

Aachener Schriftenreihe zur Präventivmedizin Band 3

Herausgegeben von Thomas Kraus und Thomas Küpper



Lisa F. Timmermann

Trinkwasserdesinfektion auf Reisen

Verfahren, Umsetzung durch Reisende
im Gelände und Analyse der mobilen
UVC-Desinfektion



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Trinkwasserdesinfektion auf Reisen

**Verfahren, Umsetzung durch Reisende im Gelände
und Analyse der mobilen UVC-Desinfektion**

Von der Medizinischen Fakultät
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Medizin
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Lisa Felicitas Timmermann
aus Köln

Berichter: Professor Dr. med. Thomas Küpper
Professor Dr. med. dent. Christian Apel

Tag der mündlichen Prüfung: 24.06.2019

Aachener Schriftenreihe zur Präventivmedizin

Band 3

Lisa Timmermann

Trinkwasserdesinfektion auf Reisen

Verfahren, Umsetzung durch Reisende im Gelände
und Analyse der mobilen UVC-Desinfektion

Shaker Verlag
Düren 2019

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2019)

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6902-0

ISSN 2194-5721

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Hinweis zur Vorveröffentlichung

Ein Auszug aus dieser Arbeit wurde bereits als Publikation in einer Fachzeitschrift für Reisemedizin veröffentlicht:

Timmermann LF, Ritter K, Hillebrandt D & Küpper T (2015) *Drinking Water Treatment with Ultraviolet Light for Travelers - Evaluation of a Mobile Lightweight System*. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 13(6): 466-474

Inhalt

Hinweis zur Vorveröffentlichung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Hintergrund der vorliegenden Arbeit.....	1
1.2 Fragestellung, Zielsetzung und Gliederung der Arbeit.....	4
2 Grundlagen.....	6
2.1 Trinkwasserkeime und trinkwasserassoziierte Erkrankungen.....	6
2.1.1 Ätiologie und Symptomatik der Reisediarrhoe.....	6
2.1.1.1 Bakterielle Erreger.....	8
2.1.1.2 Virale Erreger.....	9
2.1.1.3 Protozoen.....	10
2.1.1.4 Pathomechanismen.....	10
2.1.2 Klinisches Management der Reisediarrhoe.....	11
2.1.2.1 Diagnostik.....	11
2.1.2.2 Symptomatische Therapie.....	11
2.1.2.3 Empirische antibiotische Therapie.....	12
2.1.2.4 Immunität und Prophylaxe.....	13
2.1.3 Komplikationen und Konsequenzen der Reisediarrhoe.....	14
2.1.3.1 Akute Komplikationen und Konsequenzen.....	14
2.1.3.2 Chronifizierung und Langzeitkomplikationen.....	15
2.1.3.3 Höhenassoziierte Risiken der Reisediarrhoe.....	15
2.1.4 Weitere wasserassoziierte Infektionserkrankungen.....	16
2.1.5 Umweltresistenz der Erreger und infektiöse Dosis.....	18
2.2 Methoden der Trinkwasseraufbereitung auf Reisen.....	19
2.2.1 Chemische Verfahren.....	19
2.2.1.1 Halogene – Chlor und Jod.....	19
2.2.1.2 Elektrolytische Desinfektion (Anodische Oxidation).....	29
2.2.1.3 Ozon.....	29
2.2.1.4 Silber.....	30
2.2.1.5 Sonstige.....	30
2.2.2 Physikalische Verfahren.....	31
2.2.2.1 Thermische Desinfektion.....	31
2.2.2.2 Filtration.....	32
2.2.2.3 UV-Licht – SteriPEN®, SODIS, Photokatalyse.....	38
2.2.3 Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren.....	45
3 Feldforschung in Nepal.....	47
3.1 Einleitung.....	47
3.1.1 Solu-Khumbu-Region und Everest-Trek-Tourismus.....	47
3.1.2 Wasserversorgung, Abwassermanagement und Wasserqualität.....	50
3.1.3 Wasserbezugsquellen der Trekker.....	53

3.2	Material und Methoden	54
3.2.1	Fragebogen und Probengewinnung	54
3.2.2	Mikrobiologische Analyse	55
3.2.3	Chlor- und pH-Testung	58
3.3	Ergebnisse	60
3.3.1	Studienkollektiv	60
3.3.2	Methoden der Trinkwasseraufbereitung	61
3.3.3	Auswahl der Methode	66
3.3.4	Selbsteinschätzung der Expertise	67
3.3.5	Art und Handhabung der Wasserbehältnisse	67
3.3.6	Probleme mit der Trinkwasseraufbereitung	68
3.3.7	Inzidenz der Reisediarrhoe	68
3.3.8	Ergebnisse der Inkubation	69
3.3.9	pH-Wert und Chlor-Gehalt	73
3.4	Diskussion	76
4	Analyse des <i>SteriPEN</i>[®]	88
4.1	Einleitung	88
4.2	Material und Methoden	92
4.2.1	Bedienung des <i>SteriPEN</i> [®]	93
4.2.2	Testorganismen	93
4.2.3	Testflaschen	94
4.2.4	Testmedium	95
4.2.5	Verdünnungsreihe und Befüllung der Testflaschen	95
4.2.6	Testprozedur	97
4.2.7	Erweiterte Untersuchung der PET-Einwegflasche	100
4.2.8	Spektralanalyse und Anwendersicherheit	102
4.3	Ergebnisse	104
4.3.1	Allgemeine Wirksamkeit des <i>SteriPEN</i> [®]	104
4.3.2	Einfluss von Flaschenform und Wasserbewegung	105
4.3.3	Besonderheiten der PET-Einwegflasche	109
4.3.4	Ergebnisse der Spektralanalyse	112
4.4	Diskussion	114
5	Fazit und Ausblick	121
6	Literatur	126
7	Anhang	141
7.1	Fragebogen Feldstudie Nepal	141
7.2	Liste der eigenen Publikationen	142
7.3	Danksagung	144
7.4	Erklärung zur Datenaufbewahrung	145
7.5	Erklärung über den Eigenanteil	146
7.6	Lebenslauf	147

Abkürzungsverzeichnis

ADEMED	Aachen Dental and Medical (Expedition)
AMS	Acute Mountain Sickness
ATCC	American Type Culture Collection
C ₇ H ₅ Cl ₂ NO ₄ S	4-(Dichlorsulfamoyl)benzoesäure = Halazon
Ca(ClO) ₂	Calciumhypochlorit
Cl ₂	elementares Chlorgas
ClO ⁻	Hypochlorit-Anion
ClO ₂	Chlordioxid
ct-Wert	Effektivitätsmaß für Desinfektionsmittel ("concentration x time")
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DPD	N,N-Diethyl-1,4-Phenylendiamin
D-Wert	dezimale Reduktionszeit
E. coli	Escherichia coli
EAEC	Enteroggregativer Escherichia coli
EHEC	Enterohämorrhagischer Escherichia coli
EIEC	Enteroinvasiver Escherichia coli
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
ETEC	Enterotoxischer Escherichia coli
GALT	Gut Associated Lymphatic Tissue
H ⁺	Wasserstoff-Ion
H ₂ O	Wassermolekül
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
HAV	Hepatitis-A-Virus
HCl	Chlorwasserstoffsäure = Salzsäure
HKKH	Hindu-Kush-Karakoram-Himalaya (Partnership)
HOCl	hypochlorige Säure
HUS	hämolytisch-urämisches Syndrom
KBE	koloniebildende Einheiten
KMnO ₄	Kaliumpermanganat
LED	lichtemittierende Diode (Leuchtdiode)
Mt.	Mount
NaClO	Natriumhypochlorit
NaDCC	NaCl ₂ (NCO) ₃ = Natriumdichlorisocyanurat
NTU	Nephelometric Turbidity Units
O ₃	Ozon

OD	optische Dichte
ORS	Oral Rehydration Solution
PBS	Phosphate Buffered Saline
PCR	Polymerase Chain Reaction
PET	Polyethylenterephthalat
ppm	parts per million \triangleq Milligramm pro Liter (mg/l)
ROS	Reactive Oxygen Species (reaktive Sauerstoffspezies)
SGLT1	Natrium/Glukose-Cotransporter 1
SNP	Sagarmatha Nationalpark
SODIS	Solar Disinfection
SP	<i>SteriPEN</i> [®]
SPCC	Sagarmatha Pollution Control Committee
spp.	Spezies (Plural)
TiO ₂	Titandioxid
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TSA-SB	Trypticase-Soja-Agar mit Schafblut
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolett
UVA	Ultraviolett-A-Strahlung (315-400 nm)
UVB	Ultraviolett-B-Strahlung (280-315 nm)
UVC	Ultraviolett-C-Strahlung (100-280 nm)
WHO	World Health Organization
ZNS	zentrales Nervensystem

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Produktbeispiel Chlortabletten.....	22
Abbildung 2 - Produktbeispiel Chlordioxid 2-Komponenten-Lösung.....	26
Abbildung 3 - Produktbeispiel Anodische Oxidation.....	29
Abbildung 4 - Produktbeispiel Handpumpenfilter	34
Abbildung 5 - Produktbeispiele Hohlfaserfilter	35
Abbildung 6 - Improvisierter Holzkohle-Sandfilter.....	36
Abbildung 7 - UV-Inaktivierung von Mikroorganismen.....	38
Abbildung 8 - Solare Desinfektion (SODIS-Verfahren)	41
Abbildung 9 - Anwendung des SODIS-Verfahrens in Indonesien.....	42
Abbildung 10 - Produktbeispiel Photokatalyse	43
Abbildung 11 - Sagarmatha Nationalpark und Routen des Everest-Trek-Gebiets.....	48
Abbildung 12 - Wasserversorgung in der Solu-Khumbu-Region	50
Abbildung 13 - Typische öffentliche Wasserstellen in der Solu-Khumbu-Region.....	51
Abbildung 14 - Fäkale Verunreinigung von Fließgewässern	51
Abbildung 15 - DelAgua Dual Incubator	56
Abbildung 16 - Zubehör des DelAgua Dual Incubator	57
Abbildung 17 - Beispiel Inkubationsergebnis	58
Abbildung 18 - Kolorimetrische Chlor- und pH-Testung (Palintest®).....	59
Abbildung 19 - Nationalität der Studienteilnehmer.....	60
Abbildung 20 - Häufigkeit der verwendeten Methoden je nach Nationalität	62
Abbildung 21 - Selbsteinschätzung der Expertise bezüglich Trinkwasserdesinfektion.....	67
Abbildung 22 - Inzidenz der Reisediarrhoe	69
Abbildung 23 - Ergebnis der Inkubation (unabhängig von Keimspezies).....	70
Abbildung 24 - Differenzierung der positiven Proben nach Art des Keims.....	70
Abbildung 25 - Inkubationsergebnis in Abhängigkeit von der verwendeten Methode.....	71
Abbildung 26 - Differenzierung der positiven Proben nach Keim und Methode.....	72
Abbildung 27 - Verschmutzter Deckel einer versiegelten Mineralwasserflasche.....	78
Abbildung 28 - Der SteriPEN® Classic	88
Abbildung 29 - Position des SteriPEN® in verschiedenen Flaschengeometrien	91
Abbildung 30 - Verwendung des Gummipfropfens beim Modell SteriPEN® Classic.....	92
Abbildung 31 - Flüssigkeitsring kontaminierten Wassers um den SteriPEN®	96
Abbildung 32 - Anwendung des SteriPEN® in den verschiedenen Flaschentypen	97
Abbildung 33 - Lokalisationen der Probenentnahme	97
Abbildung 34 - Agar-Platten mit verschiedenen Ausgangskonzentrationen von E. coli.....	98
Abbildung 35 - Varianten der Versuchsdurchführung	99

Abbildung 36 - Schattenbildung durch Flaschenrelief	100
Abbildung 37 - Lokalisationen der Probenentnahme durch die Flaschenwand	101
Abbildung 38 - PET-Probe im Elektronenmikroskop	102
Abbildung 39 - Versuchsaufbau Spektralanalyse	103
Abbildung 40 - Versuchsaufbau zur Analyse des Strahlenaustritts aus dem Wasser	103
Abbildung 41 - Keimverteilung innerhalb der PET-Einwegflasche nach Bestrahlung.....	110
Abbildung 42 - Rasterelektronenmikroskopie der kontaminierten PET-Flasche	111
Abbildung 43 - Spektralanalyse des SteriPEN®.....	112
Abbildung 44 - Spektralanalyse mit und ohne Filter (PET).....	113
Abbildung 45 - Austritt der Strahlung aus Wasseroberfläche in Abhängigkeit vom Winkel	113
Abbildung 46 - Schematischer Vergleich zweier SteriPEN®-Modelle.....	116

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Erregerspektrum der Reisediarrhoe und Häufigkeit der Keimisolierung	7
Tabelle 2 - Zusammensetzung der Oralen Rehydrierungslösung (ORS).....	12
Tabelle 3 - Größenordnung der Poren verschiedener Filtrationsverfahren	33
Tabelle 4 - Empfindlichkeit verschiedener Mikroorganismen gegenüber UVC-Strahlen	40
Tabelle 5 - Vor- und Nachteile der Methoden zur Trinkwasserdesinfektion auf Reisen	46
Tabelle 6 - Häufigkeiten der zur Trinkwasseraufbereitung verwendeten Methoden	61
Tabelle 7 - Spezifizierung des Chlorprodukts	64
Tabelle 8 - Minimale eingehaltene Einwirkzeit der chemischen Desinfektionsprodukte.....	65
Tabelle 9 - Grundlage für die Auswahl der verwendeten/mitgeführten Methode	66
Tabelle 10 - Inkubationsergebnis in Abhängigkeit von der Latenzzeit.....	73
Tabelle 11 - Restchlorgehalt	74
Tabelle 12 - Inkubationsergebnis in Abhängigkeit vom Restchlorgehalt	75
Tabelle 13 - Vor- und Nachteile des SteriPEN®	89
Tabelle 14 - Spezifikationen der Testflaschen	94
Tabelle 15 - Keimkonzentrationen vor und nach Anwendung des SteriPEN®	104
Tabelle 16 - Wirksamkeit in Abhängigkeit von Flaschentyp und Wasserbewegung (E.coli)	106
Tabelle 17 - Wirksamkeit in Abhängigkeit von Flaschentyp und Wasserbewegung (S.aureus)107	
Tabelle 18 - Wirksamkeit in Abhängigkeit von Flaschentyp und Wasserbewegung (Spore)	108
Tabelle 19 - Wirksamkeit bei Wasserbewegung durch Rühren in Enghalsflaschen	109