

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2	ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE	4
3	GRUNDLAGEN UND KENNTNISSTAND	7
3.1	Zugang zu Trinkwasser	7
3.1.1	Definition und Situation weltweit	7
3.1.2	Globale Unterschiede und Stadt-Land Gefälle	9
3.1.3	Einfluss von Naturkatastrophen	10
3.2	Krankheitserreger im (Trink-)Wasser.....	17
3.2.1	Definition und Systematik.....	17
3.2.2	Bakterien.....	18
3.2.3	Viren	21
3.2.4	Parasiten.....	22
3.2.5	Indikatororganismen.....	24
3.2.6	Infektionsdosis	28
3.2.7	Zusammenhang zwischen Wasserqualität/-quantität und dem Auftreten von Krankheiten – Einfluss von Interventionen	30
3.3	Anforderungen an Trinkwasser und Aufbereitungstechnologien unter besonderer Berücksichtigung von Notsituationen	34
3.3.1	Allgemeine Anforderungen an Qualität und Aufbereitungsleistung - DALY-Konzept	34
3.3.2	Allgemeine Anforderungen an Quantität und Verfügbarkeit.....	35
3.3.3	Besondere Anforderungen und Maßnahmen im Falle von Notsituationen	37
3.3.4	POU-Wasseraufbereitung	38
3.4	Membranbasierte POU-Wasseraufbereitung.....	42
3.4.1	Membranfiltration – Grundlagen und Einflussfaktoren auf die hydraulische und stoffliche Leistungsfähigkeit.....	42
3.4.1.1	Verfahren, Module, Materialien	42
3.4.1.2	Stofftransport durch Porenmembranen	46
3.4.1.3	Durchflussmindernde Einflussfaktoren und Gegenmaßnahmen.....	48
3.4.1.3.1	Allgemeines	48
3.4.1.3.2	Deckschichtbildung, Porenverblockung und Porenverengung	48
3.4.1.3.3	Konzentrationspolarisation und organisches Fouling	48
3.4.1.3.4	Biofouling.....	50
3.4.1.3.5	Scaling.....	50

3.4.1.3.6	Betriebsbedingungen	51
3.4.1.3.7	Ultra-Low-Pressure-Ultrafiltration - Neueste Erkenntnisse.....	53
3.4.1.4	Einflussfaktoren auf die stoffliche Leistungsfähigkeit von Porenmembranen	53
3.4.1.4.1	Allgemeines	53
3.4.1.4.2	Integritätstests und Ermittlung von Porengrößen	54
3.4.1.4.3	Transmembrandruck	56
3.4.1.4.4	Porengrößenverteilung, abnormale Poren und Defekte	57
3.4.1.4.5	Zellform, -verformung und Knospung	58
3.4.1.4.6	Adsorption, Agglomeration und Fouling.....	59
3.4.2	Marktverfügbare Systeme und Systeme im Entwicklungsstadium	60
3.4.2.1	Allgemeines	60
3.4.2.2	Verfügbare Systeme und Betriebserfahrungen	61
3.4.2.2.1	Systeme mit Umkehrosmosemembranen	61
3.4.2.2.2	Systeme mit Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen	63
3.4.2.3	Besondere Anforderungen im Falle von Katastrophen in entlegenen Gebieten.....	67
3.4.2.4	Entwickeltes System des FG SWW der Universität Kassel	69
4	MATERIAL UND METHODEN	72
4.1	Überblick über Versuche und Versuchsstände	72
4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	73
4.2.1	Untersuchte Membrane und Module.....	73
4.2.2	Feldversuchsstände	75
4.2.2.1	Allgemeines	75
4.2.2.2	Versuchskonzeption und Aufbau.....	76
4.2.3	Versuchsstände in der Versuchs- und Prüfstelle für Wasserbau und Umwelttechnik	77
4.2.3.1	Allgemeines	77
4.2.3.2	Versuchskonzeption und Aufbau (1)	77
4.2.3.3	Versuchskonzeption und Aufbau – Kurzmessreihen (2).....	78
4.2.4	Labormaßstäbliche Untersuchungen	79
4.2.4.1	Allgemeines	79
4.2.4.2	Laborversuchsstand 1.....	79
4.2.4.2.1	Versuchskonzeption und Aufbau	79
4.2.4.2.2	Versuchsdurchführung	80
4.2.4.3	Laborversuchsstand 2.....	81
4.2.4.3.1	Versuchskonzeption und Aufbau	81
4.2.4.3.2	Versuchsdurchführung	82
4.3	Labormethoden und Analytik	84
4.3.1	Mikrobiologische Untersuchungen.....	84

4.3.1.1	Nachweis von Indikatororganismen	84
4.3.1.2	Nachweis pathogener Bakterien und anderer Mikroorganismen	86
4.3.2	Bestimmung von gelösten EPS, DOC und TS.....	86
4.3.3	Bestimmung von Arsen, Schwermetallen und AOX.....	87
4.4	Auswertung von Messgrößen und statistische Methoden	87
4.4.1	Flux und Permeabilität	87
4.4.2	Bakterien-/Virenrückhalt.....	88
4.4.3	Statistische Methoden	90
4.4.3.1	Gleitender Mittelwert.....	90
4.4.3.2	Standardabweichung.....	90
4.4.3.3	Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest.....	90
4.4.3.4	Korrelation	91
4.4.3.5	Quotenverhältnis (Odds-Ratio)	93
5	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	94
5.1	Leistungsfähigkeit im kontinuierlichen Langzeitbetrieb.....	94
5.1.1	Hydraulische Leistungsfähigkeit	94
5.1.1.1	Langzeitversuchsreihe 1.....	94
5.1.1.2	Langzeitversuchsreihe 2.....	95
5.1.1.3	Vergleich verschiedener Membran- und Modulkonfigurationen	97
5.1.2	Bakterienrückhalt	99
5.1.2.1	Langzeitversuchsreihe 1.....	99
5.1.2.2	Langzeitversuchsreihe 2.....	99
5.1.3	Zusammenfassung und Diskussion.....	100
5.2	Einfluss gelöster organischer Verbindungen auf die hydraulische Leistungsfähigkeit	102
5.2.1	EPS und DOC Analyse verschiedener Rohwässer	102
5.2.2	Entwicklung der Permeabilität in Abhängigkeit der Konzentration gelöster organischer Verbindungen.....	105
5.2.3	Zusammenfassung und Diskussion.....	109
5.3	Hydraulische Leistungsfähigkeit im diskontinuierlichen Betrieb	110
5.3.1	Einfluss unterschiedlicher Befüllungsvarianten und Betriebsweisen.....	110
5.3.1.1	Versuchsreihe „Diskontinuierlich 1“	110
5.3.1.2	Versuchsreihe „Diskontinuierlich 2“	112
5.3.2	Nähere Betrachtung des Einflusses von Stillstandzeiten.....	114
5.3.3	Zusammenfassung und Diskussion.....	121
5.4	Einflüsse auf den Bakterienrückhalt.....	122

5.4.1	Filtrationsdauer/-menge.....	122
5.4.2	Feststoffgehalt.....	129
5.4.2.1	Unterschiedliche Feststoffgehalte und hohe Bakterienkonzentrationen	129
5.4.2.2	Feststofffreies Wasser	134
5.4.2.3	Zusammenfassende Betrachtungen	135
5.4.3	Stillstandszeiten	136
5.4.3.1	Akkumulation von Coliformen	136
5.4.3.2	Ausspülung von coliformen Bakterien	139
5.4.3.3	Weitergehende Untersuchungen.....	140
5.4.4	Defekte und Beschädigungen.....	144
5.4.4.1	Schäden an der Membran.....	144
5.4.5	Zusammenfassung und Diskussion	145
5.5	Rückhalt von Viren und Problemstoffen	147
5.5.1	Viren.....	147
5.5.2	Problemstoffe (Arsen, Schwermetalle und AOX)	148
5.5.3	Zusammenfassung und Diskussion	149
5.6	Spezielle Untersuchungen	150
5.6.1	Integration Chlordosierung	150
5.6.2	Trocknung und Einfrieren des Membranmoduls	151
5.6.3	Untersuchung kleinmaßstäblicher, marktverfügbarer POU- Wasseraufbereitungssysteme	153
5.6.3.1	Sawyer PointONE™	153
5.6.3.2	Katadyn Expedition	155
5.6.3.3	Zusammenfassung	156
5.7	Ergänzende Laborversuche mit Flachmembranrohmaterialien	157
5.7.1	Bubble-Point und Permeabilität	157
5.7.2	Allgemeine Quantifizierung des Bakterienrückhalts	159
5.7.3	Einfluss der Bakterienausgangskonzentration auf den Bakterienrückhalt.....	159
5.7.4	Einfluss von Fouling auf den Rückhalt.....	160
5.7.5	Einfluss des TMP auf den Rückhalt	161
5.7.6	Zusammenfassung und Diskussion	161
5.8	Weitergehende statistische Betrachtungen zum Bakterienrückhalt.....	163
5.8.1	Allgemeines.....	163
5.8.2	Korrelations- und Regressionsanalyse	163
5.8.3	Quotenverhältnisse	165
5.8.4	Statistische Betrachtungen zum LRV	166
5.8.5	Zusammenfassung und Diskussion	173

6	ZUSAMMENFASSUNG	175
7	LITERATUR	187
8	ANHANG	199