

Praxisnahe Untersuchungen in halbtechnischen Versuchsanlagen zur Kontamination von Trinkwasser in Haus-Installationen

Vom Promotionsausschuss der Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation

von

Jens Klaus Benölken

aus Steinfurt

2010

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. K. Wichmann

Technische Universität Hamburg-Harburg

2. Gutachter: Prof. Dr. R. Müller

Technische Universität Hamburg-Harburg

Tag der mündlichen Prüfung: 24.11.2010

Berichte aus der Biologie

Jens Klaus Benölken

**Praxisnahe Untersuchungen in halbtechnischen
Versuchsanlagen zur Kontamination von
Trinkwasser in Haus-Installationen**

Shaker Verlag
Aachen 2011

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.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2011

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9788-6

ISSN 0945-0688

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

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

1	Einleitung	1
1.1	Haus-Installation und Prüfgrundlagen für Werkstoffe	1
1.2	Biofilme	4
1.2.1	Bedeutung für die Praxis	5
1.3	Relevante Krankheitserreger in Haus-Installationen	6
1.3.1	<i>Legionella pneumophila</i>	6
1.3.2	<i>Coliforme Bakterien</i>	7
1.3.3	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7
1.4	Maßnahmen bei kontaminierten Trinkwassersystemen	7
1.5	Ziele dieser Arbeit	9
1.6	Vorgehen zur Erreichung der Zielsetzung	10
1.6.1	Einnistung fakultativ pathogener Bakterien in die Haus-Installation	10
1.6.2	Austrag fakultativ pathogener Bakterien aus dem Biofilm in das stagnierende Wasser	10
1.6.3	Reinigung und chemische Anlagen-Desinfektion	11
2	Material und Methoden	12
2.1	Eingesetzte Bakterienstämme	12
2.2	Nährmedien	12
2.3	Kultivierung	12
2.3.1	Anzucht	13
2.3.2	Vorbereitung zur Kontamination	13
2.4	Wasserprobenahmen	14
2.5	Biofilmprobenahme	14
2.6	Isolierung von Biofilmen	15
2.6.1	Vorbereitung der SAZ-Perlen	15
2.6.2	Entfernung des Biofilms	15
2.7	Chemische Nachweisverfahren	16
2.7.1	TOC	16
2.7.2	DOC	16
2.7.3	Chlordioxid und Chlor	16
2.8	Mikrobiologische Nachweisverfahren	16
2.8.1	GZZ	16
2.8.2	HPC auf R2A	17
2.8.3	Koloniezahl 22°C/36°C TrinkwV 2001	17
2.8.4	Koloniezahl 20°C/36°C TrinkwV 1990	18

2.8.5	Nachweis und Zählung von <i>Legionella pneumophila</i>	18
2.8.6	Nachweis und Zählung von <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	18
2.8.7	Nachweis und Zählung von <i>Citrobacter freundii</i> und <i>Enterobacter nimipressuralis</i>	19
2.8.8	Nachweis von Amöben	19
2.8.9	FISH	20
2.8.10	API-Test System zur Identifizierung von <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Citrobacter freundii</i> und <i>Enterobacter nimipressuralis</i>	21
2.8.11	Aufkeimungspotential (AKP)	21
2.8.12	Biologisch abbaubarer organischer Kohlenstoff (BDOC)	22
2.8.13	Assimilierbarer organischer Kohlenstoff (AOC)	22
2.8.14	Auswertung und Berechnung GZZ, FISH bzw. KBE pro cm ² Innen- oberfläche Werkstoff	22
2.9	Wasserbeschaffenheiten	23
2.10	Halbtechnische Versuchsanlage zur Simulation einer Haus-Installation	24
2.10.1	Verwendete Werkstoffe	24
2.10.2	Fließ- und Stagnationsprogramm nach DIN 50931-1	25
2.10.3	Kontamination der Versuchsanlage	26
2.11	Desinfektion der Versuchsanlagen	27
2.11.1	Desinfektion der Abwässer	27
2.11.2	Versuchsanlagen-Installation	27
2.12	Chemikalien	27
3	Ergebnisse	30
3.1	Wasserwerk 1	30
3.1.1	Biofilm	30
3.1.2	Einnistung der fakultativ pathogenen Bakterien	32
3.1.3	Austrag in das stagnierende Wasser	34
3.1.4	Reinigung und chemische Anlagen-Desinfektion	38
3.2	Wasserwerk 2	42
3.2.1	Biofilm	42
3.2.2	Einnistung der fakultativ pathogenen Bakterien	43
3.2.3	Austrag in das stagnierende Wasser	46
3.2.4	Lange Stagnationszeiten in Warm-/Kaltwassersystem und Temperaturerhöhung in der Kaltwasseranlage	51
3.2.5	Reinigung und chemische Anlagen-Desinfektion	53

3.3	Wasserwerk 3	56
3.3.1	Biofilm	56
3.3.2	Einnistung der fakultativ pathogenen Bakterien	57
3.3.3	Austrag in das stagnierende Wasser	59
3.3.4	Amöben	64
3.3.5	Reinigung und chemische Anlagen-Desinfektion	64
3.4	Vergleich der Wasserwerke	67
3.4.1	Biofilm	67
3.4.2	Einnistung der fakultativ pathogenen Bakterien	71
3.4.3	Austrag in das stagnierende Wasser	75
3.4.4	Reinigung und chemische Anlagen-Desinfektion	87
4	Diskussion	89
4.1	Entwicklung von Biofilmen	89
4.1.1	Werkstoffeinfluss	91
4.1.2	Wasserbeschaffenheit	93
4.1.3	Einfluss der Temperatur	95
4.1.4	Sonstige Einflussfaktoren	96
4.1.5	Zusammenfassung Einflussfaktoren	96
4.2	Einnistung und Austrag von Krankheitserregern	98
4.2.1	Amöben	106
4.2.2	Viable but nonculturable (VBNC)	106
4.2.3	Untersuchungsverfahren	107
4.3	Reinigung und chemische Anlagen-Desinfektion	111
4.3.1	Resistenz/Toleranz/Schutz gegenüber Desinfektionsmitteln	112
4.4	Erreichung der gesetzten Ziele	115
5	Zusammenfassung	116
6	Literatur	121
7	Anhang	132
7.1	Verwendete Nährmedien	132
7.2	Weiterentwickelte Zählkammer für Amöben	135
7.3	Wasserbeschaffenheiten	136
7.4	Versuchsanlagen	137
7.4.1	Halbtechnische Versuchsanlage zur Simulation einer Haus-Installation	137
7.4.2	Desinfektion der halbtechnischen Versuchsanlage	140

7.4.3	Auswertung Einflussfaktoren	142
7.5	Wasserwerk 1	148
7.5.1	Biofilm	148
7.5.2	Wasser	150
7.6	Wasserwerk 2	152
7.6.1	Biofilm	152
7.6.2	Wasser	155
7.7	Wasserwerk 3	159
7.7.1	Biofilm	159
7.7.2	Wasser	162
7.8	Vergleich der Wasserwerke	166
7.8.1	Biofilm	166
7.8.2	Wasser	175
7.9	Rohdaten	185
8	Lebenslauf	255