

Lars Spangemacher, Hauke Buse, Siegmund R. Fröhlich

Mobile Trinkwasseranlagen für den Einsatz in Krisensituationen

Lars Spangemacher, Hauke Buse, Siegmund R. Fröhlich

Mobile Trinkwasseranlagen für den Einsatz in Krisensituationen

Hochschule Emden/Leer
Emden 2017

Verlag: Hochschule Emden/Leer
Druckerei: VON DER SEE, Emden
Buchbinderei: VON DER SEE, Emden

© 2017
Hochschule Emden/Leer
Constantiaplatz 4
26723 Emden
E-Mail: bibliothek.emden@hs-emden-leer.de

ISBN 978-3-944262-11-6

Mobile Trinkwasseranlagen für den Einsatz in Krisensituationen

M.Eng. Lars Spangemacher, Dr. Hauke Buse, Prof. Dr. Sigmund R. Fröhlich / Hochschule Emden

I. Inhaltsverzeichnis

I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Abbildungsverzeichnis.....	2
III. Tabellenverzeichnis.....	3
1 Weltweiter Wasserbedarf im 21. Jahrhundert.....	4
2 Folgen der Wasserknappheit	7
3 Katastrophen und andere Ursachen der Wasserknappheit.....	8
4 Notwendigkeit mobiler Kleinanlagen für schwer erreichbare Regionen.....	9
5 Stand der Technik mobiler Wasseraufbereitung.....	11
6 Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung	14
IV. Quellen.....	21

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Gebiete der Welt, in der Wasserknappheit droht [2]	5
Abbildung 2: Prognose der Weltbevölkerung bis 2050 [3] .	6
Abbildung 3: Behandlungsstufen mobile Trinkwasseraufbereitung des THW [6].....	10
Abbildung 4: Mobile Trinkwasseraufbereitung des THW [6].....	10

III. Tabellenverzeichnis

Abbildung 5: Geteste Hydrozyklone zur Grobstoffabscheidung	16
Abbildung 6 Verfahrensschema RO mit Energierückgewinnung (Bsp.: Salino© der Fa. KSB)	17
Abbildung 7: LED basierter UV Reaktor für einen Volumenstrom von 600 l/h (© Nikkiso). Untenstehend: Strömungssimulation ohne Homogenisierer links; mit Homogenisierer rechts	20

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Filtrationstechniken [11].....	14
-------------------------------------------	----

1 Weltweiter Wasserbedarf im 21. Jahrhundert

Wasser ist ein essentielles „Lebensmittel“ und ein universelles Medium für viele Anwendungen. Derzeit leiden bereits ca. 20% der Weltbevölkerung an einer unzureichenden Trinkwasserversorgung. [1] Eine Zahl, die den Prognosen nach in den kommenden Jahren rapide steigen wird.

Wasser wird weltweit in vielen Unternehmen als notwendiges Betriebshilfsmittel eingesetzt. Bei dieser Nutzung wird es allerdings auf vielfältige Weise verunreinigt. Dieses verunreinigte Wasser gilt es nach der industriellen Verwendung aufzubereiten.

Dieses Abwasser wird In Europa zumeist einer aufwändigen Behandlung unterzogen, um es danach in die Flüsse und Meere einzuleiten. Nur in seltenen Fällen wird es mehrfach in den Betrieben verwendet. Eine derartige Verschwendung von Wasser hat beispielsweise in China und Indien keine Zukunft, weil dort die Wasserknappheit rapide zugenommen hat.

Weltweiter Wasserbedarf im 21. Jahrhundert

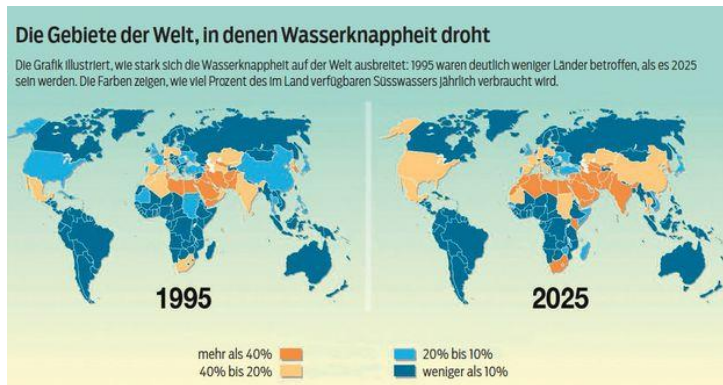


Abbildung 1: Die Gebiete der Welt, in der Wasserknappheit droht [2]

Die zunehmende Wasserknappheit in vielen Teilen der Welt hat unterschiedliche Ursachen. Diese sind: die steigende Bevölkerung, die voranschreitende Wasserverschmutzung sowie der zunehmender Bedarf der Landwirtschaft und Industrie. Vor allem aber führt die ungleichmäßige Verteilung dazu, dass sauberes Trinkwasser nicht für alle Menschen der Erde selbstverständlich ist. Die Strategien zur Lösung des Versorgungsproblems reichen von der nachhaltigen Wassernutzung, der Mehrfachverwendung bis hin zum Ferntransport von Wasser.

Mehreren Wachstumsprognosen zufolge wird der Bedarf in den kommenden Jahren weiter stark zunehmen, da die Weltbevölkerung weiter ansteigt. [4]

Weltweiter Wasserbedarf im 21. Jahrhundert

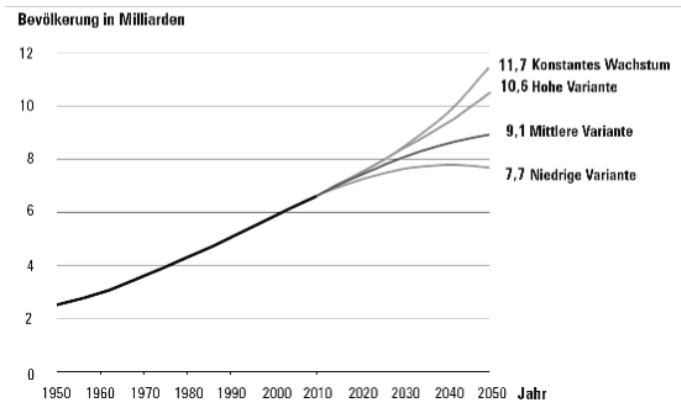


Abbildung 2: Prognose der Weltbevölkerung bis 2050 [3]

Sind heute vor allem Länder wie beispielsweise Kenia, Ägypten, Ruanda, Tunesien, Israel, Singapur, Saudi Arabien, Bahamas, Kuwait und Jordanien [4] von Wasserknappheit bzw. - Mangel betroffen. In den kommenden Jahren werden auch Staaten wie China, Indien, Mexiko, Südafrika, Marokko und Nigeria hinzukommen.

Beim Anblick dieser Szenarien kommen als Konsequenz auf die Regierungen dieser Staaten, und insbesondere auf die internationale Entwicklungshilfe, neue Herausforderungen zu.

2 Folgen der Wasserknappheit

Millionen von Menschen sterben jährlich aufgrund einer mangelnden Trinkwasserversorgung sowie der Nutzung von kontaminiertem Wasser. Laut WHO sind 88% aller weltweiten Erkrankungen auf verschmutztes Wasser zurückzuführen. [14] Insbesondere in ländlichen Gebieten besteht eine mangelnde Trinkwasserversorgung, bzw. sie fehlt gänzlich. Dies zwingt insbesondere Frauen und Kinder dazu, täglich mehrere Stunden mit der Beschaffung von Wasser zu verbringen, so dass kaum Zeit für die Schulbildung bzw. für die Arbeit verfügbar ist. Die direkten Folgen davon sind mangelnder Bildungsstand sowie Armut.

Neben der Versorgung des Menschen mit sauberem Trinkwasser wird diese Ressource in der Landwirtschaft sowie zur Versorgung von Vieh benötigt. Ein Mangel hat Hungerkatastrophen zur Folge. Wassermangel führt bereits heute in einigen Regionen zu politischen Spannungen und lokalen Konflikten, wenngleich ernsthafte Konflikte bisher weitgehend Zukunftsszenarien darstellen.

Aufgrund des steigenden Bedarfes befürchten Experten, dass Wasser aufgrund ungeklärter Nutzungsrechte zunehmend zur Konfliktressource werden wird. Laut UNO gibt es bereits 263 „internationale Wasservorkommen“, das heißt grenzübergreifende Wasservorkommen, wie Flüsse, Seen oder Grundwasservorkommen, deren Nutzungsrechte ungeklärt sind, die aber ca. 60 % der internationalen Wasserreserven ausmachen. Folglich ist mit weiteren Flüchtlingsbewegungen zu rechnen,

abgesehen von den bereits durch Kriege verursachten Migrationen. [15]

3 Katastrophen und andere Ursachen der Wasserknappheit

Besonderes Gewicht erhält diese schon vielfach bestehende Wasserknappheit beim Eintritt von Naturkatastrophen, kriegerischen Konflikten und klimatischen Extremsituationen. In der Vergangenheit haben immer wieder durch die Natur verursachte Katastrophen zu Mangelversorgungen an sauberem Trinkwasser geführt. Erdbeben, Tsunamis und Hurrikane sind als einige dieser Auslöser zu nennen. Insbesondere durch verheerende Erdbeben, wie in Nepal im April 2015, war die Trinkwasserversorgung in vielen Gebieten, zumeist ländlichen Bergregionen, nicht mehr sichergestellt. Nach Schätzungen des UNICEF Kinderhilfswerks hatten zeitweise lediglich 20% der Bevölkerung Zugang zu sauberem Trinkwasser. Neben der durch derartige Katastrophe ausgelösten Unterversorgung an Trinkwasser schwächt die Mangelernährung vor allem Kinder, was zu einer lebensbedrohenden Lage für sie führt. Dies betraf allein ca. 1,7 Millionen Kinder. [5] Wenngleich die Notversorgung der urbanen Gegend in Kathmandu innerhalb weniger Tage realisiert wurde [6], waren viele Bergregionen über mehrere Wochen von der Trinkwasserversorgung abgeschnitten. Die Instandsetzung von mehreren Kilometern Versorgungsleitungen und

Notwendigkeit mobiler Kleinanlagen für schwer erreichbare Regionen

Wassersystemen in den Bergdörfern konnte erst nach mehreren Wochen realisiert werden.

4 Notwendigkeit mobiler Kleinanlagen für schwer erreichbare Regionen

Derzeit sind verschiedene transportable Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung am Markt verfügbar. Nachteil dieser Anlagen ist der häufig niedrige Durchsatz von wenigen Kubikmetern pro Stunde. So verfügt das Technische Hilfswerk beispielsweise über ein modulares System zur Trinkwasseraufbereitung, welches aus bis zu 7 Behandlungsstufen besteht und einen Durchsatz von wenigen Kubikmetern pro Stunde hat. Neben dem hohen Platzbedarf ist der Personal- und Hilfsmittelaufwand aufgrund der Komplexität des Systems ebenfalls sehr groß.

Die Versorgung von ländlichen Bergregionen, wie am Beispiel der Erdbeben in Nepal, ist deshalb mit derartigen Systemen nur unter einem sehr hohen Aufwand realisierbar.

Notwendigkeit mobiler Kleinanlagen für schwer erreichbare Regionen

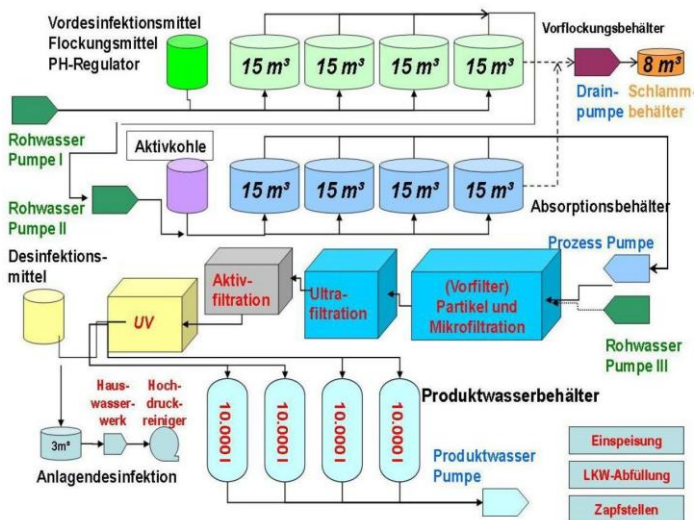


Abbildung 3: Behandlungsstufen mobile Trinkwasseraufbereitung des THW [6]



Abbildung 4: Mobile Trinkwasseraufbereitung des THW [6]

5 Stand der Technik mobiler Wasseraufbereitung

Es gibt zahlreiche Verfahren zur Trink- und Wasseraufbereitung nach dem Stand der Technik. [7; 16] Grundsätzlich gliedern sie sich wie folgt:

- mechanische Trennung von Fremdstoffen z.B. durch Rechen, Siebe, Filter [17; 18]
- physikalische Verfahren – wie Sedimentation, Flotation, Belüftung, Adsorption [18]
- biologische Verfahren – als aerobe- und/oder anaerobe Wasseraufbereitung [19]
- chemische Verfahren – in Form von Oxidation, Desinfektion, Flockung, Ionenaustausch
- Membranverfahren – wie z. B. Umkehrosmose, Elektrodialyse u.a. [20]
- Vakuumverfahren – wie z.B. mechanische Brüdenkompression [21]
- thermische Verfahren – wie z.B. Destillation, Mehrstufenverdampfung u.a. [22]
- Chlorierung [23] und
- UV Desinfektion [24]

Aufgrund unterschiedlicher Belastung des aufzuarbeitenden Wassers sind aber in den meisten Fällen Kombinationen mehrerer dieser Verfahren erforderlich. Dieses bedeutet:

- zum einen hohen technischen Aufwand, so dass hohe Investitions- und Produktionskosten für das Trinkwasser entstehen,

Stand der Technik mobiler Wasseraufbereitung

- zum anderen, dass qualifiziertes und geschultes Personal für den sicheren Betrieb dieser Anlagen notwendig ist.

Leider ist das mit den derzeitigen kommerziell verfügbaren Systemen hergestellte Wasser für die meisten Menschen in den Krisengebieten der weltweiten Wasserversorgung in den wenigsten Fällen sowohl technisch als auch wirtschaftlich realisierbar. Deshalb schlagen die Verfasser dieser Publikation folgende Anforderungen für mobile Trinkwasser-Aufbereitungssysteme vor:

- schnelle Einsatzbereitschaft durch kompakten Modulaufbau,
- standardisierten, je nach Bedarf skalierbaren und leicht transportablen Modulaufbau,
- die Systeme sollen robust und weitgehend auch vor Ort in Stand zu setzen sein,
- hinzu muss die Technik möglichst einen geringen Energiebedarf aufweisen.

Als vorteilhafte Technologie kann dazu die Entsalzung von Meer- und Brackwasser angeführt werden, die vielerorts zur Erschließung neuer Trinkwasserressourcen bereits praktiziert wird. Nach einer Vorbehandlung, wo Feststoffe und ggf. Öle eliminiert werden, ist diese in der Lage, sowohl anorganische als auch organische Inhaltsstoffe effizient zu eliminieren und brauchbare Trinkwasserqualität zu erzeugen.

Seit 50 Jahren tragen unterschiedliche konventionelle Entsalzungsverfahren zur Verbesserung der Wassersituation bei. Allen diesen Verfahren ist

Stand der Technik mobiler Wasseraufbereitung

gemeinsam, dass sie oft einen hohen Energiebedarf und hohe Investitionen erfordern. Dies führt dazu, dass Entsalzungsanlagen bislang überwiegend in relativ wohlhabenden Ländern eingesetzt wurden.

So findet man fast 70% der derzeit installierten großen Meerwasserentsalzungsanlagen im Mittleren Osten und Nord Amerika. Derzeit sind weltweit über 14.000 stationäre Großanlagen [8; 9] im Einsatz, die täglich eine Trink- und Brauchwassermenge von insgesamt ca. 95 Mio. m³/d produzieren. [10]

Durch verbesserte Technik in zahlreichen Großanlagen, konnten sowohl die Betriebskosten als auch die Investitionskosten der erfolgreichsten Variante der Entsalzung, die sog. Umkehrosmose, erheblich gesenkt werden, so dass sich diese Technik hervorragend für die mobile Trinkwasseraufbereitung eignet. Maßgeblich hat dazu beigetragen, dass die Technik der Energierückgewinnung im Hochdruckbereich des Hydrauliksystems Einzug gehalten hat.

6 Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

An der Hochschule Emden/Leer wurde ein System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung konzipiert, welches auf bewährte Verfahrenskonzepte zurückgreift, diese jedoch in mehrfacher Hinsicht erheblich verbessert. Herkömmliche Trinkwasseraufbereitungsanlagen reinigen das aus Oberflächengewässern oder anderen Quellen stammende Wasser in mehreren Verfahrensschritten sowohl mittels physikalischer, als auch chemisch/ biologischer Verfahrensstufen. Vielfältige Filtrationsmethoden (Tabelle 1), gefolgt von chemischen Schritten, wie Chlorierung/ Jodierung, oder physikalischer Behandlung, wie Desinfektion mittels Bestrahlung durch ultraviolettes Licht, haben sich hierzu bewährt.

Tabelle 1: Filtrationstechniken [11]

Porengröße	Verfahren	Filtrationsdruck	Abtrennung von
> 10 µm	Filter		
> 0,1 µm	Mikrofiltration	< 2 bar	Bakterien, Hefen, Partikel
100 – 2 nm	Ultrafiltration	1-10 bar	Makromolekülen, Proteinen
2-1 nm	Nanofiltration	3-20 bar	Viren, 2-wertigen Ionen
< 1nm	Umkehrosiose	10-80 bar	Salzen, kleinen organischen Molekülen

Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

Allen Verfahren ist gemeinsam, dass sie ein nicht unerheblichen Energieverbrauch haben, der besonders in Katastrophengebieten ohne funktionierende Energieinfrastruktur zu Problemen beim Einsatz führt. Das vorgestellte Anlagenkonzept zur mobilen Trinkwasseraufbereitung sieht die Verwendung eines 3-stufigen Prozesses vor:

Stufe 1: Grobstoffabscheidung durch Einsatz einer neuartigen Hydrozyklonbatterie

Stufe 2: Reversosmose (RO) mit Energierückgewinnung, sowie

Stufe 3: Bestrahlung mit energiereicher UV Strahlung durch energieeffiziente DUV LEDs (deep ultraviolet light emitting diodes) zur Entkeimung

Als Bezugsgröße für die Auslegung der Trinkwasseraufbereitungsanlage wurde eine Produktionsrate von 20.000 l/h angenommen, ausreichend zur Versorgung von ca. 1500 Menschen. Das Anlagenkonzept ist aufgrund seiner Modularität in der Lage, auf fast jede Größe skaliert zu werden, so dass auch höhere Produktionsraten realisiert werden können.

Hydrozyklone haben eine lange Tradition im Bereich der Partikelseparation – insbesondere im Bergbau und der Grundstoffindustrie – und zeichnen sich durch einen wartungsfreien Betrieb aus. Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurden unterschiedliche Hydrozyklontypen als erste Stufe der Trinkwasseraufbereitung auf ihre Einsatzfähigkeit getestet (s. Abbildung 5).

Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

Daraus wurde eine besonders platzsparende Variante entwickelt. Diese Variante vereint kompakt auf geringem Raum mehrere einzelne Hydrozyklone mit gemeinsamen hydraulischen Anschlüssen und ist auf eine Separationsgrenze von d_{50} : 5 μm ausgelegt; hinreichend zur Abscheidung von wassergetragenen inerten Partikeln als auch Mikro-Organismen. Aufgrund eines angestrebten Patentverfahrens kann diese Hydrozyklon-Batterie derzeit leider noch nicht offenbart werden.

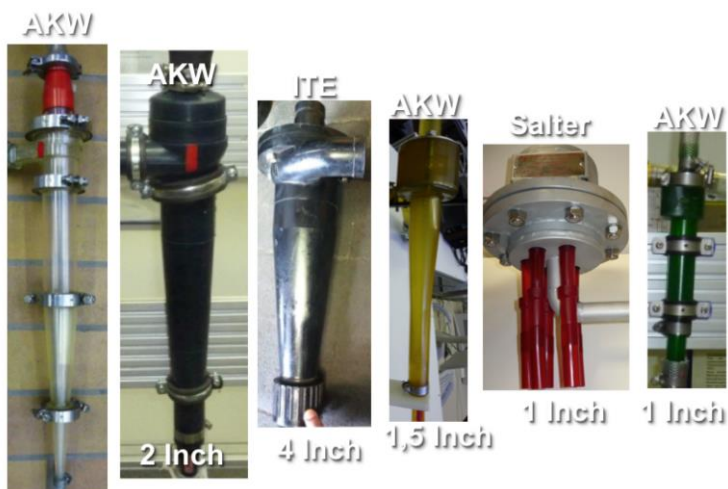


Abbildung 5: Getestete Hydrozyklone zur Grobstoffabscheidung

Als zweite Behandlungsstufe wurde eine Reversosmose-Stufe (RO) gewählt. Herkömmliche RO-Anlagen haben den Nachteil, dass sie besonders viel Energie benötigen, um die systembedingt hohen Drücke auf der primären Membranseite aufzuwenden. Neueste Meerwasser-

Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

Entsalzungs-Großanlagen lösen dieses Dilemma durch den Einsatz mechanischer Energie-Rückgewinnungsanlagen.

Durch den Einsatz von Energierückgewinnungsverfahren kann somit dieser Nachteil weitgehend ausgeglichen werden. Diese Technik kann auch beispielsweise mittels provisorischer Energieerzeuger, wie mobile Photovoltaik, oder Generatoren betrieben werden. So benötigt eine moderne Hochdruckpumpe (s. Abbildung 6) dank der systemseitigen Energierückgewinnung nur noch ca. 40% elektrische Energie im Vergleich zu Pumpen ohne die Möglichkeit der Energierückgewinnung. Erreicht wird dies durch die Rückführung von ungenutztem Feed (Speise-) Wasser auf die Pumpeneinheit.

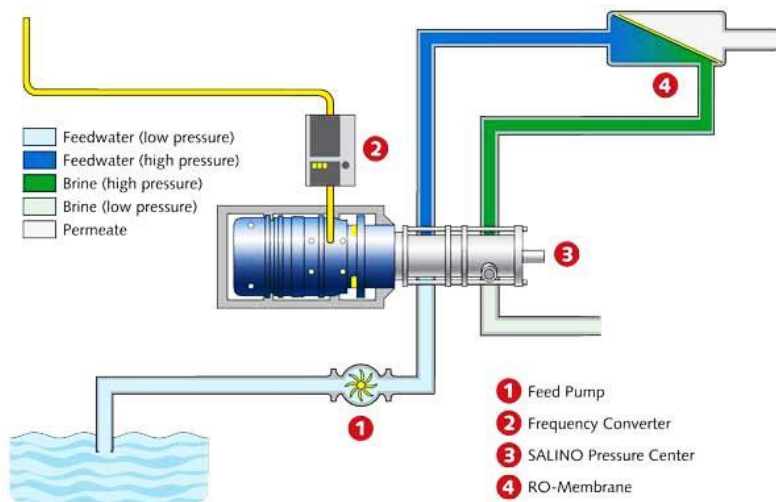


Abbildung 6 Verfahrensschema RO mit Energierückgewinnung (Bsp.: Salino® der Fa. KSB)

Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

Der besondere Vorteil des Einsatzes einer Reversosmose-Einheit besteht darin, dass diese Technik – nach der Elimination von Feststoffen durch die Hydrozyklone – in der Lage ist, sowohl vielfältig anorganisch als auch organisch belastete Süßwässer sowie Meer- als auch Brackwasser auf Trinkwasserqualität gemäß der Trinkwasserverordnung aufbereiten kann.

Als dritte optionale Behandlungsstufe schlägt die Emdor Forschergruppe eine zusätzliche Entkeimung des produzierten Trinkwassers vor. Das durch eine RO aufbereitete Wasser ist aufgrund der Porengröße der Membranen grundsätzlich keimfrei. Damit bei einer Zwischenspeicherung des produzierten Trinkwassers keine erneute Verkeimung eintritt, wird vorgeschlagen, dass bei der Entnahme aus dem Trinkwasser-Reservoir die ggf. eingeschleppten Krankheitserreger, wie Viren oder Bakterien, durch diese Reinigungsstufe die Keimbelastung auf ein für Menschen ungefährliches Maß reduziert.

Zwei grundsätzliche Varianten der Entkeimung kommen hier in Frage:

- Einsatz von chemischen Desinfektionsmitteln oder
- Bestrahlung durch UV-Licht.

Für das vorliegende Anlagenkonzept wurde die chemiefreie physikalische Variante gewählt. Die Bestrahlung von keimbelastetem Wasser mit UV Lichtquellen nutzt den Effekt der DNA Schädigung durch eine kurzwellige und damit energiereiche Strahlung: Die Keime werden dabei in ihrer Vermehrung gehindert. [12] In

Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

der Praxis haben sich Quecksilberdampf Lampen (Mittel- und Hochdruckstrahler) für den Einsatz in UV Wasserbehandlungsanlagen (sog. Reaktoren) etabliert.

Leuchtdioden (LED), die sich durch ihre besonders effiziente Energienutzung auszeichnen und dadurch in den letzten Jahren in vielen Bereichen der Beleuchtungstechnik herkömmliche Lichtquellen ersetzt haben, konnten bisher nicht verwendet werden:

Die benötigten Wellenlängen im UV-C Spektrum (sog. „DUV: Deep UV“) waren durch LED- Technik lange nicht realisierbar. Heute sind u.a. in Folge der Entdeckung in den frühen 1990er Jahren durch Akasaki/Nakamura et. al. erstmals LEDs bis „hinunter“ zu 254 nm verfügbar. [13]

Der Einsatz von LEDs in UV Reaktoren bietet aufgrund der, von herkömmlichen DUV Quellen bekannten (radialen) Abstrahlcharakteristik abweichenden, Lichtausbreitung neue Möglichkeiten des Reaktordesigns. Diese können unter optischen und hydraulischen Gesichtspunkten, sowie am jeweiligen Anwendungsfall orientiert, optimiert werden. Nicht zuletzt kann durch Verwendung von LED- Lichtquellen ein erheblicher Teil elektrischer Energie, bei einer sofortigen Verfügbarkeit („instant-on“) ohne Aufheizzeiten, eingespart werden.

Neues System zur mobilen Trinkwasseraufbereitung

Der letztgenannte Punkt macht diese Technik besonders für den Bereich mobiler Wasseraufbereitungssysteme interessant und somit zum Designkandidaten des hier vorgestellten Anlagenkonzepts.

Einen sehr interessanten Ansatz verfolgt die Firma Nikkiso mit einer in Abbildung 3 gezeigten, unkonventionellen Reaktorgeometrie: Hier werden die Reflexionseigenschaften (im UV-C Bereich) des verwendeten Werkstoffs PTFE genutzt und zudem durch Einsatz eines „Strömungshomogenisierers“ eine günstigere Durchströmung des Reaktors erreicht.

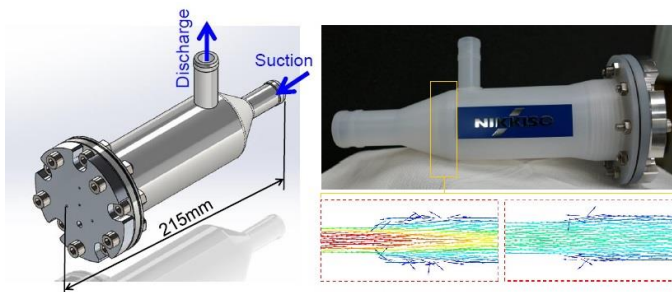


Abbildung 7: LED basierter UV Reaktor für einen Volumenstrom von 600 l/h (© Nikkiso). Untenstehend: Strömungssimulation ohne Homogenisierer links; mit Homogenisierer rechts

IV. Quellen

- [1.] Rüschemeyer G. "Der blaue Planet hat Durst" – Artikel aus "Das Parlament" des Deutschen Bundestags und Bundeszentrale für politische Bildung (2006)
- [2.] Migros Magazin, Maude Barlow – Das Wasser wird versiegen, Land für Land, MM-Ausgabe 38 16. September 2013
<https://www.migrosmagazin.ch/menschen/interview/artikel/maude-barlow-das-wasser-wird-versiegen>
- [3.] DSW: Weltbevölkerungsprojektionen für 2050
- [4.] DSW: Weltbevölkerung und Wasser- Wasser wird weltweit knapper
- [5.] Unicef; Köln, 29. April 2015;
<http://www.unicef.de/presse/2015/nepal-nothilfe-trinkwasser/76268>
- [6.] https://www.thw.de/SharedDocs/Meldungen/DE/Einsatze/international/2015/05/meldung_003_nepal_trinkwasserversorgung_beendet.html?nn=922620
- [7.] Grombach, P, Haberer, K, Trüeb, E.U. Handbuch der Wasserversorgungstechnik, 3. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 2000
- [8.] Kennedy, V. F.: Desalination Methods, Technology and Economics
- [9.] Juan Z. und Tol R.S.J, Evaluating the costs of desalination and water transport
<http://fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/desalination4NU4revised.pdf>
- [10.] Lattermann S, Kennedy M.D, Schippers J.C. & Amy, G. (2010) Chapter 2 Global Desalination Situation. Sustainability Science and Engineering 2 "Global Desalination Situation 2010"
- [11.] Drews, A.; TU Berlin - Principles of Membrane Processes
- [12.] Roeske, W.; Trinkwasserdesinfektion: Grundlagen, Verfahren, Anlagen, Geräte; Ritter; 2007
- [13.] Nobelkomitee; Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2014

- [14.] http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases
- [15.] Transboundary Waters: Sharing Benefits, Sharing Responsibilities
http://www.unwater.org/downloads/UNW_TRANSBOU_NDARY.pdf
- [16.] H. Bartel, Stand der Technischen Regeln bei Mobiler Trinkwasseraufbereitung, UBA
- [17.] K. Hancke, Wasseraufbereitung, Springer (2003), ISBN: 978-3540068488
- [18.] Philip A. Schweitzer, Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, McGraw-Hill (1996) S. 4-161ff, ISBN: 0-07-057061
- [19.] A. C. van Haandel, J.G.M. van der Lubbe, Handbook of Biological Wastewater Treatment, IWA Publishing (2012) S. 575ff, ISBN: 9781780400006
- [20.] A. Basile, Handbook of Membrane Reactors, Woodhead Publishing, (2013) p. 478ff, ISBN: 9780857094148
- [21.] F. Lokiec, A. Ophir, The Mechanical Vapor Compression: 38 Years of Experience, IDA World Congress Maspalomas, Gran Canaria – Spain Oct. 21.-26. 2007 REF: IDAWC/MP=-/084
- [22.] Abraha Woldai, Multi-Stage Flash Desalination, CRC Press - Engineering Systems and Sustainability (2016), S. 27ff, ISBN: 978-1-4987-21170
- [23.] D. J. Gates, Don Gates, Chlorine Dioxide Handbook - Water Disinfection Series, American Water Works Association – AWWA (1998), ISBN: 978-0898679427
- [24.] J. R. Bolton, C. A. Cotton, The Ultraviolet Disinfection Handbook, American Water Works Association (2008), AWWA catalogue no.: 20651, ISBN: 9781583215845