In Kooperation mit Viva con Aqua e.V. wurden Flyer über den Wasserrucksack PAUL ausgelegt und verteilt.



Foto: Neben der persönlichen Beantwortung von Fragen am Weltwassertag gab es für die Besucher auch die Möglichkeit, sich während des Ausstellungszeitraums an einer Pinnwand zu informieren. Diese wurde in die Ausstellung „Wasser ist Zukunft“ integriert und enthielt alle wichtigen Informationen rund um den Wasserrucksack PAUL.

Kontaktaufnahme mit Projektpartnern in Katastrophenvorsorge und Entwicklungszusammenarbeit in Österreich. Besuch bei Organisationen vor Ort in Wien (Care, Caritas, Rotes Kreuz, WorldVision, Ärzte ohne Grenzen, Horizont 3000, Globale Verantwortung); Bekanntmachung von PAUL und Übergabe von Informationsmaterial an alle wichtigen Entscheider.


Kontaktaufnahme mit Projektpartnern in Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz in Indien. Besuch bei Organisationen vor Ort in Indien durch Partner (Red Cross India, SAARC Disaster Management Center); Treffen mit Regierungsvertretern von NIDM (National Institute of Disaster Management) und GIDM (Gujarat Institute of Disaster Management); Bekanntmachung von PAUL und Übergabe von Informationsmaterial an alle wichtigen Entscheider. Dafür wurden Infomaterialien zusammengestellt und in die Landessprachen Hindi und Gujarat übersetzt: A. Vier Poster PAUL für Präsentationen B. Poster PAUL technische Beschreibung (Innenansicht). Übergabe eines PAUL an die Organisation SEWA (SelfEmployed Woman Assosiation) für Demonstrationszwecke und praktischen Einsatz vor Ort. Dadurch besteht die Möglichkeit, für die Entscheider des Katastrophenmanagements ein Gerät im direkten Einsatz zu sehen.

Die Organisation SEWA besteht seit 1972 und ist ein Zusammenschluss von armen, selbständig arbeitenden Frauen, die nun mehr als 400.000 Mitglieder zählt. Dies sind Frauen, die ihren Lebensunterhalt als Kleinstunternehmer verdienen, kein regelmäßiges Einkommen und damit auch keine soziale Sicherung durch ihre Arbeit haben. Die primären Absichten von SEWA sind, die Arbeiterfrauen zu organisieren, um Vollbeschäftigung zu erhalten und Selbstvertrauen in ihre eigene Wirtschaftsleistung zu schaffen. Die Organisation SEWA hat die verschiedensten Projekte und Partnerorganisationen, die landesweit tätig sind. Dazu zählen neben der Stärkung der Frauen Mikrofinanzierung von Kleinstprojekten für Frauen, Bau von Häusern und Infrastruktur, Versicherungen für arme Frauen, Wasserkampagnen etc. SEWA ist im Austausch mit den Mitgliedern und anderen Organisationen sehr aktiv. Über besondere Erfahrung verfügt die Organisation in Wasserprojekten und Kampagnen, die zusammen mit der Vergabe von Mikrokrediten organisiert wurden. Ein Projekt ist das Auffangen von Dach-Regenwasser und die Nutzung des so gewonnenen Wassers für Haushalte und in der Dorfgemeinschaft.⁸



Foto: Übergabe eines PAUL an die Manager der Organisation SEWA. PAUL im Büro der Organisation. Von dort wird das Gerät zu seinem Einsatzort gebracht und soll weiter von Frauen genutzt werden, die schon von der Organisation betreut werden.

⁸ Smita Mishra Panda: Women's Role in Local Water Management: Insights from SEWA's Millenium Water Campaign in Gujarat (INDIA), Abstract, EMPOWERS Regional Symposium:13-17 November, 2005; Cairo, Egypt



A simple to use membrane filtration unit to immediately provide potable water

ઉપાય

ગુરુત્વાકર્ષણનો ઉપયોગ
મેમ્બ્રેન શુદ્ધિકરણ
વપરાશ માટે તૈયાર
સ્વ-સહાય શક્ય
રેખાકૃતિ દ્વારા સમજૂતી
હેલીકોપ્ટર/પેરાશૂટ દ્વારા નીચે
ફેંકવું શક્ય

Solution

use of gravity
membrane filtration
ready for use
self-help is possible,
description by pictograms
airdrop by helicopter/
parachute is possible
portable by one person

Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen
Dipl. Ing. Axel Waldhoff
Dipl. Ing. Jan Romaker
Sebastian Amelung

Department of Sanitary and Environmental Engineering (DESEE)
Head: Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.-B. Frechen

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

DBU
German Development Cooperation

Grafik: Die technische Beschreibung (Innenansicht) von PAUL wurde in die Landessprache Gujarat übersetzt und als Poster vor Ort den Organisationen präsentiert. Weitere Poster wurden auch in der Sprache Hindi vorbereitet.

Betreuung des Messestands auf der Messe IFAT 2012. Die zweijährig stattfindende internationale Fachmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft informiert über Innovationen und neueste Trends. An den Ausstellungsständen der Universität Kassel und der Martin Systems AG stand der Wasserrucksack PAUL zum Kennenlernen bereit und wurde gezielt beworben. Interessierten Besuchern wurde das Gerät sowie der Aufbau der Membran in deutscher, englischer und portugiesischer Sprache erklärt. Dazu wurde werbewirksam ein Video von den verschiedenen Einsätzen gezeigt.



Foto: Besucher der Messe aus Brasilien am Stand der Martin Systems AG, ein Projektpartner des DBU Forschungsprojekts, bekommen PAUL in ihrer Landessprache erklärt.

Als Werbematerial zur Ausgabe auf der Messe wurde eigens eine Broschüre erstellt. Das „Magazin aus der Praxis“ stellte das Gerät PAUL vor und zeigt auch Einblicke zum praktischen Einsatz in den verschiedenen Ländern der Welt. Es wurde an Besucher verteilt. Zusätzlich wurden auch gezielt Fachverlage angesprochen, um eine Veröffentlichung in diesen Medien zu erwirken und die Kontakte zu vertiefen. Einige Verlage zeigten Interesse an einer Zusammenarbeit.



Foto: PAUL am Stand des Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel auf der Messe IFAT 2012: v.l. Dr. Wernfried Schier, M.A. Heidi Hornickel, Dr. Alice Schneider

Vorbereitung Artikel für Fachzeitschriften. Die Zeitschrift Umweltperspektiven aus der Schweiz sowie die Fachzeitschrift Wasserwirtschaft zeigten Interesse an einem Artikel über PAUL. In enger Absprache wurden Informationen und eine Bildauswahl gesendet. Gewünscht wurde auch die Erstellung einer Präsentation und eines Berichtes zum Einsatz von PAUL in Bénin. Ein Textentwurf (incl. Spendenwerbung) wurde verfasst und die Inhalte gemeinsam mit dem Redakteur und Mitarbeitern der Universität abgestimmt und überarbeitet. Ein Nachfolgebericht über den Einsatz von PAUL in Kolumbien wurde für eine weitere Ausgabe vorbereitet.⁹



Foto: Für Artikel in Fachzeitschriften wurden die Fotos, hier aus dem Einsatz in Bénin, freigegeben.

Erstellung und Pflege eines Blogs für PAUL auf wordpress.com. Diese Art Tagebuch oder Magazin im Internet hält immer wieder neue Einträge, sogenannte Blog-Artikel, über den Wasserrucksack Paul bereit. Leser können Kommentare zu einem Artikel schreiben und so direkt ihre Meinung äußern. Layout, Gestaltung und Texte für die Informationsthemen Seiten wurden erstellt und werden immer wieder ergänzt. Ankündigungen für Veranstaltungen finden sich genauso, wie die Veröffentlichung von Berichten und Bildmaterial nach dem Event (z.B. über Umweltag, Woche der Umwelt Berlin, Ideenpark Essen). Der Blog wird durchgehend mit aktuellen Informationen versorgt.¹⁰

Erstellung eines Spendenkontos und Projektwerbung auf betterplace.org. Auf dieser Internetplattform für soziales Engagement können sich große und kleine soziale Organisationen aus der ganzen Welt kostenlos vorstellen und für ihre Projekte Unterstützung in Form von Geld- und Sachspenden sowie Mitarbeit erbitten. Für die Entsendung von PAUL nach Kamerun wurde für die durchführende Organisation Liebe in Aktion e.V. eine Projektseite eingerichtet.¹¹ Dort konnten die sechs Standorte, vor allem in Kindergärten und Krankenhäusern, vorgestellt werden. Auf Basis dieser Information kann jeder Spender entscheiden, ob er das Projekt unterstützt oder nicht. Jeder einzelne Standort wurde in einem Projekt erarbeitet und Layout, Gestaltung und Text erstellt. So konnten neue Spender gewonnen werden.¹²

⁹ Fachzeitschrift Wasserwirtschaft, Springer Verlag, 12/2012, S. 48 und Ausgabe 9/2013

¹⁰ <http://wasserrucksackpaul.wordpress.com/>

¹¹ <http://www.betterplace.org/de/organisations/liebeinaktion>

¹² <https://www.betterplace.org/de/projects/10235-krankenhaus-in-kamerun-hospital-bethesda>



Foto: Die Klinik Bethesda in Kamerun wurde 2004 als Vollkrankenhaus fertig gestellt. Insgesamt beschäftigt das Hospital 25 Personen und verfügt über ca. 60 Krankenbetten. Für das Krankenhaus konnte über das Einwerben von Spendengeldern im Internet ein Wasserfilter PAUL finanziert werden.

Vorbereitung und Durchführung Umwelttag der Stadt Jena 2012. Durch die Unterstützung und Koordination mit der Stadtverwaltung Jena und dem Festival de Colores e.V. wurde das Gerät PAUL zum Umwelttag vorgestellt. Dafür wurden Bildmaterial und Erfahrungsberichte der im Einsatz befindlichen Geräte aufbereitet und eine Präsentation sowie Poster für die Zielgruppe erstellt. An einem Stand konnten sich die Besucher auch das Herzstück von PAUL, die Membran, anschauen und erklären lassen. Diese wurde von der Firma Martin Systems aus Sonneberg zur Verfügung gestellt und ein Mitarbeiter stand unterstützend zur Seite. Das gewonnene Bildmaterial wurde anschließend für ein Video¹³ und für Presseberichte in Print¹⁴ und Onlinemedien¹⁵ verwendet.



Fotos: Interessierten Besuchern wurde PAUL vorgestellt. In einem Video wurden Einsatzorte und Anwendung gezeigt. PAUL durfte auch selbst ausprobiert und getragen werden.

¹³ <http://youtu.be/XUXThYgHnuQ>

¹⁴ Magazin Oskar am Freitag (Auflage 60 000)

¹⁵ Internetportal Jenaonline.de: <http://www.jenapolis.de/2012/06/sauberes-nass-fuer-indisches-dorf-wasserrucksack-paul-zum-jenaer-umwelttag-vorgestellt/>

Betreuung des Messestands der Uni Kassel auf der Messe Ideenpark Essen 2012. Verwandelt wurde die Messe Essen für fast zwei Wochen in eine kreative Stadtlandschaft, die auf eine außergewöhnliche Entdeckungsreise durch einzelne Standquartiere einlud. Dort wurden thematisch die einzelnen Exponate für die Besucher erklärt. Auch der „Lebensretter H2O“ PAUL wurde dort anschaulich vorgestellt, denn jeder konnte selbst Wasser mit PAUL filtern. Aber auch eine Vielzahl Journalisten von Presse, Film und Fernsehen hatten jede Menge Fragen und ließen es sich nicht nehmen, über PAUL zu berichten.¹⁶



Foto: Die Maskottchen der Messe finden PAUL toll.



Fotos: Das praktische Ausprobieren und die gute Lage des Standes sorgten für regen Besuch und Interesse am Wasserrucksack. Vor allem bei Kindern und Jugendlichen war der Wasserrucksack PAUL ein beliebtes Objekt.

Erstellung und Pflege eines Kanals bei der Internetplattform youtube.com. Das Videoportal zeigt private und kommerziell hergestellte Filme und eignet sich gut für die Öffentlichkeitsarbeit von dem Wasserrucksack PAUL. Dort können Filme zur Anwendung oder durchgeführte Veranstaltungen lebendig präsentiert werden. Über eine Programmierschnittstelle (API) ist es möglich, „Video-Feeds“ in Blogs oder auf anderen Webseiten einzubinden und auch den Link in Emails zu versenden, um Interessierte gezielt auf die Seite zu verweisen. Wer kostenlos den PAUL Kanal bei YouTube abonniert wird automatische benachrichtigt, sobald dort ein neues Video erscheint.¹⁷

¹⁶ IdeenPark-Tour Wasser: <http://www.youtube.com/watch?v=j5ICxdk4bCQ&feature=plcp>

¹⁷ <http://youtu.be/af7DEEBGC1M>

Vorbereitung und Durchführung Engagementbörse der Stadt Jena 2012. Unter dem Leitsatz „Jena braucht DICH“ präsentierten sich gemeinnützige Organisationen mit ihrer Arbeit und zeigten die vielfältigen Möglichkeiten auf, sich freiwillig zu engagieren. Viele Besucher schauten vorbei und informierten sich ganz unverbindlich. Sie lernten die Einrichtungen, Projekte und Initiativen aus allen gesellschaftlichen Bereichen wie Bildung, Gesundheit, Kirche, Kultur, Politik, Soziales, Sport, Tier- und Umweltschutz kennen. Auch PAUL wurde zusammen mit dem Verein Festival de Colores e.V. vorgestellt und brachte viele Menschen ins Gespräch. Außerdem gab es wieder viele Informationen über PAUL an der Stellwand.



Fotos: Einen Blick konnte man in PAULs Inneres werfen und sehen, wie die Membran darin eingebaut ist. Eine Membranplatte, von der sich ca. 50 Stück in PAUL befinden, durfte man auch in die Hand nehmen.

Konkret: Betreuung des Messestands der Uni Kassel auf der Messe Wasser Berlin 2013. Die zweijährig stattfindende internationale Fachmesse für Entscheider aus der Wasserwirtschaft informiert über Innovationen und neuste Trends. Der begleitende Kongress bildet das Diskussionsforum für Fachleute aus aller Welt, die sich auf Lösungen rund um das Thema Wasser spezialisiert haben. Hier wurde der Wasserrucksack PAUL am Stand des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft präsentiert und ein Vortrag „Der Wasserrucksack „PAUL“ Wasser für Menschen in kleinen Dörfern bei Katastrophen“ dem Fachpublikum vorgestellt.



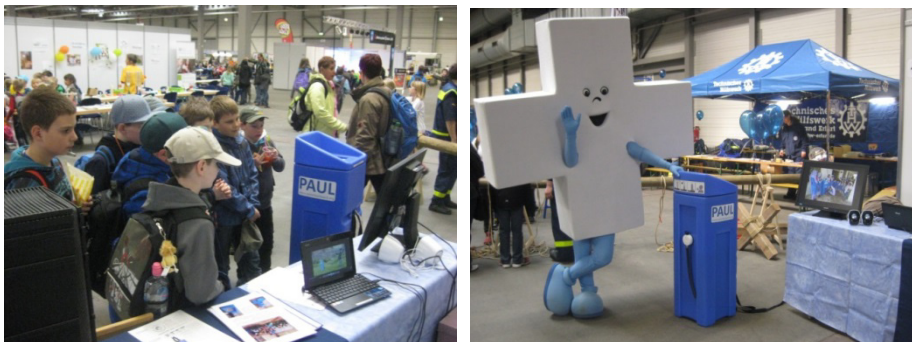
Fotos: In einem Vortrag wurde der Wasserrucksack vorgestellt. Die Standbetreuung wurde gemeinsam mit Herrn Chr. Fortenbacher, M.Sc. vom Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft durchgeführt.

Konkret: Vorbereitung und Durchführung des Weltwassertages 2013. Durch die gute Zusammenarbeit im Vorjahr wurden gemeinsam mit den Stadtwerken Jena-Pößneck und dem Zweckverband Wasser wieder eine Präsentation zum Weltwassertag vorbereitet. PAUL, der Wasserfilter für die schnelle Versorgung mit trinkbarem Wasser in Katastrophengebieten, war die Attraktion. Fast alle Besucher hörten das erste Mal, dass es so ein Gerät gibt und waren erstaunt, was er leisten kann und wie oft er schon eingesetzt wird. Besonders viele Senioren zeigten sich beeindruckt von der Leistungsfähigkeit der Membran und erfüllten sich mit Stolz auf Deutschland und den Innovationen, die das Land immer wieder zu bieten hat.



Fotos: Für diesen Tag wurden Infomaterialien und Poster erstellt und Kindergarten- und Schulgruppen eingeladen, die PAUL bestaunen. Auch Mitarbeiter der Wasserwirtschaft hörten zum ersten Mal von PAUL.

Konkret: Vorbereitung und Durchführung der Messe Kinderkult 2013 in Erfurt. Gemeinsam mit dem Technischen Hilfswerk Regionalgruppe Thüringen wurde an einem Stand PAUL präsentiert. Auf einem Bildschirm wurden Einsatzgebiete und ein kleiner Film über die Anwendung gezeigt.



Fotos: Viele Kinder und ein Maskottchen bestaunen PAUL auf der Kinderkult Messe in Erfurt.

Konkret: Bekanntmachung und persönlicher Erstkontakt mit dem Staatssekretär des Bundesministeriums für Entwicklungszusammenarbeit (BMZ). Im Thüringer Landtag fand die Veranstaltung „Globalisierung und Entwicklung – Das neue BMZ und seine internationale Arbeit“ statt. Geladen hatte die Deutsche Atlantische Gesellschaft e.V. mit Hauptsitz in Berlin. Herr Staatssekretär Hans-Jürgen Beerfeltz hielt einen Vortrag und stand in einer Diskussionsrunde für Fragen zur Verfügung. Beim anschließenden Empfang wurde PAUL dem Staatssekretär in einem persönlichen Gespräch vorgestellt. Er zeigte sich sehr interessiert an Lösungen zur dezentralen Wasseraufbereitung und nahm gerne eine Broschüre mit Informationen entgegen.



Foto: Hans-Jürgen Beerfeltz, Staatssekretär des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit, informiert sich über PAUL.

Konkret: Vorbereitung und Durchführung des Ersten Deutschen Entwicklungstages 2013. Am 25. Mai 2013 wurde bundesweit erstmals der Deutsche Entwicklungstag durchgeführt. In 16 verschiedenen Städten fanden parallele Veranstaltungen statt, wo sich unterschiedliche Akteure präsentierten. Projekte und Initiativen der Entwicklungszusammenarbeit wurden vorgestellt und sollten die Bürger informieren und anregen, sich aktiv einzubringen. An Infoständen, in einem interaktiven Zelt, sowie auf der Bühne fanden Vorträge und Diskussionen statt.¹⁸



Fotos: Der 1. Deutsche Entwicklungstag fand unter anderem auch in Jena statt. Auf einer Bühne präsentierten sich Organisationen und Vereine, die interkulturelle Vielfalt unterstützen oder eigene Projekte in Entwicklungsländern durchführen. Die Capoeira Gruppe Jena präsentiert brasilianischen Kampftanz.

¹⁸ <http://www.entwicklungstag.de>

PAUL der Wasserfilter in Rucksackform stand am Infostand der Organisation Festival de Colores bereit. Einen Vortrag zu einem gemeinsamen Projekt gab es im interaktiven Zelt mit dem Titel: Von Jena nach Indien – Der „Wasserrucksack PAUL“ auf dem Drachenfest in Ahmedabad. Dort wurden Fotos und ein Videos von PAUL den Besuchern präsentiert. Sie hatten anschließend Zeit Fragen zu stellen.



Fotos: Auch die Medien waren präsent. Neben vielen Fragen, wurde PAUL auch von manch einem Besucher selbst getestet und auf dem Rücken getragen.

5. Erstellung einer Datenbank als Informationspool und Betreuung der Kontakte und Sponsoring

Um konkretere Informationen über mögliche Organisationen und Projektpartner zu sammeln und zu pflegen, die möglicherweise das Gerät PAUL in den Einsatz bringen, wird fortlaufend eine Datenbank erstellt. Darin sollen neben den genauen Kontaktadressen mit Ansprechpartnern zu Organisationen und Sponsoren auch Korrespondenz, gemeinsame Aktionen, Projekte, Feedback und Meinungen erfasst werden. Pro Quartal werden länderspezifisch Recherchen durchgeführt und Organisationen aus der Datenbank direkt angesprochen oder besucht. Konkret waren dies bisher Organisationen und Institutionen aus den Ländern Deutschland, Österreich, Mosambik, Indien, Kamerun. Neben ersten Anschreiben und der Kontaktherstellung ist auch die Kontaktpflege ein notwendiges Mittel, um Kunden und Sponsoren wieder anzuregen und neue Informationen zu verbreiten. Gerade jede Messe bringt neue Kontakte, die gepflegt werden müssen und eine Menge Nachbereitung erfordern. Alle gesammelten Kontakte und Gesprächsnotizen wurden ausgewertet. Danksagungen für den Besuch am Stand, angeforderte Unterlagen und Zusatzinformationen wurden verschickt. Eine systematische Nachbereitung und Wiederanschreiben der bestehenden Kontakte wird in regelmäßigen Abständen vorgenommen.