



# arche noVa

Initiative für Menschen in Not

**Untersuchung der Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit  
eines von arche noVa entwickelten Sand-Kohlefilters  
für den Einsatz im Irak und eines kommerziellen Keramikfiltersystems  
im Bereich der humanitären Selbsthilfe und Entwicklungszusammenarbeit**

Abschlussbericht über eine Testreihe,  
gefördert unter dem Az: 23736 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Biol. Jana Utikal

Januar 2007

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>23736</b>	Referat	<b>21/0</b>	Fördersumme	<b>4.000,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>	Untersuchung der Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit eines von arche noVa entwickelten mobilen Langsam-Sand-Kohlefilters für den Einsatz im Irak und eines kommerziellen Keramikfiltersystems im Bereich der humanitären Selbsthilfe und Entwicklungszusammenarbeit				
<b>Stichworte</b>	Wasserfilter, Trinkwasserversorgung, Humanitäre Hilfe, Selbsthilfe				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>6 Monate</b>	<b>15.08.2005</b>	<b>31.12.2006</b>	<b>keine</b>		
Zwischenberichte:	alle 6 Monate Kurzbericht				
<b>Bewilligungsempfänger</b>	<b>arche noVa</b> Initiative für Menschen in Not e.V. Schützengasse 18 01067 Dresden			Tel	<b>0351/4943595</b>
				Fax	<b>0351/4943599</b>
				Projektleitung	Jana Utikal
				Bearbeiter	
<b>Kooperationspartner</b>	Stadtentwässerung Dresden GmbH PF 100810, 01078 Dresden  DGI Umweltanalytik Ebersbach Georgswalder Str. 4, 02730 Ebersbach				

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Im Jahr 2003 wurde von arche noVa innerhalb eines Nothilfeprojektes zur medizinischen Versorgung, Hygieneaufklärung und Wasserversorgung in Diyala, Irak ein dezentrales Sand-Kohle-Filterssystem implementiert. Durch das Fehlen bzw. dem schlechten Zustand der zentralen Wasserver- und entsorgung sind viele Menschen in ländlichen Gegenden mittlerweile längerfristig auf eine dezentrale Wasseraufbereitung angewiesen. Da die im Jahr 2003 vom arche noVa mit lokalen Materialien entwickelten Wasserfilter keine kurzfristige Übergangslösung mehr darstellten, sollte eine Testreihe Aussagen zur Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit der Sandfilter liefern, um daraus Empfehlungen für die langfristige Benutzung der Filter vor Ort abzuleiten.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Arche noVa e.V. hat in Dresden einen der traditionellen irakischen Tonfilter nachbauen lassen. Ein kommerzielles Keramikkerzenfiltersystem war bereits vorhanden. Diese beiden Filtersysteme wurden mit Hilfe der Stadtentwässerung Dresden GmbH und dem kooperierenden Labor DGI Umweltanalytik Ebersbach getestet. Seit August 2005 wurden die Recherchen und Vorbereitungen für die Testreihe begonnen. Von Februar bis Juli 2006 liefen die Tests mit den Filtern.

Diese Filter wurden täglich mit ca. 40 Litern Spreewasser befüllt. Ein- bis zwei mal pro Woche über dem Zeitraum von 6 Monaten erfolgte die Beprobung des Rohwassers und des Filtrates hinsichtlich der Gesamtkeimzahl, E. Coli, coliforme Keime, Clostridium perfringens, Trübung und spektraler Adsorptionskoeffiziente. Die Ergebnisse sollten Aussagen zur Handhabbarkeit, Effizienz und Standzeit und Wirkung des Filters liefern, um daraus Empfehlungen für die Benutzung und Verbesserung der Filter abzuleiten.

Übersicht über die Testreihe:

	1. Testphase: 14.02. – 11.04.2006	2. Testphase: 12.05. – 27.07.2006
<b>Filter-systeme</b>	<p><b>Filter 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommerzieller mobiler Keramikkerzenfilter im Metallgehäuse der Marke Toshiba, 2 Filterkerzen</li> </ul> <p><b>Filter 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Von arche noVa entwickelter, im Irak eingesetzter Sand-Kohle-Filter in einem traditionellen irakischen Tongefäß zur Wasseraufbewahrung, nachgebaut in Dresden (Skizze siehe <b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b>, Aufbau siehe <b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b>) <i>Abb 2</i> <i>Abb 5</i></li> </ul>	<p><b>Filter 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifizierte Version von Filter 2</li> <li>• Trennschichten aus Geovlies statt Gaze</li> <li>• mit Kohleschicht in Baumwolltuch</li> <li>• Bauwolltuch unter oberster Grobkiesschicht eingebracht</li> <li>• andere Körnungsschichtung</li> </ul> <p><b>Filter 4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifizierte Version von Filter 2</li> <li>• keine Kohleschicht</li> <li>• Trennschichten aus Geovlies statt Gaze</li> <li>• Bauwolltuch unter oberster Grobkiesschicht (<b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b>) <i>Abb 6</i></li> <li>• andere Körnungsschichtung</li> </ul>
<b>Roh-wasser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenwasser aus der Spree bei Ebersbach</li> <li>• Speicherung im Sammelbehälter (235 L)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenwasser aus der Spree bei Ebersbach</li> <li>• Speicherung im Sammelbehälter (235 L)</li> <li>• In der vierten Testwoche künstliche Erhöhung der Trübung des Rohwassers mit 2 : 1 Volumenteilen Töpferton und Tafelkreide / Homogenisierung</li> </ul>
<b>Probe-nahme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tägliche Befüllung der Filter mit ca. 40 Liter Rohwasser</li> <li>• Schwallbeschickung per Hand in 5-Litersritten</li> <li>• bei Filter 2: Auffanggefäß aus Ton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tägliche Befüllung mit ca. 40 Liter Rohwasser, bis zur 4. Woche Schwallbeschickung per Hand in 5-Litersritten auf die gesamte Filterfläche</li> <li>• ab der vierten Versuchswoche über 12 automatische Schwallbeschickungen pro Tag mit Zeituhr und zwei Schlauchpumpen.</li> <li>• Auffanggefäße: Plastikeimer</li> </ul>
<b>Test-para-meter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtkoloniezahl/1 ml (20 °C)</li> <li>• Gesamtkoloniezahl/1 ml (36 °C)</li> <li>• Coliforme Keime/100 ml</li> <li>• Escherichia Coli/100 ml</li> <li>• Clostridium perfringens / 100 ml</li> <li>• Trübung (NFU)</li> <li>• SAK in 1 / m bei 436 nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtkoloniezahl/1 ml ( 20 °C)</li> <li>• Coliforme Keime/100 ml</li> <li>• Escherichia Coli/100 ml</li> <li>• Clostridium perfringens/100 ml</li> <li>• Trübung (NFU)</li> <li>• SAK in 1 / m bei 436 nm</li> </ul>

## Ergebnisse und Diskussion

Folgende Empfehlungen für den Bau und die Handhabung von Sandfiltern lassen sich aus den gewonnenen Erkenntnissen und Ergebnissen der Testreihe ableiten:

- Die Körnung der Gesteinsschichten soll nach unten immer feiner werden, damit sich diese nicht vermischen (Ein- und Ausspülungen). Diese sollten spätestens alle 6 Monate gereinigt bzw. ausgewechselt werden.
- Es sollten keine organischen Materialien (Gewebe) in den Filter eingebracht werden, da diese im Inneren des Filters zersetzt werden und ein anaerobes Milieu bilden. Besser geeignet zur Trennung der Schichten sind mineralische Materialien (Gaze, Vlies).
- Das Einbringen von fein gestampfter Kohle in einem Tuch in den Filter ist nicht zwingend für die Effizienz des Filters erforderlich, kann bei richtiger Handhabung aber kurzfristig eine effektive Sperrschicht für Keime darstellen. Da diese Schicht durch den biologischen Metabolismus zur Bildung eines anaeroben Milieus führt, sollte die Kohleschicht alle 14 Tage ausgewechselt werden. Um das Auswechseln einfacher zu gestalten sollte die Kohleschicht unter die oberste Schicht aus grobem Kies herausnehmbar eingebracht werden.
- Ein Aufbringen eines für die Reinigung auswechselbaren Baumwolltuches über der letzten Filterschicht und mit großen Kieselsteinen beschwert, erhöht die Effizienz und Standzeit des Filters, weil sofort Trübungspartikel und Keime zurückgehalten werden.
- Das Auffanggefäß aus Ton fördert die Wiederverkeimung des Filtrats und ist für eine sachgemäße Chlorung (Durchmischung) ungeeignet. Weiterhin können sich Partikel aus dem Tongefäß lösen und die Trübung im Filtrat erhöhen. Daher sind offene Auffanggefäße aus anderen Materialien (z.B. saubere Eimer) geeigneter. Für die kurzfristige Aufbewahrung des desinfizierten Wassers sollte das Gefäß abgedeckt werden.
- Der Filter sollte permanent mit Wasser überflutet sein, damit der biologische Rasen nicht trocken fällt und eine Sauerstoffdurchsetzung der Schichten gefördert wird. Dies kann durch regelmäßige Schwallbeschickung gewährleistet werden.
- Zwischen Filter- und Auffanggefäß muss eine Abdeckung mittels einer Plane oder ähnlichem eingerichtet werden, um Kontamination des Filtrats und Auffanggefäß zu verhindern
- Diese Art von dezentraler Wasserversorgung ist nur mit einführender und begleitender Hygienebildung und Monitoring seitens lokaler Hygieneverantwortlicher sinnvoll, denn die Aufbereitung mit diesem Sandfiltersystem und anschließender Chlorung kann nur richtig benutzt werden, wenn ein Wissen um seine Funktionsweise und Wirkung dieser Behandlung vorhanden ist.

Übersicht über Vor- und Nachteile des im Irak implementierten Sand-Kohle-Filters

	Vorteile	Nachteile
Filtereffizienz und Wasserqualität	<ul style="list-style-type: none"><li>• kurzfristig effektive Reduzierung von mind. 90 % der coliformen Keime</li><li>• sehr gute Reduzierung von pathogenen Dauerstadien bildenden Parasiten (Indikator Clostridium perfringens)</li><li>• sehr gute Reduzierung der Trübung, als Voraussetzung für nachfolgende Desinfektion</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• mehrwöchige Einlaufzeit des Filters</li><li>• Kohleschicht schafft anaerobes Milieu und verkürzt Standzeit</li><li>• Filtrat ist auch bei hoher Effektivität mit hohen absoluten coliformen Keimzahlen belastet –daher zwingend sachgemäße Desinfektion erforderlich</li></ul>

	Vorteile	Nachteile
Technik und Handhabung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betrieb ohne elektrische Energie</li> <li>• ausschließlich Verwendung lokaler und kostengünstiger Materialien</li> <li>• Einfache, leicht weiterzugebende und modifizierbare Bauweise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtergefäß aus Ton ist sehr schwer, daher kaum Mobilität und schwierige Wartung</li> <li>• Die Kohleschicht ist aufwendig auszuwechseln, Bildung von Einspülungen in den Schichten</li> <li>• Im Auffanggefäß aus Ton kann Chlorung nicht sachgemäß durchgeführt werden, Filtrat löst Trübungsbestandteile aus Gefäß, Gefäß ist anfällig für Wiederverkeimung</li> </ul>
Anpassung an Vorortbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filter ist für alle zugänglich, da jede Familie die traditionellen Tongefäße besitzt</li> <li>• kein Einsatz von komplizierter Fremdtechnologie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chemische Veränderung von Wasser (Chlorung) widerspricht teilweise lokalen Bräuchen</li> <li>• Basiswissen über Hygiene und Wasseraufbereitung, und regelmäßiges Monitoring notwendig, aber z.T. schwierig zu realisieren</li> </ul>

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und die wichtigsten Erkenntnisse der ersten Testreihe werden unter dem Titel „Dezentrale Wasseraufbereitung in der humanitären und entwicklungsorientierten Nothilfe“ als pdf-Druckversion in englischer und deutscher Sprache auf der Homepage des arche noVa e.V. ([www.arche-nova.org](http://www.arche-nova.org)) veröffentlicht. Die Erkenntnisse und Erfahrungen aus Auslandsprojekten im Bereich der Trinkwasserversorgung und aus der Testreihe im Inland werden von der Öffentlichkeitsarbeit des arche noVa e.V., beispielsweise bei Ausstellungen, Info-Ständen und Vorträgen an eine interessierte Öffentlichkeit getragen. Das Bildungsprojekt des arche noVa e.V. „eine Welt – deine Welt“ thematisiert in seinen Bildungsmodulen „Wasser – ein globales Problem“ und „Helfen – eine Gratwanderung“ das Thema Wasserversorgung in der Nothilfe und benutzt die Erfahrungen der Auslands- und Inlandsprojekte als Fallbeispiele und Anschauungsmaterial für die Bildungsveranstaltungen.

### **Fazit**

Die Testreihe zur Untersuchung der Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit eines von arche noVa entwickelten Sand-Kohle-Filters für den Einsatz im Irak hat gezeigt, dass mit lokal verfügbaren, traditionellen und kostengünstigen Materialien, ohne Fremdtechnologie und elektrischen Betrieb ein Filtersystem implementiert werden kann, welches kurzfristig effizient die Trübung und coliforme Keime und Parasiten reduziert. Mittels anschließender sachgemäßer Desinfektion kann ein gesundheitlich unbedenkliches Wasser aufbereitet werden. Mit verbesserten einführenden und begleitenden Hygienebildungsprogrammen und einfachen Modifizierungen des bisherigen Filtersystems kann die Effizienz des Filters erhöht, die Standzeit verlängert und die Handhabbarkeit vereinfacht werden.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>DEZENTRALE WASSERAUFBEREITUNG IN DER NOTHILFE AM BEISPIEL EINES HILFSPROJEKTES VON ARCHE NOVA IM IRAK .....</b>	<b>4</b>
3.1	Wasseraufbereitung in der Nothilfe.....	4
3.2	Wasseraufbereitung im Einsatzgebiet Diyala, Irak .....	5
3.3	Die Testreihe.....	7
3.4	Rechercheergebnisse zur Rohwasserbeschaffenheit .....	12
3.5	Ergebnisse der Testreihe.....	13
3.6	Bewertung der Ergebnisse .....	19
3.7	Ausblick.....	21
<b>4</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>ANHÄNGE.....</b>	<b>22</b>

### Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Faltblätter begleitend zur Hygieneschulung in Kurdischer Sprache .....	3
Abb. 2: Skizze des Sand-Kohle-Filters im Irak .....	6
Abb. 3: Im Anschluss an die Filterung verwendetes Chlorpräparat.....	7
Abb. 4: Kommerzielles mobiles Keramikfilterkerzensystem im Metallgehäuse (Filter 1).....	11
Abb. 5: Aufbau, Material und Benutzung des Sand-Kohle-Filters (Filter 2).....	11
Abb. 6: Aufbau, Material und Benutzung der modifizierten Filterversionen (Filter 3 und 4). 11	11

### Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Kriterien und Indikatoren für dezentrale Wasseraufbereitung in der Nothilfe .....	4
Tab. 2: Übersicht über die ausgewählten Testparameter.....	8
Tab. 3: Übersicht über den experimentellen Aufbau der Testreihe.....	10
Tab. 4: Geologie im Einsatzgebiet des Filters.....	13
Tab. 5: Zusammenfassung der Meßergebnisse für Filter 1 .....	14
Tab. 6: Zusammenfassung der Meßergebnisse für Filter 2 .....	15
Tab. 7: Zusammenfassung der Meßergebnisse für Filter 3 .....	17
Tab. 8: Zusammenfassung der Meßergebnisse für Filter 4 .....	18
Tab. 9: Übersicht über Vor- und Nachteile des von arche noVa im Irak implementierten Sand- Kohle-Filtersystems gemessen an den Anforderungen an dezentrale Wasseraufbereitung in der Nothilfe .....	20

## **1 Zusammenfassung**

Um Aussagen zur Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit eines Sand-Kohlefilters, welcher seit 2003 zu Zwecken der humanitären Selbsthilfe von arche noVa mit begleitender Hygieneschulung in der kurdischen Provinz Diyala im Irak implementiert wurde, zu treffen, wurde das Filtersystem aus dem Irak in Dresden nachgebaut und untersucht. Durch die finanzielle Unterstützung der Stadtentwässerung Dresden GmbH und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt konnten im Labor der DGI Umweltanalytik Ebersbach von Februar bis Juli 2006 verschiedene Testreihen mit dem Filtersystem und einem kommerziellen mobilen Filterkerzensystem durchgeführt werden. Weiterhin wurde eine Recherche zu dezentralen Wasseraufbereitungssystemen in der Nothilfe und Anforderungen an diese durchgeführt.

Die Ergebnisse der Testreihe abgeglichen mit den Rechercheergebnissen zeigen, dass das Sand-Kohle-Filtersystem Vor- und Nachteile aufweist, wenn die Effizienz und die Handhabung des Filters mit den Anforderungen an dezentrale Wasseraufbereitungssysteme in der Nothilfe verglichen wird. Die Testreihe zeigte weiter, dass der bisherige Filter mit einfachen Mitteln modifiziert werden kann, um die Effizienz zu erhöhen, die Standzeit zu verlängern und Handhabung zu erleichtern. Das getestete Filtersystem entspricht den wichtigsten Anforderungen an dezentrale Wasseraufbereitungssysteme in der Nothilfe, ist allerdings nur in Begleitung mit Bildungsmaßnahmen im Bereich Hygiene sinnvoll.

## **2 Einleitung**

Im Jahr 2003 startete arche noVa ein entwicklungsorientiertes Nothilfeprojekt zur mobilen medizinischen Versorgung und Wasseraufbereitung der Bevölkerung in der Provinz Diyala im Nordirak. Arche noVa stellte mobile medizinische Teams zusammen und bildete einheimische Hygieneverantwortliche aus, mit dem Ziel Menschen in Dörfern medizinisch zu versorgen, Hygieneaufklärung zu betreiben und sie im Bau von mobilen Wasserfiltern mit lokal verfügbaren Materialien (Sand-Kohle-Filter in traditionellen Tongefäßen) zu unterrichten. Dazu wurden neben Hygieneschulungen Faltblätter zur Hygienepromotion an die lokale Bevölkerung verteilt (Abb1.).

Durch das Fehlen bzw. dem schlechten Zustand der zentralen Wasserver- und entsorgung sind viele Menschen in ländlichen Gegenden mittlerweile längerfristig auf eine dezentrale Wasseraufbereitung angewiesen. Da die im Jahr 2003 vom arche noVa mit lokalen Materialien entwickelten Wasserfilter keine kurzfristige Übergangslösung mehr darstellten, sollte eine Testreihe Aussagen zur Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit der Sandfilter liefern, um daraus Empfehlungen für die langfristige Benutzung der Filter vor Ort abzuleiten.



Abb. 1: Faltblätter begleitend zur Hygieneschulung in Kurdischer Sprache (Auswahl, jeweils Vorder- und Rückseite)

Ein Sand-Kohle-Filter wurde nach dem Vorbild des Filtersystems im Irak in Dresden nachgebaut und es wurden gemäß der Angaben der Projektkoordinatoren Filterschichten wie im Irak in das Tongefäß eingebracht. In einer Testreihe sollte dieses Filtersystem über einen Zeitraum von etwa einem halben Jahr benutzt, d.h. mit Rohwasser beschickt, und 2 mal wöchentlich auf relevante Parameter untersucht werden. Für die dezentrale Wasseraufbereitung in der Nothilfe sind die Parameter relevant die zu akuten wasserbedingten Infektionen und Krankheiten führen. Die Trübung, die Summe aller Mineralien, Metalle, anorganischen und organischen Stoffe, Gase, lebenden und toten Zellen im Wasser korreliert mit der mikrobiologischen Belastung und ist deshalb ein wichtiger Indikator für die Trinkwasserqualität. Die wichtigsten Indikatoren für fäkale Verunreinigung sind *Escherichia Coli* und die Gesamtheit der coliformen Keime. Zusätzlich wurden das Rohwasser und das Filtrat auf die Gesamtkeimzahl und *Clostridium* perfringens als mikrobiologische Indikatoren und den spektralen Adsorptionskoeffizienten als Maß für die organische Belastung hin untersucht.

Um Aussagen zur Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit zu treffen sollen die Ergebnisse der Testreihe und die Ergebnisse einer begleitenden Literaturrecherche mit den Anforderungen an dezentrale Wasseraufbereitungssysteme in der humanitären Nothilfe abgeglichen werden.



### 3 Dezentrale Wasseraufbereitung in der Nothilfe am Beispiel eines Hilfsprojektes von arche noVa im Irak

#### 3.1 Wasseraufbereitung in der Nothilfe

Ein dezentrales Wasseraufbereitungssystem, auch „POU-Aufbereitungssystem“ (point-of-use), ist definiert als Form der Wasseraufbereitung, die innerhalb eines Haushaltes installiert oder benutzt wird. Eine solche Einrichtung kann nur verhältnismäßig kleine Volumina behandeln und wird somit nur zur Aufbereitung von Trink- oder Kochwasser genutzt.

Da die Übertragungsfahr von Krankheiten sinkt, je weniger Menschen eine Trinkwasserquelle gemeinsam nutzen, sind dezentrale Wasseraufbereitungssysteme eine einfache und effektive Möglichkeit zur Her- und Bereitstellung von sauberem Trinkwasser für einzelne Familien in Entwicklungsländern und humanitären Notsituationen. In Tabelle 1 werden aus verschiedenen Quellen zusammengefasste und vom Autor für sinnvoll befundene Kriterien und Indikatoren für dezentrale Wasseraufbereitungssysteme in der Nothilfe vorgestellt.

Tab. 1: Kriterien und Indikatoren für dezentrale Wasseraufbereitung in der Nothilfe

Kriterien	Indikatoren
Gute Filtereffizienz und Wasserqualität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effektive Reduzierung pathogener Keime</li> <li>• Unempfindlichkeit des Systems gegenüber schwankender Wasserqualität</li> <li>• Effektivität in einem angemessenem pH - und Temperaturbereich</li> <li>• Bereitstellung von Wasser, das weder toxisch noch unschmackhaft ist</li> <li>• Garantie für Sicherheit gegenüber Wiederverkeimung</li> </ul>
Einfache Technik und Handhabung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benutzung lokal verfügbarer und kostengünstiger Materialien möglichst ohne Fremdtechnologie</li> <li>• Betrieb ohne elektrische Energie</li> <li>• Sichere und leichte Handhabung, einfache Wartung, einfaches Monitoring</li> </ul>
Anpassung an Vorortbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugänglichkeit für die lokale Bevölkerung</li> <li>• Kompatibilität mit lokalen Kulturen und Bräuchen</li> <li>• Konformität mit nationalen Hygiene-Standards</li> </ul>

Die Aufbereitung von Trinkwasser erfolgt meist in drei aufeinander folgenden Schritten, wobei der Umfang der einzelnen Schritte von der Rohwasserbeschaffenheit abhängt.

- 1. Vorklärung:** Mittels mechanischer Trennverfahren (Fettabscheiden, Siebeffekt, Sedimentation, Dekantieren, Flockung, Filtration, ...) werden Trübstoffe aus dem Wasser entfernt. Es erfolgt eine erste Keimminderung, da an Trübungspartikel angelagerte Keime ebenfalls entfernt bzw. zurückgehalten werden. Durch Flockungsmittel kann die Absetzgeschwindigkeit erhöht werden. Ist das Wasser optisch klar, kann die Vorklärung entfallen.
  
- 2. Desinfektion:** Desinfektion ist die Abtötung oder Inaktivierung von Krankheitserregern (Bakterien, Viren und Parasiten) sowie unspezifischen (nicht pathogenen) Mikroorganismen [1]. Das Ziel besteht vor allem darin, die Anzahl von vermehrungsfähigen Krankheitserregern so weit zu verringern, dass eine Infektion des Menschen nicht mehr erfolgen kann [2]. Chemische Stoffe (Chlor, Chlorgas, Chlordioxid, Ozon, Jod) und thermische Mittel (UV-Strahlung, Hitze) dienen als Desinfektionsmittel, in dem Zellbestandteile zerstört oder das Zellwachstum behindert wird. Alle Verfahren, bis auf die Destillation, sind nur in optisch klarem Wasser sinnvoll einsetzbar [3].
  
- 3. Konservierung:** Die Zugabe von chemischen Konservierungsmitteln (Chlor, Silber) greift in den Stoffwechsel der Mikroorganismen ein. Ungünstige Lebensbedingungen (niedrige Temperatur, kein Sonnenlicht) und die Verhinderung von Fremdeinflüssen (Staub, Tiere) hemmen die Vermehrung von Mikroorganismen. Von besonderer Wichtigkeit ist hier die Reinhaltung der Aufbewahrungsgefäße, die auf keinen Fall mit dem ungereinigten Wasser in Berührung kommen dürfen und durch einen Deckel verschließbar sein müssen. Mit einer Wiederverkeimung von Wasser wird erst ab einer Temperatur von 15 °C gerechnet [4].

### 3.2 Wasseraufbereitung im Einsatzgebiet Diyala, Irak

Das im Irak eingesetzte Sandfiltersystem (Abb. 2) hat die Aufgabe das Rohwassers für eine anschließende Desinfektion durch Chlorung vorzuklären, d.h. die Trübung und die Keimdichte im Wasser zu reduzieren. Eine Konservierung für die mittel- bis langfristige Aufbewahrung ist in dieser Aufbereitungsweise nicht explizit vorgesehen, da das Wasser für den unmittelbaren Gebrauch hergestellt werden soll.

Ein Langsandsandfilter kombiniert mechanische und biologische Reinigungsmechanismen. Zum einen die Siebwirkung, Sedimentation und Flockenbildung im Korngerüst der Filterschichten sowie die Adsorption von Partikel/Stoffen an der Wasser/Boden-Kontaktzone und/oder der Kohleschicht, zum anderen die chemische Abbauleistung von Mikroorganismen, die durch Oxidation/Reduktion, Substitution, Hydrolyse und Metabolismus zum Abbau oder Umbau von Wasserinhaltsstoffen beitragen [2]. Der biologische Abbau wird beeinflusst durch die Verfügbarkeit eines Schadstoffes für die Organismen, die Menge der Mikroorganismen, die am Abbau teilnehmen sowie der Aktivität der Organismen. Die an der Schichtgrenze abfiltrierten groben Partikel des infiltrierten Wassers bilden die so genannte Kolmationsschicht, die ein Strömungshindernis darstellen kann.

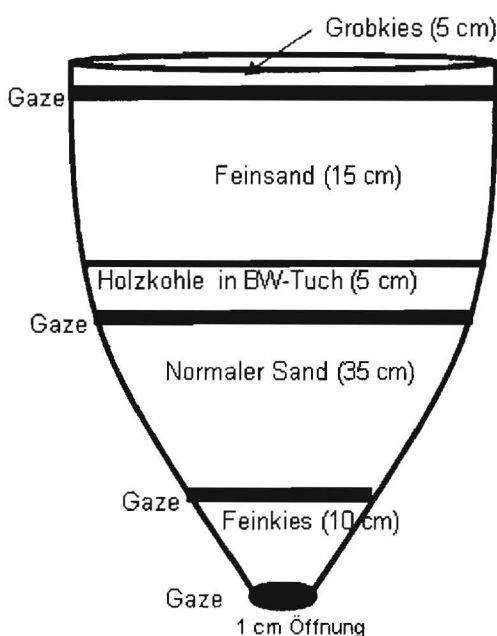


Abb. 2: Skizze des Sand-Kohle-Filters in traditionellem Tongefäß (Mercana) im Diyala, Irak (nach persönlichen Mitteilungen, nicht maßstabsgetreu)

Auf den Faltblättern zur begleitenden Hygieneschulung (Abb. 1) befinden sich Angaben zum Aufbau und zur Benutzung des Filters für die lokale Bevölkerung. Auf der Vorderseite des 1. Faltblattes (hellgrün) befinden sich Angaben zur Standzeit des Filters. Die oberste Kiesschicht sowie der oberste Teil der Sandschicht sollten demnach dann gewaschen werden, wenn sich der Durchfluss zu sehr verringert oder sich Geruch und Geschmack des Wassers verändern. Wahlweise könnten diese Schichten anstatt nur gewaschen auch ausgetauscht werden. Alle 6-8 Monate sollte sämtliches Filtermaterial ausgewechselt werden. Weiterhin beinhaltet die Vorderseite des hellgrünen Faltblattes Angaben zum Gebrauch von Chlortabletten. Das Tongefäß sollte bei der Benutzung der Chlortabletten leer sein. Zur Dosierung des Chlors sollte ein Dosierlöffel verwendet werden. Eine Chlortablette reinigt 20-25 Liter Wasser.

Auf der Rückseite des ersten Faltschlittens befinden sich Angaben zum Schichtenaufbau des Filterbettes. Von oben nach unten sind dies: Kies, Gaze, feiner Sand, Tuch, Holzkohle, Sand, Gaze, feiner Kies, Gaze, Filteröffnung. Auf dem zweiten Bild wird darauf hingewiesen dass es wichtig sei, den Filtersand und Filterkies gut zu waschen, bevor er in den Filter eingebracht wird. Weitere Angaben betreffen die Mächtigkeit der Filterschichten innerhalb des Filterbettes. Von oben nach unten: Gaze, feiner Kies (10 cm), Sand (30-40 cm), Tuch, Holzkohle (5 cm), feiner Sand (15 cm), Kies.

Für die im Anschluss an die Filtration erfolgende Chlorung werden in erster Linie Präparate in Tablettenform irakischen Fabrikates benutzt (z.B. „Halazon“, Calcium –oder Natriumhypochlorit). Der Hersteller gibt eine Dosis von 4 mg Chlorpräparat für einen Liter zu desinfizierendes Wasser an. Zur Verwendung der Tabletten ist wichtig, das Chlor mindestens eine halbe Stunde einwirken zu lassen sowie das Chlorwasser während dieser Zeit sehr gut zu durchmischen.



Abb. 3: Im Anschluss an die Filtration verwendetes Chlorpräparat

### 3.3 Die Testreihe

Für die Rohwasserentnahme zur Beschickung der Filter während der Testreihe wurde ein in der Nähe des Labors vorhandenes Oberflächengewässer, die Spree, ausgewählt. Vor Beginn der Inbetriebnahme des Sand-Kohle-Filters wurde die Aufenthaltszeit des Wassers mit konzentrierter Kochsalzlösung und Messung der Leitfähigkeit im 5-Minutentakt bestimmt, um Aussagen über den zeitlichen und räumlichen Aufenthalt des zu reinigenden Wassers innerhalb des Filters zu treffen.

Es wurden zwei Versuchsphasen durchgeführt. Während der ersten Versuchsphase wurde der Sand-Kohle-Filter gemäß Aufbau im Irak (Filter 1) während 8 Wochen beschickt und beprobt.

Im selben Zeitraum erfolgten auch die Tests mit dem Filterkerzensystem der Marke Toshiba (Filter 2). Während der zweiten Versuchsphase wurden zwei unterschiedlich modifizierte Sandfilter (Filter 3 und 4, detaillierter Aufbau siehe Anlage 1) sieben Wochen untersucht. Während der zwei Versuchsphasen wurden alle ein- bis zweimal pro Woche das Rohwasser und das Filtrat auf alle für die Testreihe ausgewählten Parameter und Indikatoren (Tab. 2) untersucht. Die Bestimmung der Gesamt-Keimzahlkonzentration bei 36°C wurde in der zweiten Versuchsphase 2 eingestellt, da die Keimzahl von E. coli als hinreichend genauer Indikator für fäkale Verunreinigungen angesehen wurde. Innerhalb der vierten Versuchswoche wurde eine automatische Schwallbeschickung mit Zeituhr und zwei Schlauchpumpen eingeführt. Durch 12 Beschickungen am Tag wurden so ca. 40 Liter Wasser pro Filter aufgebracht. Während der vierten Testwoche wurde die Trübung des Spreewassers künstlich mit 2:1 Volumenteilen Töpferton und gemahlener Tafelkreide (Abgleich mit Rechercheergebnissen zur Geologie in Diyala, [4]) erhöht. Beide Stoffe wurden vor Zugabe in den Vorlagebehälter in Wasser homogenisiert und mittels 4 Belüftersteinen in Schwebelage gehalten. Da durch die eingeführte Schwallbeschickung der Filter 3 überlief, wurde zwischenzeitlich das oben aufliegende Baumwolltuch entfernt. Bei Filter 4 entstanden diese Probleme nicht.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Testparameter und in Tabelle 3 ist der experimentelle Aufbau der Testreihe zusammengefasst. Die Probenahmetermine sind den Datentabellen im Anhang zu entnehmen.

Tab. 2: Übersicht über die ausgewählten Testparameter

<b>Parameter/ Nachweis</b>	<b>Erläuterung</b>
Trübung / Trübungsmess- gerät: LTP5 Dr. Lange / TPG 138	Die Trübung ist ein wichtiger Parameter bei der Untersuchung von Wasserfiltern, da Kolloide und Schwebstoffe für die Kolmation der Filterporen verantwortlich sind und somit die Filterlaufzeit maßgeblich beeinflussen. Vor allem aber wird sie mit der bakteriellen Verunreinigung von Wasser in Verbindung gebracht, da Krankheitserreger häufig an Schwebstoffen angelagert sind. Die Trübung wird unter anderem in NTU (nephelometric turbidity unit) oder NFU (nephelometric formazin unit) angegeben. Der Umrechnungsfaktor ist dabei 1. Der WHO Standard für Trinkwasser liegt bei 5 NTU.
SAK- / Spekol ULVIKON 930, Kontron- Instruments	Bestimmte gelöste chemische Stoffe, v.a. Organische, absorbieren ultraviolettes Licht. Für viele Wässer wurde eine gewisse Proportionalität zum DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) festgestellt. Da die photometrische Messung relativ einfach ist, eignet sie sich zur Beobachtung der Wirkung von Aufbereitungsprozessen zur Entfernung von organischen Wasserinhaltsstoffen. Praktische Erfahrungen haben zur Festlegung der Wellenlänge von 254 nm geführt. Das Messergebnis wird auf eine Schichtlänge von 1 m bezogen und ausgegeben als Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK) bei 254 nm Wellenlänge je Meter.

Parameter	Erläuterung
E. coli / Colilert 18	Escherichia coli ist ein normaler Darmbewohner von Mensch und warmblütigem Tier. In der Regel ist E. coli kein Krankheitserreger, wird aber als Indikator für fäkale Verunreinigungen angesehen. Da die meisten Krankheitserreger über den Darm ausgeschieden werden, bedeutet der Nachweis von Escherichia coli im Trinkwasser, dass in diesem Wasser mit Krankheitserregern gerechnet werden muss. Der WHO-Standard liegt bei 0 CFU/100ml
Coliforme Keime / Colilert 18	"Coliforme Keime" ist ein Sammelbegriff für laktosespaltende Enterobacteriaceae (incl. E. coli). Der Nachweis coliformer Keime ist ein Hinweis auf Verunreinigungen, die fäkaler, aber auch nicht-fäkaler Art sein können. Unter diese Bezeichnung fallen z. B. Keime aus der Enterobacter-, Citrobacter und Klebsiella-gruppe. Die Bebrütungstemperatur bei der Untersuchung dieses Parameters beträgt 36°C. Der WHO-Standard liegt bei 0 CFU/100ml
Gesamtkeimzahl / Nähragar, aerob, bei 20°C/ 36°C	Die Gesamtkeimzahl ist eine unspezifische Größe aus der bakteriologischen Untersuchung von Trinkwasser nach der Trinkwasser-Verordnung. Sie gibt an, wie viele Bakterienkolonien sich auf einem für diesen Zweck normierten Agar-Nährboden im Verlauf von 48 Stunden bei einer geregelten Bebrütungstemperatur von 20°C bzw. 36°C bilden, wenn man 1 ml Wasserprobe auf dem Nährboden verteilt. Das Ergebnis einer solchen Untersuchung wird in KbE (Koloniebildende Einheiten) bzw. CFU (colony forming units) angegeben. Der Nährboden ist darauf ausgelegt, eine möglichst breite Auswahl verschiedener Bakterienarten kultivieren zu lassen, die diverse organische Substanzen in der Umwelt als Nahrung verwerten können. Damit sind sie Anzeiger solcher "organischer Belastungen" im Wasser. Die beiden Bebrütungstemperaturen führen zu einer Unterscheidung von Keimarten, die in der Umwelt leben, von solchen, die mit Fäkalien aus dem Darm warmblütiger Tiere assoziiert sind.
Clostridium perfringens / Selektivnährmedium, anaerob	Clostridium perfringens kommt im Darm von Mensch und Tier sowie in Erde, Staub und Wasser vor. Clostridium perfringens ist der wichtigste Erreger des Gasbrandes und ein häufiger Erreger unspezifischer Infektionen. Einige Stämme können Enterotoxine produzieren und sind somit ein häufiger Erreger von Lebensmittelvergiftungen. Abgesehen davon, dass Clostridium perfringens als Krankheitserreger eine große Bedeutung zukommt, wird Clostridium perfringens aufgrund der Fähigkeit der Endosporenbildung in der Trinkwasserverordnung von 2001 als Indikatorparameter geführt. Die Sporen überleben länger als beispielsweise E.coli oder Enterokokken und können somit auf eine länger zurückliegende oder periodisch auftretende Verunreinigung hindeuten. Durch die Sporenbildung sind sie gleichzeitig widerstandsfähiger gegen Desinfektionen und stellen zusätzlich eine Indikation für die Wirksamkeit der Wasseraufbereitung dar. Gleichzeitig können Clostridium perfringens Sporen ein Indikator für die Anwesenheit von Protozoencysten bzw. Parasitendauerformen sein (33).

Tab. 3: Übersicht über den experimentellen Aufbau der Testreihe

	<b>1. Testphase: 14.02. – 11.04.2006</b>	<b>2. Testphase: 12.05. – 27.07.2006</b>
<b>Filter-systeme</b>	<p><b>Filter 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommerzieller mobiler Keramikkerzenfilter im Metallgehäuse der Marke Toshiba, 2 Filterkerzen</li> </ul> <p><b>Filter 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Von arche noVa entwickelter, im Irak eingesetzter Sand-Kohle-Filter in einem traditionellen irakischen Tongefäß zur Wasseraufbewahrung, nachgebaut in Dresden (Skizze siehe Abb. 2, Aufbau siehe Abb. 5)</li> </ul>	<p><b>Filter 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifizierte Version von Filter 2</li> <li>• Trennschichten aus Geovlies statt Gaze</li> <li>• mit Kohleschicht in Baumwolltuch</li> <li>• Bauwolltuch unter oberster Grobkiesschicht (Abb. 6)</li> <li>• andere Körnungsschichtung</li> </ul> <p><b>Filter 4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifizierte Version von Filter 2</li> <li>• keine Kohleschicht</li> <li>• Trennschichten aus Geovlies statt Gaze</li> <li>• Bauwolltuch unter oberster Grobkiesschicht (Abb. 6)</li> <li>• andere Körnungsschichtung</li> </ul>
<b>Roh-wasser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenwasser aus der Spree bei Ebersbach</li> <li>• Speicherung im Sammelbehälter (235 L)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenwasser aus der Spree bei Ebersbach</li> <li>• Speicherung im Sammelbehälter (235 L)</li> <li>• In der vierten Testwoche künstliche Erhöhung der Trübung des Rohwassers mit 2 : 1 Volumenteilen Töpferton und Tafelkreide / Homogenisierung</li> </ul>
<b>Probe-nahme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tägliche Befüllung der Filter mit ca. 40 Liter Rohwasser</li> <li>• Schwallbeschickung per Hand in 5-Literschritten</li> <li>• bei Filter 2: Auffanggefäß aus Ton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tägliche Befüllung mit ca. 40 Liter Rohwasser, bis zur 4. Woche Schwallbeschickung per Hand in 5-Liter-schritten auf die gesamte Filterfläche</li> <li>• ab der vierten Versuchswoche über 12 automatische Schwallbeschickungen pro Tag mit Zeituhr und zwei Schlauchpumpen.</li> <li>• Auffanggefäße: Plastikeimer</li> </ul>
<b>Test-para-meter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtkoloniezahl/1 ml (20 °C)</li> <li>• Gesamtkoloniezahl/1 ml (36 °C)</li> <li>• Coliforme Keime/100 ml</li> <li>• Escherichia Coli/100 ml</li> <li>• Clostridium perfringens / 100 ml</li> <li>• Trübung (NFU)</li> <li>• SAK in 1 / m bei 436 nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtkoloniezahl/1 ml ( 20 °C)</li> <li>• Coliforme Keime/100 ml</li> <li>• Escherichia Coli/100 ml</li> <li>• Clostridium perfringens/100 ml</li> <li>• Trübung (NFU)</li> <li>• SAK in 1 / m bei 436 nm</li> </ul>



Abb. 4: Kommerzielles mobiles Keramikfilterkerzensystem im Metallgehäuse (Filter 1)



Abb. 5: Aufbau, Material und Benutzung des Sand-Kohle-Filters (Filter 2)



Abb. 6: Aufbau, Material und Benutzung der modifizierten Filterversionen (Filter 3 und 4)



### 3.4 Rechercheergebnisse zur Rohwasserbeschaffenheit

Das Einsatzgebiet mit den Orten Kalar, Kifri und Khanaqin gehört zum so genannten Germian-Gebiet im Süden des kurdischen Siedlungsgebietes nordöstlich von Bagdad. Dort befindet sich der Mittellauf des Flusses Diyala. Dieser gibt der Region ihren Namen und stellt in der Gegend das größte Fließgewässer dar. Er entwässert insgesamt ein Gebiet von 32600 km<sup>2</sup> [7]. Nach Pegeldaten unterhalb des Diyala-Mittellaufes sind die Durchflussmengen saisonal stark schwankend [5], es wurde auch schon von vollständigem Trockenfallen des Flusses in den Sommermonaten berichtet. Der festgestellte Abfluss war im September am geringsten, stieg ab Oktober an und erreichte in den Monaten März/April die Höchstwerte. Im Landabschnitt um den Fluss Diyala herum wurde von Erosionsproblemen berichtet [6], welche zu einem erheblichen Feststoffeintrag in das Flusswasser führen. 90% der jährlichen Fracht an gelösten Stoffen fallen im Winter und Frühling an [7]. Aber auch im Sommer ist der Feststoffeintrag durch den Fluss so groß, dass die Kapazität der Bewässerungskanäle stark eingeschränkt wird [6]. Es ist also das ganze Jahr über von einem Flusswasser mit hohem Trübstoffanteil durch Bodenpartikel auszugehen. Dies wurde durch Aussagen der Auslandskoordinatoren bestätigt, in denen das Wasser der Flüsse als meist „schlammig“ beschrieben wurde. Bei Untersuchungen am unteren Flusslauf des Diyala wurden erhebliche Verschmutzungen des Flusses durch Drainagekanäle und Haushaltsabwässer festgestellt [8].

Eine genaue Analyse der Beschaffenheit der für die Wasserversorgung genutzten Oberflächengewässer in der irakischen Provinz Diyala war bisher nicht möglich. Die coliforme Keimbelastung wurde mittels eines Vergleiches mit europäischen Fließgewässern, Kläranlagenabläufen und den oben genannten Angaben auf stark bis sehr stark (5.000 – 500.000 KbE / 100 ml) geschätzt.

Anhand einer persönlichen Mitteilung eines irakischen Mitarbeiters, der uns Angaben zur Geologie in der Region Diyala übermittelte, können weitere Aussagen zur Gewässerbeschaffenheit und damit zur Rohwasserqualität im Einsatzgebiet des Filters gemacht werden. [4]. Demnach weisen zwei Haupttäler in der Region dicke Humusschichten auf durch die Flüsse mit relativ hoher Ablagerungskapazität fließen: Der Awa Spi (Kurdisch: weißes Wasser) der aus mehreren riesigen Quellen 4-30km südlich und süd-östlich von Sulaymaniyah entspringt und in den Tigris mündet und der Sirwan (später unter Saddam Hussein im Rahmen der Arabisierung in Diyala umgetauft) entspringt aus riesigen Quellen im iranischen Kurdistan und mündet ebenfalls im Tigris. Die lithologische Zusammensetzung und Abfolge der geologischen Formationen im Einsatzgebiet der Filter (Tab. 4) lässt eine ungefähre Aussage über die im Gewässer vorkommenden Stoffe zu. Demnach ist ein wesentlicher Bestandteil der Trübstoffe in den Gewässern ausgewaschene Tonerde, die für eine natürlicherweise hohe Trübung und organische Belastung des Gewässers verantwortlich sind. Zusätzlich werden die Gewässer noch anthropogen belastet.

Tab. 4: Geologie im Einsatzgebiet des Filters

Schichtenbezeichnung	Zusammensetzung im Wesentlichen aus:
Lower Fars	Gips, Tonerde, dünne Schichten Sandstein, Seekreide
Upper Fars	rötliche Tonerde, verfestigter Sandstein
Lower Bakhtiyari	dicke Tonerde-Schichten, dünne Kiesschichten, die sich als interne Sequenzen wiederholen
Upper Bakhtiyari	(selten in dem genannten Gebiet) dicke Kiesschichten, Tonerde
junge Ablagerungen	Kies, Sand, Ton-Korngrößen unterschiedlicher Herkunft und heterogen vermischt

Für die Testreihe in Ebersbach in Deutschland wurde aus logistischen Gründen Spreewasser als Rohwasser ausgewählt. Die Erstbeprobung des Spreewassers im Februar 2006 ergab folgende Beschaffenheit:

- kritische bis stark coliforme Belastung auf (10.000 – 20.000 KbE / 100 ml).
- schwankende aber geringe Trübung (maximal 12,5 NTU)
- pH-Wert 7,6
- Karbonathärte bei 3,9 °dKH.

Das Rohwasser welches für die Benutzung der Filter während der Testreihe verwendet wird, ist sehr wahrscheinlich weder mikrobiologisch, organisch, noch bezüglich der Trübung so stark belastet wie im irakischen Einsatzgebiet der Filter.

### 3.5 Ergebnisse der Testreihe

Zu Beginn der Testreihe wurde der Durchfluss des Filters gemessen. Dazu wurde der Filter 2 Wochen lang (13.02. -27.02.2006) kontinuierlich mit einer Dosiereinrichtung mit Rohwasser aus der Spree gespült. Am 27.02. wurde der Filter dann schubweise (8mal mit je 5 Liter) beschickt. Der Durchlauf eines Schwallts von 5 Litern dauerte etwa 2 Stunden. Daraufhin wurde eine Aufenthaltsverteilungskurve mittels Natriumchlorid-Lösung und Leitfähigkeitsmessung im 5-Minutentakt aufgenommen. Eine Stunde lang fließt kein natriumchloridhaltiges Wasser aus der unteren Öffnung. Nach 70 Minuten beginnt eine kontinuierliche Steigung der NaCl-Konzentration im Filtrat, der Hauptstoß erfolgt nach etwa 3 Stunden.

Die erhobenen Maßdaten für jede getestete Filterversion sind in den Anhängen 2-4 tabellarisch zusammengestellt. In den folgenden Tabellen sind die wichtigsten Ergebnisse für jede getestete Filterversion separat zusammengefasst. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der vier Filterversionen ist nicht gegeben, da mehrere Variablen pro Filterversion verändert wurden, welche die Zeit, das Material und die Rohwasserbeschaffenheit betreffen. Es handelt sich somit nicht um Paralleltests.

Tab. 5: Zusammenfassung der Messergebnisse für Filter 1

<b>Filter 1: Keramikkerzensystem (Toshiba)</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Ergebnis und Bewertung</b>
Gesamt-koloniezahl (bei 20 °C)	Wirkungsgrad beträgt nach 2 Wochen maximal 77 %, dabei absoluter Ablaufwert von bis zu 1950 KbE pro ml. Keine effiziente Reduzierung von Umweltkeimen. Die Ablaufwerte zeigen eine organische Belastung des Filtrats an.
Gesamt-koloniezahl (bei 36 °C)	Wirkungsgrad beträgt nach 2 Wochen maximal 87 %, dabei absoluter Ablaufwerte von bis zu 120 KbE pro ml. Keine effiziente Reduzierung von Umweltkeimen. Die Ablaufwerte zeigen eine organische Belastung des Filtrats an, wobei diese Keime (bei 36°C kultiviert) eine Verunreinigung des Filtrats mit Fäkalkeimen von Mensch und Tier vermuten lassen.
Coliforme Keime	Keimreduzierung von 99 % bis 100 %, bei anfänglich hohen absoluten Werten im Ablauf (115 KbE / 100 ml) bei hohem Zulaufwert (9699 KbE/100ml). Diese Keime fäkalen und nicht-fäkalen Ursprungs werden von der ersten Benutzung an sehr stark reduziert. Allerdings schafft der Filter bei der ersten Benutzung mit kritisch coliform belasteten Rohwasser (9500 KbE/100ml) nur eine Qualitätsverbesserung auf kritisch belastetes Filtrat (115 KbE/100ml).
E. Coli	Keimreduzierung von 99 % bis 100 %, bei anfänglich höheren absoluten Werten im Ablauf (20 KbE/100 ml) bei einem hohen Zulaufwert (1900KbE/100ml). Die Keime dieses Indikators für fäkale Verunreinigungen werden von der ersten Benutzung an sehr stark reduziert. Der Anteil von E.Coli an den gesamten coliformen Keimen im Filtrat ist sehr gering.
Clostridium perfringens	Keime werden bei allen Probenahmen von absoluten Werten im Zulauf von 60 bis maximal 165 KbE/100 ml auf 0 KbE/100 ml reduziert. Die Wirkung des Filters bezüglich dieser anaeroben Sporenbildner ist zwei Wochen lang ab der ersten Benutzung sehr gut. Die Ergebnisse deuten auf eine hohe Effizienz des Filters bezüglich dieser Keime hin.
Trübung	Bei Rohwasser mit sehr geringer Trübung (maximal 1,43 NTU) beträgt die Filterleistung bezüglich Trübungspartikel am ersten Benutzungstag 81 % und steigt bis zum zehnten Tag bis zu 95 %. Möglicherweise steigt die Effizienz bezüglich der Trübungsreduzierung durch die Anlagerung von Partikeln an die Keramikkerzen (Verringerung der Größe der Filterporen - positiver Effekt). Spätestens nach dieser Zeit sollte der Filter nach Benutzerhinweis allerdings bereits gereinigt worden sein.
SAK	Die Filterleistung bezüglich der Färbung durch organische Stoffe beträgt am ersten Benutzungstag bei 21 % und steigt bis zum zehnten Tag bis zu 31 %. Bei Rohwasser mit geringer Färbung durch organische Stoffe werden bestimmte UV-absorbierende organische Verbindungen nur in geringem Maße zurückgehalten.
<b>Zusammenfassung</b>	
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Reduzierung von Fäkalkeimen und Clostridien</li> <li>• unzureichende Reduzierung der Gesamtkeimzahl</li> <li>• gute Trübungsreduzierung</li> <li>• geringe Reduzierung organischer Verbindungen</li> </ul>
Benutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederverkeimung im Auffanggefäß ist nicht auszuschließen</li> <li>• Desinfektion des Filtrates erforderlich</li> </ul>

Tab. 6: Zusammenfassung der Messergebnisse für Filter 2

<b>Filter 2: Sand-Kohle-Filter – Version Irak</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Ergebnisse und Bewertung</b>
Gesamt-koloniezahl (bei 20 °C)	Nach einer Anlaufphase von ca. 1 Woche stellen sich Wirkungsgrade von mind. 90% ein. Der Filter erreicht keine effiziente Reduzierung von Umweltkeimen, denn die absoluten Ablaufwerte zeigen auch bei Wirkungsgraden ab 90% eine wesentliche organische Belastung des Filtrats an. Fehler in der Handhabung (Überlauf von Rohwasser in Filtrat durch fehlende Abdeckung) führen kurzzeitig zu Wirkungsgraden unter 50%. Nach ca. 6 Wochen verschlechtert sich die Qualität des Filtrates im Vergleich zur Qualität während der höchsten Wirkungsgrade. Die effizienteste Reduzierungsleistung der Gesamtkeimzahl findet während der höchsten absoluten Zulaufwerte der Gesamtkeimzahl (bei 20°C und bei 36°C) und bei der höchsten Trübung statt.
Gesamt-koloniezahl (bei 36 °C)	Der Filter erreicht keine effiziente Reduzierung von Umweltkeimen. Die absoluten Ablaufwerte zeigen eine organische Belastung des Filtrats an, wobei diese Keime (Inkubation bei 36°C) eine Verunreinigung des Filtrats mit Fäkalkeimen von Mensch und Tier vermuten lassen. Nach ca. 6 Wochen verschlechtert sich die Qualität des Filtrates im Vergleich zur Qualität während der höchsten Wirkungsgrade. Die effizienteste Reduzierungsleistung der Gesamtkeimzahl findet während der höchsten absoluten Zulaufwerte der Gesamtkeimzahl (bei 20°C und bei 36°C) und bei der höchsten Trübung statt.
Coliforme Keime	Diese Keime fäkalen und nicht-fäkalen Ursprungs werden nach einer Anlaufphase von ca. 2 Wochen mit Wirkungsgraden um 90 % reduziert. Während dieser hohen Wirkungsgrade wird das kritisch bis stark coliform belastete Rohwasser auf absolute Keimzahlen reduziert, die für ein mäßig bis kritisch belastetes Filtrat stehen. Nach ca. 6 Wochen lässt die Wirkung dann rapide nach. Ein Benutzungsfehler (Überlauf des Rohwassers durch fehlende Abdeckung) bewirkt zwischendurch eine Verkeimung des Filtrates.
E. Coli	Die Keime dieses Indikators für fäkale Verunreinigungen werden nach einer Anlaufphase von ca. 3 Wochen mit Wirkungsgraden mit über 90% reduziert. Danach schwanken die Werte. Die absoluten Keimzahlen des Indikators E. coli im Filtrat sprechen für eine fäkale Verunreinigung, wobei eine Belastung des Filtrates mit Pathogenen nicht ausgeschlossen werden kann.
Clostridium perfringens	Nach einer Woche Filterbetrieb werden Wirkungsgrade von 100 % erreicht. 2 Wochen später sinkt die Wirkung auf 86 % (28 KbE/100ml). Dann wirkt der Filter wieder zu 100 %. Nach einem Monat sinkt die Wirkung wieder (46 % bei 102 KbE/100ml) um sich eine Woche später wieder nahe der 100% zu stabilisieren. Dann sinkt die Effizienz systematisch bis nach etwa 2 Monaten keine Wirkung mehr nachzuweisen ist. Der Filter erreicht in kurzer Anlaufzeit eine gute reduzierende Wirkung bezüglich Clostridium perfringens. Die nachfolgenden Schwankungen können auf falsche Benutzung (keine Abdeckung zwischen den Gefäßen - Überlaufen von Rohwasser in Auffanggefäß) oder durch Wiederverkeimung im Auffanggefäß aufgetreten sein.

	<p>Die absoluten Keimzahlen im Filtrat bei 100%-er Leistung betragen maximal 4 KbE / 100 ml. Die gute Reduzierung dieses Indikators für bestimmte widerstandsfähige Dauerstadien bildende Parasiten zeigt, dass der Filter mit anschließender Desinfektion hinsichtlich dieser Pathogene mehrere Wochen effizient arbeiten kann.</p>
Trübung	<p>Der Wirkungsgrad hinsichtlich des Filters bei Rohwasser mit niedriger Trübung schwankt stark. Es werden maximale Wirkungsgrade von 54 % erreicht. Die Trübungsminderung ist bei relativ klarem Rohwasser wenig effizient. Die höchsten Wirkungsgrade des Filters werden bei den höchsten Trübungswerten im Zulauf erreicht. Möglicherweise kommt hier der Effekt der Flockenbildung zum Tragen: Durch den Siebeffekt setzen sich die Poren im Filtermaterial zu. Durch die höhere Wassergeschwindigkeit in den verkleinerten Filterhohlräumen werden bereits abgesetzte Flocken mitgerissen, vergrößern sich durch den erhöhten Partikelkontakt, bilden neue und größere Flocken und setzen sich in tiefer liegenden Filterschichten fest. Große Flocken werden wiederum durch den Siebeffekt zurückgehalten.</p> <p>Bei mehreren Probenahmen ist die Trübung im Filtrat gegenüber dem Rohwassers stark erhöht. Diese negativen Wirkungsgrade könnten auf Rückspülung von im Filter festgehaltenen Partikeln oder durch Ausspülung von Partikeln aus dem tonernen Auffanggefäß zurückzuführen sein.</p> <p>Die großen Schwankungen in den Ablaufwerten könnten bedeuten, dass bei der oben beschriebenen Benutzung des Filters (Schwallbeschickung mit relativ klarem Wasser) Phasen der Rückspülung und Phasen der Festlegung von Partikeln in den Filterschichten stattfinden bzw. sich abwechseln. Dazu kommt wahrscheinlich der o.g. Effekt der Partikellösung im Auffanggefäß.</p>
SAK	<p>Die Filterleistung bezüglich der Färbung durch organische Stoffe beträgt maximal 46 %. Dabei schwanken die Werte leicht. Bei einer Probenahme tritt ein negativer Wirkungsgrad auf. Bei Rohwasser mit geringer Färbung durch organische Stoffe werden bestimmte UV-absorbierende organische Verbindungen nur in geringem Maße zurückgehalten.</p>
<b>Zusammenfassung</b>	
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unzureichende Reduzierung der Gesamtkeimzahl</li> <li>• nach mehrwöchiger Anlaufzeit wenige Wochen mäßige bis gute Reduzierung von Indikatorkeimen für fäkale Verunreinigung</li> <li>• Trübungsreduzierung bei hohen Trübungswerten am höchsten</li> <li>• Trotz Kohleschicht nur geringe Reduzierung von organischen Verbindungen</li> </ul>
Benutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierigkeiten sind bei dieser Filtervariante gegeben - abdichtende Abdeckung oder Kitt zwischen den Tongefäßen unbedingt erforderlich</li> <li>• Rückspülung von Partikeln aus Filter findet statt und Lösung von Partikeln aus Tongefäß erhöhen Trübung im Filtrat</li> <li>• Auffanggefäß begünstigt wahrscheinlich die Wiederverkeimung des Filtrates</li> </ul>

Tab. 7: Zusammenfassung der Messergebnisse für Filter 3

<b>Filter 3: modifizierter Sand-Kohlefilter mit Baumwolltuch und Geovlies</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Ergebnis und Bewertung</b>
Gesamt-koloniezahl (bei 20 °C)	Nach ca. 3 Wochen Laufzeit stellt sich eine 100 %ige Reduzierung von Umweltkeimen bei sehr niedrigen absoluten Keimzahlen im Filtrat ein. Bis zum Ende der Testreihe (in der elften Testwoche) bleibt die Keimreduzierende Wirkung erhalten.
Coliforme Keime	Diese Keime fäkalen und nicht-fäkalen Ursprungs werden nach einer 3-wöchigen Anlaufphase bei geringen absoluten Keimzahlen im Filtrat zu 100 % reduziert, obwohl das Rohwasser meist kritisch bis stark coliform belastet war. Bis zum Ende der Testreihe (in der elften Testwoche) bleibt die Keimreduzierende Wirkung hinsichtlich dieser Keime erhalten.
E. Coli	Die Keime dieses Indikators für fäkale Verunreinigungen werden nach einer Anlaufphase von ca. 3 Wochen mit Wirkungsgraden von mind.98 %, meist 100% reduziert. Die absoluten Keimzahlen im Filtrat liegen meist nahe Null. Der Anteil von E. coli an den gesamten coliformen Keimen ist im Rohwasser und im Filtrat sehr gering.
Clostridium perfringens	Ab der ersten Inbetriebnahme des Filters wird Clostridium perfringens bei absoluten Keimzahlen von meistens 0 KbE / 100ml zu 100% reduziert. Diese Wirkung sinkt nur wenige Male auf minimal 94 % bei 6 KbE / 100ml. Die Effizienz des Filters hinsichtlich dieser Keime bleibt bis zum Ende der Testreihe in der elften Woche auch bei relativ hohen und schwankenden absoluten Zulaufwerten vollständig erhalten.
Trübung	Die Trübung bei klarem Rohwasser (maximal 3 NTU) wird von der ersten bis zur 5.Woche mit mindestens 80%er Wirkung reduziert. In der 5.Testwoche wird das Rohwasser künstlich mit Kreide und Ton auf 203 NTU angehoben, nach ein paar Tagen wieder auf 20-30 NTU abgesenkt und bis zum Ende der Testreihe wieder schrittweise auf über 203 NTU erhöht. Während dieser Experimentierphase mit der Trübung stellt sich eine 99-100%ige Reduzierung der Trübung ein die bis zum Ende anhält. Bei höheren Trübungswerten scheint der Filter besonders effektiv die Trübung zu reduzieren, was evt. auch die keimreduzierende Wirkung in der Testphase positiv beeinflusst.
SAK	Bei sehr niedrigen Konzentrationen an UV-absorbierenden organischen Verbindungen im Rohwasser werden diese mit Wirkungsgraden zwischen 41% und 82 % nur in geringem Maße reduziert, d.h. durchschnittlich mehr als halbiert. Die absoluten Werte im Filtrat sind bei maximal 0,32 /m allerdings sehr gering.
<b>Zusammenfassung</b>	
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach Anlaufzeit gute Reduzierung der Gesamtkeimzahl, coliformen Keimen und E. coli</li> <li>• Von Anfang an sehr gute Effizienz hinsichtlich Clostridien als Indikator für widerstandfähige Parasiten und Dauerformen</li> <li>• Trübungsreduzierung bei hohen Trübungswerten am höchsten</li> <li>• Trotz Kohleschicht nur geringe Reduzierung von organischen Verbindungen - keine höhere Wirkung im Vergleich zu Filterversionen ohne Kohleschicht (Version III)</li> </ul>
Benutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfach zu handhabende Modifikation mit Baumwolltuch zeigt hohe Effizienz und lange Standzeit</li> </ul>

Tab. 8: Zusammenfassung der Messergebnisse für Filter 4

<b>Filter 4: modifizierter Sandfilter ohne Kohle, mit Baumwolltuch und Geovlies</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Ergebnis und Bewertung</b>
Gesamt-koloniezahl (bei 20 °C)	Nach ca. 3 Wochen Laufzeit stellt sich 99-100 %ige Reduzierung von Umweltkeimen bei sehr niedrigen absoluten Keimzahlen im Filtrat ein. Bis zum Ende der Testreihe (elfte Testwoche) bleibt keimreduzierende Wirkung erhalten, wobei in den letzten drei Wochen keine Keime mehr im Filtrat nachzuweisen waren.
Coliforme Keime	Diese Keime fäkalen und nicht-fäkalen Ursprungs werden nach einer 3-wöchigen Anlaufphase bei geringen absoluten Keimzahlen im Filtrat zu 87-100 %iger Wirkung reduziert, obwohl das Rohwasser meist kritisch bis stark coliform belastet war. Bis zum Ende der Testreihe (in der elften Testwoche) bleibt die Keimreduzierende Wirkung hinsichtlich dieser Keime erhalten, wobei sich die Effizienz in den letzten drei Wochen auf 100% stabilisiert und keine bis sehr wenige coliforme Keime im Filtrat nachzuweisen sind.
E. Coli	Die Keime dieses Indikators für fäkale Verunreinigungen werden nach einer Anlaufphase von ca. 3 Wochen mit Wirkungsgraden von mindestens 95 %, meist zu 100% reduziert. Die absoluten Keimzahlen im Filtrat sind meist sehr gering, d.h. meist nahe Null. Der Anteil von E.coli an den gesamten coliformen Keimen ist im Rohwasser und im Filtrat sehr gering.
Clostridium perfringens	Ab der ersten Inbetriebnahme des Filters wird Clostridium perfringens bei absoluten Keimzahlen von 0 bis 9 KbE/100ml zu 97-100% reduziert. Diese sehr gute Wirkung sinkt allerdings einmal auf 52 % bei 24 KbE /100ml, stellt sich dann aber wieder auf 97% bei 4 KbE/100ml ein. Die Effizienz des Filters hinsichtlich dieser Keime bleibt bis zum Ende der Testreihe in der elften Woche auch bei relativ hohen und schwankenden absoluten Zulaufwerten vollständig erhalten (Wiederverkeimung durch falsche Abdeckung)
Trübung	Die Trübung bei klarem Rohwasser (maximal 3 NTU) wird von der ersten bis zur 5.Woche mit mindestens 70%iger Wirkung reduziert. In der 5.Testwoche wird das Rohwasser künstlich mit Kreide und Ton auf 203 NTU angehoben, nach ein paar Tagen wieder auf 20-30 NTU abgesenkt und bis zum Ende der Testreihe wieder schrittweise auf über 203 NTU erhöht. Während dieser Experimentierphase mit der Trübung stellt sich eine 99-100%ige Reduzierung der Trübung ein die bis zum Ende anhält. Bei höheren Trübungswerten scheint der Filter besonders effektiv die Trübung zu reduzieren, was evt. auch die Keimreduzierende Wirkung in der Testphase positiv beeinflusst.
SAK	Bei niedrigen Konzentrationen an UV-absorbierenden organischen Stoffen im Rohwasser werden diese mit Wirkungsgraden zwischen 41% und 82 % nur in geringem Maße reduziert, d.h. durchschnittlich mehr als halbiert. Die absoluten Werte im Filtrat sind bei maximal 0,32 /m sehr gering.
<b>Zusammenfassung</b>	
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nach einer mehrwöchiger Anlaufzeit gute Reduzierung der Gesamtkeimzahl, coliformen Keime und E. coli</li> <li>• Von Anfang an sehr gute Effizienz hinsichtlich Clostridien als Indikator für widerstandfähige Parasiten und Dauerformen</li> <li>• Trübungsreduzierung bei hohen Trübungswerten am höchsten</li> <li>• mäßige Reduzierung von organischen Verbindungen</li> </ul>
Benutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfach zu handhabende Modifikation mit Baumwolltuch zeigt hohe Effizienz und lange Standzeit</li> <li>• Vereinfachung da Weglassen der Kohle</li> </ul>

Folgende Empfehlungen für den Bau und die Handhabung von Sandfiltern lassen sich aus den gewonnenen Erkenntnissen und Ergebnissen der Testreihe ableiten:

- Die Körnung der Gesteinsschichten soll nach unten immer feiner werden, damit sich diese nicht vermischen (Ein- und Ausspülungen). Diese sollten spätestens alle 6 Monate gereinigt bzw. ausgewechselt werden.
- Es sollten keine organischen Materialien (Gewebe) in den Filter eingebracht werden, da diese im Inneren des Filters zersetzt werden und ein anaerobes Milieu bilden. Besser geeignet zur Trennung der Schichten sind mineralische Materialien (Gaze, Vlies).
- Das Einbringen von fein gestampfter Kohle in einem Tuch in den Filter ist nicht zwingend für die Effizienz des Filters erforderlich, kann bei richtiger Handhabung aber kurzfristig eine effektive Sperrschicht für Keime darstellen. Da diese Schicht durch den biologischen Metabolismus zur Bildung eines anaeroben Milieus führt, sollte die Kohleschicht alle 14 Tage ausgewechselt werden. Um das Auswechseln einfacher zu gestalten sollte die Kohleschicht unter die oberste Schicht aus grobem Kies herausnehmbar eingebracht werden.
- Ein Aufbringen eines für die Reinigung auswechselbaren Baumwolltuches über der letzten Filterschicht und mit großen Kieselsteinen beschwert, erhöht die Effizienz und Standzeit des Filters, weil sofort Trübungspartikel und Keime zurückgehalten werden.
- Das Auffanggefäß aus Ton fördert die Wiederverkeimung des Filtrats und ist für eine sachgemäße Chlorung (Durchmischung) ungeeignet. Weiterhin können sich Partikel aus dem Tongefäß lösen und die Trübung im Filtrat erhöhen. Daher sind offene Auffanggefäße aus anderen Materialien (z.B. saubere Eimer) geeigneter. Für die kurzfristige Aufbewahrung des desinfizierten Wassers sollte das Gefäß abgedeckt werden.
- Der Filter sollte permanent mit Wasser überflutet sein, damit der biologische Rasen nicht trocken fällt und eine Sauerstoffdurchsetzung der Schichten gefördert wird. Dies kann durch regelmäßige Schwallbeschickung gewährleistet werden.
- Zwischen Filter- und Auffanggefäß muss eine Abdeckung mittels einer Plane oder ähnlichem eingerichtet werden, um Kontamination des Filtrats und Auffanggefäß zu verhindern
- Diese Art von dezentraler Wasserversorgung ist nur mit einführender und begleitender Hygienebildung und Monitoring seitens lokaler Hygieneverantwortlicher sinnvoll, denn die Aufbereitung mit diesem Sandfiltersystem und anschließender Chlorung kann nur richtig benutzt werden, wenn ein Wissen um seine Funktionsweise und Wirkung dieser Behandlung vorhanden ist.

### 3.6 Bewertung der Ergebnisse

---



### 3.6 Bewertung der Ergebnisse

Mittels Abgleich der Ergebnisse der Testreihe mit dem Sand-Kohle-Filter (Filter 2) der im Irak benutzt wird mit den Anforderungen an dezentrale Wasseraufbereitungssysteme in der Nothilfe (Tab. 1) konnten Vor- und Nachteile des getesteten Sand-Kohle-Filters herausgearbeitet werden (Tab. 9).

Tab. 9: Übersicht über Vor- und Nachteile des von arche noVa im Irak implementierten Sand-Kohle-Filtersystems gemessen an den Anforderungen an dezentrale Wasseraufbereitung in der Nothilfe

	Vorteile	Nachteile
Filtereffizienz und Wasserqualität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kurzfristig effektive Reduzierung von mind. 90 % der coliformen Keime</li> <li>• sehr gute Reduzierung von pathogenen Dauerstadien bildenden Parasiten (Indikator Clostridium perfringens)</li> <li>• sehr gute Reduzierung der Trübung, als Voraussetzung für nachfolgende Desinfektion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehrwöchige Einlaufzeit des Filters</li> <li>• Kohleschicht schafft anaerobes Milieu und verkürzt Standzeit</li> <li>• Filtrat ist auch bei hoher Effektivität mit hohen absoluten coliformen Keimzahlen belastet – daher zwingend sachgemäße Desinfektion erforderlich</li> </ul>
Technik und Handhabung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betrieb ohne elektrische Energie</li> <li>• ausschließlich Verwendung lokaler und kostengünstiger Materialien</li> <li>• Einfache, leicht weiterzugebende und modifizierbare Bauweise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtergefäß aus Ton ist sehr schwer, daher kaum Mobilität und schwierige Wartung</li> <li>• Die Kohleschicht ist aufwendig auszuwechseln, Bildung von Einspülungen in den Schichten</li> <li>• Im Auffanggefäß aus Ton kann Chlorung nicht sachgemäß durchgeführt werden, Filtrat löst Trübungsbestandteile aus Gefäß, Gefäß ist anfällig für Wiederverkeimung</li> </ul>
Anpassung an Vorortbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filter ist für alle zugänglich, da jede Familie die traditionellen Tongefäße besitzt</li> <li>• kein Einsatz von komplizierter Fremdtechnologie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chemische Veränderung von Wasser (Chlorung) widerspricht teilweise lokalen Bräuchen</li> <li>• Basiswissen über Hygiene und Wasseraufbereitung, und regelmäßiges Monitoring notwendig, aber z.T. schwierig zu realisieren</li> </ul>

### 3.7 Ausblick

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und die wichtigsten Erkenntnisse der ersten Testreihe werden unter dem Titel „Dezentrale Wasseraufbereitung in der humanitären und entwicklungsorientierten Nothilfe“ als pdf-Druckversion in englischer und deutscher Sprache auf der Homepage des arche noVa e.V. ([www.arche-nova.org](http://www.arche-nova.org)) veröffentlicht. Die Erkenntnisse und Erfahrungen aus Auslandsprojekten im Bereich der Trinkwasserversorgung und aus der Testreihe im Inland werden von der Öffentlichkeitsarbeit des arche noVa e.V., beispielsweise bei Ausstellungen, Info-Ständen und Vorträgen an eine interessierte Öffentlichkeit getragen. Das Bildungsprojekt des arche noVa e.V. „eine Welt – deine Welt“ thematisiert in seinen Bildungsmodulen „Wasser – ein globales Problem“ und „Helfen – eine Gratwanderung“ das Thema Wasserversorgung in der Nothilfe und benutzt die Erfahrungen der Auslands- und Inlandsprojekte als Fallbeispiele und Anschauungsmaterial für die Bildungsveranstaltungen.

Die aus der Testreihe und den begleitenden Recherchen abgeleiteten Empfehlungen zur Benutzung der bisherigen Filtersysteme im Irak und die Modifizierungsvorschläge die während der zweiten Versuchsphase ausgetestet wurden und eine Verbesserung der Effizienz und Handhabbarkeit aufgezeigt haben, können derzeit nicht im Irak implementiert werden, da das Hilfsprojekt im Irak im Jahr 2006 beendet wurde. Eine Evaluation vor Ort über die Benutzung der Filter und gesundheitliche Effekte seit der Benutzung brachten wenig aussagekräftige Ergebnisse. Die bisherigen Filter bzw. die Tongefäße werden nach Aussagen von Auslandskoordinatoren seitens der lokalen Bevölkerung in vielfältiger Weise für die Wasserspeicherung oder – aufbereitung genutzt. Die Erfolge der Hygieneaufklärung in der Region Diyala sind nach weiteren Aussagen „ernüchternd“. In diesem Bereich müssen Bildungs- sowie Evaluationskonzepte verbessert werden. Die bisher gewonnenen und die in weiterführende Testreihen gewonnenen Ergebnisse werden in zukünftigen Hilfsprojekten der humanitären Hilfe und Entwicklungszusammenarbeit des arche noVa e.V. von Wichtigkeit sein.

Eine weiterführende mit weiteren Modifizierungen der Sandfilter und anderen kommerziellen Filtertechnologien ist in Planung. Dabei soll das experimentelle Design in Hinsicht auf eine Vergleichbarkeit verschiedener Filterversionen verbessert werden. Geplant ist eine parallele Versuchsreihe mit voraussichtlich sechs Filtersystemen. Die Testparameter sollen auf die Gesamtkeimzahl, coliformen Keime, E. coli, Trübung und einen neuen geeigneteren Summenparameter für die organische Belastung reduziert werden. Diese weiterführende Testreihe würde im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU Dresden und mit Unterstützung der Stadtentwässerung Dresden GmbH und der DGI Umweltanalytik Ebersbach durchgeführt werden.

Langfristig ist geplant verbesserte Bildungskonzepte zur Hygieneaufklärung und dezentralen Wasserversorgung und ein Evaluationskonzept zu entwickeln.

#### 4 Fazit

Die Testreihe zur Untersuchung der Effizienz, Standzeit und Handhabbarkeit eines von arche noVa entwickelten Sand-Kohle-Filters für den Einsatz im Irak hat gezeigt, dass mit lokal verfügbaren, traditionellen und kostengünstigen Materialien, ohne Fremdtechnologie und elektrischen Betrieb ein Filtersystem implementiert werden kann, welches kurzfristig effizient die Trübung und coliforme Keime und Parasiten reduziert. Mittels anschließender sachgemäßer Desinfektion kann ein gesundheitlich unbedenkliches Wasser aufbereitet werden. Mit verbesserten einführenden und begleitenden Hygienebildungsprogrammen und einfachen Modifizierungen des bisherigen Filtersystems kann die Effizienz des Filters erhöht, die Standzeit verlängert und die Handhabbarkeit vereinfacht werden.

#### 5 Literaturverzeichnis

- [1] DVGW Arbeitsblatt W 290
- [2] Hydrochemie der Wasseraufbereitung - [www.tu-cottbus.de/BTU/Fak4/Wasstech/LEERE/HY\\_CHEM/WT2005.pdf](http://www.tu-cottbus.de/BTU/Fak4/Wasstech/LEERE/HY_CHEM/WT2005.pdf) am 17.11.2007
- [3] Wasserfibel - <http://www.katadyn.ch/lib/file/Global/wasserfibel.pdf> am 09.10.2007
- [4] persönliche Mitteilung per von lokalen Mitarbeiter an Desk Officer für Irakprojekt
- [5]. C.W. MITCHELL & P.E. NAYLOR (1960): Investigations into the soils and agriculture of the middle Diyala area of eastern Iraq. *Geographical Journal*, 128,469-47
- [6] W.L.F. BRINKMANN (1968): Bewässerung am Diyala-Irak. *Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft*, 1968(1), 54-66
- [7] N.A. AL-ANSARI, G.T. AL-SINAWI & A.K. JAMIL (1986): Suspended and solute loads on the lower Diyala River. *IAHS-AISH Publ.*, Band 159 (1986), 225-235
- [8] EMAD ALMUKHTAR, SUHAIR A. MUSA, SHABAD SABRI & NADIA MODAFAR ALI (1986): Physical and chemical characteristics of the lower reaches of river Diyala, central Iraq. *J. Environ. Sci. Health*, A21(6), 537-550

#### 6 Anhänge

Anhang 1: Aufbau und Angaben zu den getesteten Filtersystemen

Anhang 2: Versuchsphase 1 – Bakteriologie

Anhang 3: Versuchsphase 1 – Chemie

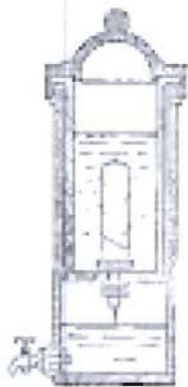
Anhang 4: Versuchsphase 2 – Bakteriologie

Anhang 5: Versuchsphase 2 - Chemie

## Anhang 1

### Filter 1 – Keramikkerzenfilter (Toshiba)

Der Durchflussfilter besteht aus zwei Metallgefäßen, die übereinander gesteckt werden. Die Filtration erfolgt durch zwei Keramikfilterkerzen, die in das obere Gefäß eingefasst sind (Abb.1 und 2). Bedienungshinweise sind auf einem Aufkleber an der Außenseite des Filters zu entnehmen (Abb.3). Dieser Filter der Marke Toshiba wurde in Indien produziert und in Sri Lanka für umgerechnet 20-30 € gekauft. Der Preis solcher Filtersysteme in Deutschland liegt in etwa bei dem Zehnfachen.



Funktionsskizze eines Filterkerzensystems

#### Read Instruction Before Use

- ❖ During the first 15 days of any new candle the rate of flow is slow. After 15 days of use the candle will filter faster as the pores open out well
- ❖ Keep the new candles in water for first two days to wash of all the initial earthy taste.

Bedienungshinweise zum Filterkerzensystem als Aufkleber an der Außenseite des Metallgefäßes

### Filter 2 - Sandfilter mit Kohleschicht – Version Irak

Diese Filterversion wurde als Nachbau des im Irak verwendeten Filters von arche noVa-Mitarbeitern in Deutschland vor Beginn der Testreihe zu Vorführungszwecken hergestellt. Dabei war lediglich einer der zwei zur Verfügung stehenden Tongefäße (Merkanas) mit dem Filterbett befüllt, der zweite wurde, wie es auch der Fall im Irak ist, als Auffanggefäß benutzt. Insgesamt 5 Gaze-Einlagen einer typischen Maschenweite von 1 mm verhindern, dass feine Sandpartikel in tiefer liegende Schichten gespült werden.

Material	Filterschicht in cm
Grobkies (20-60 mm)	5
Gaze, typ. Maschenweite: 1mm	
Feinkies (1-2 mm)	5
Gaze, typ. Maschenweite: 1mm	
Feinsand(0,25–0,5 mm)	12
Holzkohle in Baumwolltuch	5
Gaze, typ. Maschenweite: 1mm	
Sand (0,5 – 1 mm)	18
Gaze, typ. Maschenweite: 1mm	
Feinkies (1- 2 mm)	5
Gaze, typ. Maschenweite: 1mm	

### Filter 3 – Modifizierte Filterversion 2 mit Kohle, Baumwolltuch und Geovlies

Diese Filterversion ist dem Filterbettaufbau der Version I sehr ähnlich. Zwei wichtige Unterschiede gibt es jedoch: an drei Stellen wurde anstatt Gaze mit der typischen Maschenweite von 1 mm Geovlies „GV-W-180“ mit einer typischen Öffnungsweite von 80-110 µm verwendet, da bei der Gaze mit größeren Maschenweiten Ausspülungen befürchtet wurden. Ferner wurde über die oberste Kiesschicht ein Baumwolltuch gelegt, um den Trübstoffanteil im Zulauf und so die Trübstoffbelastung auf das Filterbett zu reduzieren (siehe Abb. 1). Das Tuch wurde wöchentlich durch ein neues, sauberes ersetzt.

Material	Filterschicht in cm
Baumwolltuch	
Kies (2-5 mm)	3
Gaze, typ. Maschenweite: 1mm	
Feinsand (0,25 – 0,5 mm)	14
Holzkohle in Baumwolltuch	5
Geovlies GV-W-180	
Sand (0,5 – 1 mm)	19,5
Geovlies GV-W-180	
Kies (2-5 mm)	5
Geovlies GV-W-180	

### Filter 4 - Modifizierte Filterversion 2 ohne Kohle, Baumwolltuch und Geovlies

Diese Filterbettvariante entstand aus der Idee heraus, den recht komplexen Filteraufbau der Version I zu vereinfachen und einen Filterbettaufbau zu beproben, der fast ausschließlich aus einer Feinsand-Schicht besteht. Außerdem sollte durch das Weglassen der Kohleschicht im Vergleich zu Version II herausgefunden werden, inwiefern die Kohle tatsächlich einen Einfluss auf Effizienz und Standzeit des Filters hat. Über die oberste Kiesschicht ein Baumwolltuch gelegt, um den Trübstoffanteil im Zulauf und so die Trübstoffbelastung auf das Filterbett zu reduzieren. Das Baumwolltuch wurde wöchentlich durch ein neues, sauberes ersetzt. Eine Lage Geovlies „GV-W-180“ mit einer typischen Öffnungsweite von 80-110 µm, soll verhindern, dass feine Sandpartikel in tiefer liegende Schichten gespült werden.

Material	Filterschicht in cm
Baumwolltuch	
Kies (2-5 mm)	3,5
Gaze (1 mm)	
Sand (0,5 – 1 mm)	5
Feinsand (0,25-0,5mm)	37
Geovlies GV-W-180	
Kies (2-5 mm)	5
Gaze (2 x 1mm)	

**Filter arche noVa (Messergebnisse DGI)  
Bakteriologie - Testphase 1**

Datum	Koloniezahl / 1 ml (bei 20 °C)			Koloniezahl / 1 ml (bei 36 °C)			Coliforme / 100 ml			E. coli / 100 ml			Clostr. perfr. / 100 ml		
	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.

**Tonfilter mit Kohleschicht:**

14.02.06							19.400	10.500	46%	7.000	2.000	71%			
20.02.06							15.200	100	99%	3.400	0 (in 1 ml)				
22.02.06	1.300	1.000	23%	450	500	-11%	8.400	18	100%	3.000	4	100%	280	0	100%
24.02.06	1.500	860	43%	70	270	-286%	750	500	33%	300	400	-33%	220	0	100%
28.02.06	8.200	850	90%	5.000	950	81%	6.900	520	92%	75	230	-207%	200	28	86%
03.03.06	1.200	105	91%	180	40	78%	2.300	245	89%	300	29	90%	140	0	100%
							2. Gefäß:	170	93%	2. Gefäß:	17	94%			
07.03.06	5.000	260	95%	3.500	370	89%	25.000	275	99%	4.200	32	99%	1.280	4	100%
10.03.06	4.300	2.500	42%	1.900	1.600	16%	36.000	> 4.850		8.250	180	98%	190	102	46%
14.03.06	10.000	460	95%	5.000	520	90%	13.750	550	96%	750	22	97%	140	4	97%
16.03.06	34.000	480	99%	4.800	130	97%	4.300	100		0	13		140	6	96%
21.03.06	-	-		-	-		2.280	27	99%	520	6	99%	80	0	100%
29.03.06	16.000	145	99%	1.200	360	70%	7.100	265	96%	1.700	55	97%	300	32	89%
31.03.06	5.200	500	90%	400	180	55%	520	260	50%	200	60	70%	220	32	85%
04.04.06	1.900	550	71%	650	500	23%	740	570	23%	100	10	90%	80	30	63%
06.04.06	7.000	2.400	66%	3.500	650	81%	18.500	>4850		2.000	420	79%	180	24	87%
11.04.06	2.500	650	74%	240	3.800	-1483%	100	>4851		0	24		20	20	0%

**Toshiba-Filterkerzensystem:**

28.02.06	20.000	20.000	0%	17.000	8.500	50%	9.600	115	99%	1.900	20	99%	60	0	100%
03.03.06	1.400	15.000	-971%	245	1.000	-308%	1.450	8	99%	0	2		80	0	100%
07.03.06	8.500	1.950	77%	3.500	2.500	29%	5.300	2	100%	1.500	0	100%	140	0	100%
10.03.06	5.000	1.150	77%	950	120	87%	8.000	2	100%	520	0	100%	165	0	100%

11.04.2006

### Filter arche noVa (Messergebnisse DGI) Trübung und SAK - Testphase 1

Datum	Trübung [FNU]			Färbung als SAK 436 [1/m]		
	Zulauf	Ablauf	Wirkungsgrad	Zulauf	Ablauf	Wirkungsgrad

**Tonfilter:**

22.02.06	1,35	0,87	36%	0,43	0,27	37%
24.02.06	1,36	0,68	50%	0,39	0,23	41%
28.02.06	1,23	7,60	-518%	0,33	0,34	-3%
03.03.06	1,04	2,20	-112%	0,42	0,25	40%
07.03.06	1,62	1,29	20%	0,37	0,24	35%
10.03.06	3,63	15,00	-313%	0,90	0,53	41%
14.03.06	1,06	1,13	-7%	0,38	0,25	34%
16.03.06	1,26	0,90	29%	0,48	0,26	46%
21.03.06	0,96	0,55	43%	0,33	0,25	24%
29.03.06	12,50	5,80	54%	1,50	1,30	13%
31.03.06	8,90	8,30	7%	1,60	1,10	31%
04.04.06	7,40	12,80	-73%	1,10	0,99	10%
06.04.06	4,10	6,00	-46%	0,89	0,68	24%
11.04.06	2,90	7,40	-155%	0,83	0,75	10%

**Toshiba-Filter:**

28.02.06	1,24	0,24	81%	0,29	0,23	21%
03.03.06	1,12	0,22	80%	0,28	0,25	11%
07.03.06	1,43	0,22	85%	0,35	0,26	26%
10.03.06	1,15	0,06	95%	0,39	0,27	31%

### Filter arche noVa (Messergebnisse DGI) Bakteriologie - Testphase 2

Datum	Koloniezahl / 1 ml (bei 20 °C)			Coliforme / 100 ml			E. coli / 100 ml			Clostr. perfr. / 100 ml		
	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.	Zulauf	Ablauf	Wirk.Grđ.

#### Filtervariante 1: Sandfilter mit Kohleschicht mit Baumwolltuch

12.05.06	23.000	17.000	26%	40.000	41	100%	3.000	4	100%	80	0	100%
erneuter Neuaufbau												
17.05.06	130*	45.000*		200	37	82%	0**	4		140	0	100%
19.05.06	5.700	4.500	21%	13.000	470	96%	2.800	150	95%	200	0	100%
22.05.06	750	1.000	-33%	1.225	64	95%	150	17	89%	120	0	100%
24.05.06	3.700	840	77%	31.000	1.375	96%	8.200	310	96%	100	6	94%
30.05.06	2.000	190	91%	20.100	1.735	91%	5.425	615	89%	50	0	100%
02.06.06	2.200	400	82%	1.760	285	84%	210	75	64%	120	4	97%
07.06.06	2.000	10	100%	30.100	13	100%	2.825	0	100%	260	4	98%
14.06.06	23.000	20	100%	16.300	118	99%	1.800	37	98%	280	2	99%
21.06.06	4.000	10	100%	200	22	89%	0**	6		240	0	100%
28.06.06	6.750	40	99%	1.320	2	100%	40	0	100%	320	0	100%
04.07.06	4.000	0	100%	7.800	2	100%	650	0	100%	0	0	
17.07.06	1.750	0	100%	2.230	12	99%	39	0	100%	440	0	100%
27.07.06	5.000	20	100%	5.220	2	100%	155	1	99%	2.600	1	100%

#### Filtervariante 2: Sandfilter ohne Kohleschicht mit Baumwolltuch

12.05.06	23.000	1.260	95%	40.000	690	98%	3.000	88	97%	80	2	98%
erneuter Neuaufbau												
17.05.06	130*	3.500*		200	26	87%	0**	4		140	0	100%
19.05.06	5.700	1.700	70%	13.000	775	94%	2.800	200	93%	200	0	100%
22.05.06	750	240	68%	1.225	500	59%	150	170	-13%	120	4	97%
24.05.06	3.700	2.200	41%	31.000	3.470	89%	8.200	1.160	86%	100	10	90%
30.05.06	2.000	390	81%	20.100	4.840	76%	5.425	1.100	80%	50	24	52%
02.06.06	2.200	290	87%	1.760	775	56%	210	100	52%	120	4	97%
07.06.06	2.000	10	100%	30.100	104	100%	2.825	6	100%	260	4	98%
14.06.06	23.000	40	100%	16.300	390	98%	1.800	84	95%	280	9	97%
21.06.06	4.000	10	100%	200	27	87%	0**	2		240	2	99%
28.06.06	6.750	90	99%	1.320	80	94%	40	2	95%	320	0	100%
04.07.06	4.000	0	100%	7.800	10	100%	650	0	100%	0	0	
17.07.06	1.750	0	100%	2.230	2	100%	39	0	100%	440	0	100%
27.07.06	5.000	0	100%	5.220	0	100%	155	0	100%	2.600	1	100%

\* 36 °C    \*\* verdünnungsbedingt



## Filter arche noVa (Messergebnisse DGI) Trübung und SAK - Testphase 2

Datum	Trübung [FNU]			Färbung als SAK 436 [1/m]		
	Zulauf	Ablauf	Wirkungsgrad	Zulauf	Ablauf	Wirkungsgrad

### Filtervariante 1: Sandfilter mit Kohleschicht mit Baumwolltuch

12.05.06	3,20	1,31	59%	0,49	0,24	51%
5.: erneuter Neuaufbau						
17.05.06	1,72	0,10	100%	0,42	0,15	64%
19.05.06	1,16	0,10	91%	0,46	0,16	65%
22.05.06	1,22	0,28	92%	0,29	0,15	48%
24.05.06	2,20	0,34	87%	0,47	0,18	62%
30.05.06	2,34	0,39	85%	0,62	0,32	48%
02.06.06	3,29	0,42	88%	0,41	0,24	41%
07.06.06	3,00	0,29	86%	0,76	0,23	70%
14.06.06	1,63	0,30	82%	0,46	0,21	54%
16.06.2006 (13:00)	203,00	0,25	100%			
16.06.2006 (16:00)	203,00	0,70	100%			
19.06.06	200,00	0,31	100%			
21.06.06	31,00	0,23	99%	0,37	0,20	46%
28.06.06	21,00	0,21	99%	0,54	0,22	59%
04.07.06	197,00	0,20	100%	1,10	0,29	74%
17.07.06	82,00	0,90	100%	0,49	0,27	45%
27.07.06	203,00	0,45	100%	1,46	0,26	82%

### Filtervariante 2: Sandfilter ohne Kohleschicht mit Baumwolltuch

12.05.06	3,20	1,97	38%	0,49	0,26	47%
5.: erneuter Neuaufbau						
17.05.06	1,72	0,12	93%	0,42	0,15	64%
19.05.06	1,16	< 0,1		0,46	0,17	63%
22.05.06	1,22	0,36	70%	0,29	0,14	52%
24.05.06	2,20	0,40	82%	0,47	0,19	60%
30.05.06	2,34	0,46	80%	0,62	0,37	40%
02.06.06	3,29	0,43	87%	0,41	0,22	46%
07.06.06	3,00	0,27	91%	0,76	0,26	66%
14.06.06	1,63	0,27	83%	0,46	0,25	46%
16.06.2006 (13:00)	203,00	0,33	100%			
16.06.2006 (16:00)	203,00	0,41	100%			
19.06.06	200,00	0,33	100%			
21.06.06	31,00	0,25	99%	0,37	0,21	43%
28.06.06	21,00	0,35	98%	0,54	0,25	54%
04.07.06	197,00	0,24	100%	1,10	0,26	76%
17.07.06	82,00	0,58	99%	0,49	0,25	49%
27.07.06	203,00	0,52	100%	1,46	0,25	83%