

# **SCHRIFTENREIHE**

**des Bauhaus-Instituts für  
zukunftsweisende  
Infrastruktursysteme (b.is)**

**37**

**Herausgeber**

**Bauhaus-Universität Weimar**

Fakultät Bauingenieurwesen

Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)

Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

**RHOMBOS-VERLAG • BERLIN**

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

© 2018 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

**Impressum**

Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende  
Infrastruktursysteme an der Bauhaus-Universität Weimar (b.is)  
19. Jahrgang 2018

**Herausgeber der Schriftenreihe**

Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen,  
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)  
Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

**Verlag**

RHOMBOS-VERLAG

Fachverlag für Forschung, Wissenschaft und Politik  
Kurfürstenstr. 15/16, 10785 Berlin  
Internet: [www.rhombos.de](http://www.rhombos.de)  
eMail: [verlag@rhombos.de](mailto:verlag@rhombos.de)  
VK-Nr. 13597

**Druck**

PRINT GROUP Sp. z o.o.  
Printed in Poland

Papier: Munken Print White ist alterungsbeständig, mit dem EU Ecolabel ausgezeichnet und FSC™ sowie PEFC zertifiziert.

ISBN 978-3-941216-95-2

ISSN 1862-1406

**Bauhaus-Institut für  
zukunftsweisende Infrastruktursysteme  
(b.is)**



Das Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is) verfolgt das Ziel, die Kooperation der derzeit beteiligten Professuren Siedlungswasserwirtschaft, Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft und Urban Energy Systems zu intensivieren sowie die Honorarprofessur Urbanes Infrastrukturmanagement, um Lehr-, Forschungs- und Beratungsaufgaben auszubauen. So werden beispielsweise die Weiterentwicklung von Studiengängen, gemeinsame Doktorandenkolloquien oder gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt.

Das b.is will sich deutlich sichtbar im Bereich der Infrastrukturforschung aufstellen. Die Forschung und Lehre in diesem Bereich orientiert sich am medienübergreifenden Modell der nachhaltigen Gestaltung von Stoff- und Energieflüssen sowie ressourcenökonomisch ausgerichteten Systemen, die verbindendes Konzept der Kernprofessuren des Instituts sind. Die Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen ist mit dem b.is assoziiert.

**Bauhaus-Institute for  
Infrastructure Solutions  
(b.is)**



The Bauhaus-Institute for Infrastructure Solutions (b.is) aims to strengthen the cooperation of the university's research teams in Urban Water Management and Sanitation, Biotechnology in Resources Management and Urban Energy Systems in the areas of teaching, research and consultancy work. This encompasses the further development of degree programmes, joint doctorate colloquia and joint research and development activities.

Currently the chair of urban water management and sanitation, the chair of biotechnology in resources management and the chair of urban energy systems as well as the honorary professorship for urban infrastructure management are members of the institute. The chair of construction economics is associated with the institute.

The b.is will increase its visibility in infrastructure research. Education and research are geared to the comprehensive model of sustainable material and energy flows and resource economy oriented systems, which are the linkage of the institute's chairs.

# **Charakterisierung von Grauwasser**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

**Dipl.- Ing. Jan Christian Sievers**

aus Braunschweig

Gutachter:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing Jörg Londong, Weimar
2. Prof. Dr.-Ing. Martin Oldenburg, Höxter
3. Univ. Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch, Berlin

Tag der Disputation 19.01.2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung .....</b>	<b>V</b>
<b>Kurzfassung.....</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>IX</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>XI</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>XXI</b>
<b>Abkürzungen und Symbole .....</b>	<b>XXX</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Verlassung und Untersuchungsgegenstand .....	1
1.2 Hintergrund und Problemstellung .....	4
1.3 Zielsetzung und Schwerpunkte.....	5
1.4 Struktur der Arbeit .....	6
<b>2 Grundlagen – Grauwasser und Probenahme .....</b>	<b>7</b>
2.1 Trinkwasserverbrauch und Grauwassermenge .....	7
2.2 Definitionen von Grauwasser.....	8
2.3 Inhaltsstoffe und Herkunftsquellen von Grauwasser.....	9
2.3.1 Grauwasser aus dem Sanitärbereich .....	10
2.3.2 Waschmaschinengrauwasser .....	11
2.3.3 Grauwasser aus dem Küchenbereich .....	13
2.4 Technisches Regelwerk zu Grauwasser.....	15
2.5 Probenahme.....	18
2.5.1 Technisches Regelwerk zur Probenahme .....	19
2.5.2 Probenarten .....	19
2.5.3 Fehler bei der Probenahme .....	21
2.6 Zusammenfassung.....	22
<b>3 Literaturstudie zur Charakterisierung von Grauwasser .....</b>	<b>24</b>
3.1 Anlass der Literaturdatenerhebung .....	24
3.2 Datenerhebung .....	24
3.3 Datenquellen .....	25
3.4 Strukturierung des Datenbestandes .....	26
3.5 Beschreibung des Datenbestandes.....	27

<b>3.6 Bewertung von Literaturdaten.....</b>	<b>29</b>
3.6.1 Ansätze zur Literaturdatenbewertung .....	29
3.6.1.1 Klassische Gütekriterien bei der Datenerhebung .....	29
3.6.1.2 General Assessment Factors der USEPA.....	30
3.6.1.3 Bewertungsansatz nach Tielemanns et al. (2002) .....	31
3.6.2 Diskussion und Übertragbarkeit der Ansätze zur Datenbewertung .....	32
3.6.3 Herausforderungen bei der Datenbewertung und -analyse .....	34
3.6.4 Bewertungsmethode für die erhobenen Literaturdaten.....	37
3.6.4.1 Selektionskriterien .....	39
3.6.4.2 Operationalisierung der Bewertungskriterien .....	39
3.6.4.3 Gewichtung der Bewertungskriterien .....	41
3.6.4.4 Einteilung in Qualitätslevel.....	44
<b>3.7 Literaturdatenauswertung.....</b>	<b>45</b>
3.7.1 Selektion der Daten .....	46
3.7.2 Tests auf Normalverteilung und Ausreißer .....	47
3.7.3 Darstellung der Ergebnisse.....	49
3.7.4 Ergebnisse und Diskussion der Literaturdatenauswertung.....	49
3.7.4.1 Grauwasservolumenstrom .....	50
3.7.4.2 Chemisch-physikalische Parameter und Inhaltsstoffe .....	51
3.7.5 Diskussion der Bewertungsmethode .....	58
<b>3.8 Zusammenfassung der Literaturdatenanalyse.....</b>	<b>60</b>
<b>4 Auswahl geeigneter Probenahmestandorte .....</b>	<b>62</b>
4.1 Methodik zur Auswahl der Untersuchungsstandorte .....	62
4.2 Bestandsanalyse und Auswahl der Untersuchungsstandorte .....	62
4.3 Beschreibung der Untersuchungsstandorte .....	66
4.3.1 Berlin „Block 6“ .....	67
4.3.2 Lübeck ökologische Siedlung „Flintenbreite“ .....	69
4.3.3 Kieler Scholle e.G. – Ökologische Siedlung am Moorwiesengraben	70
4.3.4 Einfamilienhaus in Weimar .....	71
<b>5 Probenahme und Analytik.....</b>	<b>72</b>
5.1 Probenahmekonstruktion .....	72
5.1.1 Probenahmekonstruktion BB6 I.....	72
5.1.2 Probenahmekonstruktion BB6 II .....	75
5.1.3 Direkte volumenproportionale Probenahme .....	75
5.1.4 Probenahmetechnik im Weimarer Einfamilienhaus .....	80
5.2 Probenahmeregime (Probenahmestrategie) .....	81
5.3 Probenvorbehandlung und Analytik .....	82
5.3.1 Vereinigung der Laborproben .....	82
5.3.2 Probenlagerung, -konservierung und -vorbehandlung .....	83
5.3.3 Laborgeräte, Analyseparameter und -methoden .....	84
5.3.4 Ablaufschema – Probenahme und Analytik .....	86
5.4 Fehleranalyse der Probenahme und Analytik .....	88
5.4.1 Fehleranalyse Probenahme .....	89
5.4.2 Imperfektionen bei der Probenvereinigung .....	96
5.4.3 Unzulänglichkeiten bei der Probenvorbereitung .....	97

---

5.4.4 Analytikfehler .....	98
5.4.5 Kombinierte Fehleranalyse – Worst-Case-Szenario.....	99
<b>5.5 Zusammenfassung.....</b>	<b>103</b>
<b>6 Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>105</b>
6.1 Darstellung der Ergebnisse .....	105
6.2 Mathematisch-statistische Vorgehensweise .....	105
6.3 Grauwasservolumenstrom .....	106
6.3.1 Berlin „Block 6“ .....	106
6.3.2 Lübeck „Flintenbreite“.....	111
6.3.3 Kieler Scholle e.G.....	116
6.3.4 Einfamilienhaus Weimar .....	119
6.3.5 Aggrierter Grauwasservolumenstrom .....	123
6.3.6 Grauwasservolumenstrom – Zusammenfassung und Diskussion ....	127
6.4 Physikalische und chemisch-physikalische Kenngrößen.....	132
6.4.1 Grauwassertemperatur.....	132
6.4.1.1 Berlin „Block 6“ .....	132
6.4.1.2 Lübeck „Flintenbreite“.....	136
6.4.1.3 Kieler Scholle e.G.....	139
6.4.1.4 Einfamilienhaus Weimar .....	140
6.4.1.5 Aggrierte Grauwassertemperaturen.....	142
6.4.1.6 Grauwassertemperatur –Zusammenfassung und Diskussion...	144
6.4.2 pH-Wert .....	148
6.4.2.1 Berlin „Block 6.....	148
6.4.2.2 Lübeck „Flintenbreite“.....	149
6.4.2.3 Kieler Scholle e.G.....	151
6.4.2.4 Einfamilienhaus Weimar .....	152
6.4.2.5 Aggrierte pH-Werte .....	153
6.4.2.6 pH-Wert – Zusammenfassung und Diskussion .....	154
6.5 Grauwasserinhaltsstoffe .....	156
6.5.1 Systematik der Bilanzierung .....	156
6.5.2 Trockensubstanzgehalt und Glühverlust .....	158
6.5.2.1 Berlin „Block 6.....	158
6.5.2.2 Lübeck „Flintenbreite“.....	161
6.5.2.3 Kieler Scholle e.G.....	162
6.5.2.4 Einfamilienhaus Weimar .....	163
6.5.2.5 Aggrierte Trockenmassen und Glühverluste .....	165
6.5.2.6 Feststoffgehalte – Zusammenfassung und Diskussion .....	167
6.5.3 Chemischer Sauerstoffbedarf.....	169
6.5.3.1 Berlin „Block 6“ .....	169
6.5.3.2 Lübeck „Flintenbreite“.....	172
6.5.3.3 Kieler Scholle e.G.....	174
6.5.3.4 Einfamilienhaus Weimar .....	176
6.5.3.5 Aggrierte CSB-Frachten.....	177
6.5.3.6 CSB – Zusammenfassung und Diskussion .....	179
6.5.4 Biochemischer Sauerstoffbedarf .....	181

---

6.5.4.1	Berlin „Block 6“ .....	181
6.5.4.2	Lübeck „Flintenbreite“ .....	183
6.5.4.3	Kieler Scholle e.G. .....	184
6.5.4.4	Einfamilienhaus Weimar .....	185
6.5.4.5	Aggregierte BSB5- und BSB20-Frachten .....	186
6.5.4.6	BSB – Zusammenfassung und Diskussion .....	187
6.5.5	Gesamt- und Ammoniumstickstoff .....	188
6.5.5.1	Berlin „Block 6“ .....	188
6.5.5.2	Lübeck „Flintenbreite“ .....	192
6.5.5.3	Kieler Scholle e.G. .....	194
6.5.5.4	Einfamilienhaus Weimar .....	196
6.5.5.5	Aggregierte Gesamt- und Ammoniumstickstofffrachten .....	197
6.5.5.6	Stickstoffverbindungen – Zusammenfassung und Diskussion .....	199
6.5.6	Gesamtphosphor und Ortho-Phosphat-Phosphor .....	202
6.5.6.1	Berlin „Block 6“ .....	202
6.5.6.2	Lübeck „Flintenbreite“ .....	206
6.5.6.3	Kieler Scholle e.G. .....	208
6.5.6.4	Einfamilienhaus Weimar .....	210
6.5.6.5	Aggregierte Gesamtphosphor- und Ortho-Phosphat-Phosphor-Frachten .....	211
6.5.6.6	Phosphorverbindungen – Zusammenfassung und Diskussion .....	213
6.6	<b>Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>217</b>
7	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>222</b>
7.1	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>222</b>
7.1.1	Literaturdatenbewertung und -analyse .....	224
7.1.2	Beurteilung der Probenahmekonstruktion .....	226
7.1.3	Charakterisierung von Grauwasser .....	227
7.2	<b>Forschungsbedarf und Ausblick .....</b>	<b>229</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>231</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>263</b>
	Anhang 2–1: Inhaltsstoffe von Grauwasser .....	263
	Anhang 3–1: Struktur der Bewertungsmatrix .....	264
	Anhang 3–2: Datenbasis Literaturdatenauswertung .....	266
	Anhang 3–3: Literaturdatenanalyse – Datengrundlage Grauwasserwerte .....	271
	Anhang 3–4: Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse der ungewichteten Literaturdatenanalyse .....	274

---

Anhang 3–5: Tabellarische Zusammenstellung der Variationskoeffizienten für die gewichtete und ungewichtete Literaturdatenanalyse .....	275
Anhang 4–1: Bewertungskriterien der NWA mit zugeordneten Zielerreichungsgraden und Gewichtungsfaktoren .....	276
Anhang 4–2: Nutzwertanalyse Untersuchungsstandorte .....	278
Anhang 5–1: Probenahmekonstruktion zur mengenproportionalen Probenahme .....	282
Anhang 5–2: Parameter und verwendete Labor- und Analysegeräte ....	284
Anhang 6–1: Grauwasseranfall in 6-h-Intervallen .....	285
Anhang 6–2: Ergebnisse der TR- und oTR-Frachten der Feststoffphase und TS- und oTS Frachten der Flüssigphase .....	288
Anhang 6–3: Ergebnisse der Tagesquartalsproben für den Parameter CSB .....	292
Anhang 6–4: Ergebnisse der Tagesquartalsproben für den Parameter TN .....	294
Anhang 6–5: Ergebnisse der Tagesquartalsproben für den Parameter TP .....	296

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	<i>Beschaffenheit von Grauwasser aus dem Sanitärbereich .....</i>	11
Tab. 2-2:	<i>Beschaffenheit von Waschmaschinengrauwasser .....</i>	12
Tab. 2-3:	<i>Beschaffenheit von Küchengrauwasser.....</i>	15
Tab. 2-4:	<i>Qualitätsanforderungen für die Nutzung von Grauwasser in Gebäuden [SenStadt, 2007] .....</i>	17
Tab. 2-5:	<i>Matrix zur Bestimmung der Probenahmeart [Gudernatsch, 1983; Rump, 1998].....</i>	21
Tab. 3-1:	<i>Verwendete Suchmaschinen und Fachinformationsportale .....</i>	25
Tab. 3-2:	<i>Selektionskriterien und deren Ausprägungen bei der Datenauswahl.....</i>	39
Tab. 3-3:	<i>Klassifikation in Qualitätslevel und Gewichtungsfaktoren .....</i>	45
Tab. 3-4:	<i>Datensätze ohne Normalverteilung (NV).....</i>	50
Tab. 3-5:	<i>Gewichtete Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen Grauwassermenge .....</i>	51
Tab. 3-6:	<i>Gewichtete Literaturdatenauswertung der pH-Werte und Temperaturen .....</i>	52
Tab. 3-7:	<i>Gewichtete Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen TS-Frachten .....</i>	53
Tab. 3-8:	<i>Gewichtete Literaturdatenauswertung der CSB- und BSB<sub>5</sub>-Frachten .....</i>	55
Tab. 3-9:	<i>Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen TN- und NH<sub>4</sub>-N-Frachten.....</i>	56
Tab. 3-10:	<i>Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen TP- und PO<sub>4</sub>-P-Frachten .....</i>	58
Tab. 3-11:	<i>Ergebnisse der Literaturdatenauswertung im Vergleich zum DWA-A 272 (2014) .....</i>	61
Tab. 4-1:	<i>Bewertungskriterien der NWA mit den zugehörigen Gewichtungsfaktoren .....</i>	65

---

Tab. 4-2:	<i>Auswahl der Untersuchungsstandorte (Probenahmestandorte grau hinterlegt)</i> .....	65
Tab. 4-3:	<i>Zeitlicher Ablauf der sieben durchgeführten Messkampagnen</i> .....	66
Tab. 4-4:	<i>Wohneinheiten, Nutzerzahlen und Systemvarianten der Untersuchungsstandorte</i> .....	67
Tab. 5-1:	<i>Übersicht der Probenahmeregime während der Messkampagnen</i> .....	81
Tab. 5-2:	<i>Verzeichnis verwendeter pH- und Temperaturmessgeräte</i> .....	84
Tab. 5-3:	<i>Analyseparameter und -methoden der Grauwasserfl�ssigphase</i> .....	85
Tab. 5-4:	<i>Grauwasserfeststoffe - Parameter, Konservierungsart und Analytik</i> .....	86
Tab. 5-5:	<i>Anzahl der Aliquote in den unterschiedlichen Laborproben</i> .....	96
Tab. 6-1:	<i>Einwohnerspezifische Durchflüsse in Berlin „Block 6“</i> .....	107
Tab. 6-2:	<i>Einwohnerspezifische Durchflüsse in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	112
Tab. 6-3:	<i>Einwohnerspezifische Durchflüsse in KMG</i> .....	116
Tab. 6-4:	<i>Einwohnerspezifische Durchflüsse in dem EFH in Weimar</i> .....	119
Tab. 6-5:	<i>Aggregierte einwohnerspezifische Volumenströme</i> .....	123
Tab. 6-6:	<i>Mittelwerte der Tagesvolumenstr�me und der stündlichen Maximaldurchfl�sse sowie die zugehörigen Divisoren <math>X_{Q_{max}}</math></i> .....	127
Tab. 6-7:	<i>Einwohnerspezifische Grauwassermengen der Messkampagnen im Vergleich zu Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014)</i> .....	129
Tab. 6-8:	<i>Grauwassertemperaturen in Berlin „Block 6“</i> .....	132
Tab. 6-9:	<i>Grauwassertemperaturen in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	136
Tab. 6-10:	<i>Grauwassertemperaturen in Kieler Scholle e.G</i> .....	139
Tab. 6-11:	<i>Grauwassertemperaturen in dem EFH in Weimar</i> .....	140
Tab. 6-12:	<i>Aggregierte Grauwassertemperaturen</i> .....	142

---

Tab. 6-13:	<i>Gemessene Tagesmittelwerte der Grauwassertemperaturen im Vergleich zu den Literaturdaten</i> .....	146
Tab. 6-14:	<i>pH-Werte in Berlin „Block 6“</i> .....	148
Tab. 6-15:	<i>pH-Werte in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	150
Tab. 6-16:	<i>pH-Werte in der „ökologischen Siedlung am Moorwiesengraben“, Kiel</i> .....	151
Tab. 6-17:	<i>pH-Werte am Untersuchungsstandort Weimar</i> .....	153
Tab. 6-18:	<i>Aggregierte pH-Werte der Kampagnen BB6, LFB und KMG</i> .....	153
Tab. 6-19:	<i>Tagesmittelwerte der gemessenen pH-Werte im Vergleich zu den Literaturdaten</i> .....	155
Tab. 6-20:	<i>Trennschärfen der Feststoffseparationverfahren, Symbolik und abgeleitete Fraktionen</i> .....	158
Tab. 6-21:	<i>Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten in „Block 6“</i> .....	160
Tab. 6-22:	<i>Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	162
Tab. 6-23:	<i>Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten in KMG</i> .....	163
Tab. 6-24:	<i>Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten des EFH in Weimar</i> .....	164
Tab. 6-25:	<i>Aggregierte einwohnerspezifischen TS- und oTS-Frachten</i> .....	165
Tab. 6-26:	<i>Einwohnerspezifische TS-Frachten der Messkampagnen im Vergleich zu Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014)</i> .....	168
Tab. 6-27:	<i>Einwohnerspezifische CSB-Frachten in „Block 6“</i> .....	170
Tab. 6-28:	<i>Einwohnerspezifische CSB-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	173
Tab. 6-29:	<i>Einwohnerspezifische CSB-Frachten in der „Siedlung am Moorwiesengraben“ in Kiel</i> .....	175
Tab. 6-30:	<i>Einwohnerspezifische CSB-Frachten im Einfamilienhaus in Weimar</i> .....	176

---

Tab. 6-31:	<i>Aggregierte einwohnerspezifische CSB-Frachten der Messkampagnen</i> .....	177
Tab. 6-32:	<i>Einwohnerspezifische CSB-Frachten der Messkampagnen im Vergleich zu den Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014)</i> .....	180
Tab. 6-33:	<i>Einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub> - und BSB<sub>20</sub>-Frachten in „Block 6“</i> .....	182
Tab. 6-34:	<i>Einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub> - und BSB<sub>20</sub>-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	183
Tab. 6-35:	<i>Einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub> - und BSB<sub>20</sub>-Frachten in KMG</i> .....	184
Tab. 6-36:	<i>Einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub> - und BSB<sub>20</sub>-Frachten im EFH Weimar</i> .....	185
Tab. 6-37:	<i>Aggregierte einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub> - und BSB<sub>20</sub>-Frachten</i> .....	186
Tab. 6-38:	<i>Einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub>-Frachten der Messkampagnen im Vergleich zu den Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014)</i> .....	187
Tab. 6-39:	<i>Einwohnerspezifische TN-, TN<sub>C</sub>-, NH<sub>4</sub>-N<sub>S15</sub>- und NH<sub>4</sub>-N<sub>S0,45</sub>-Frachten in BB6</i> .....	190
Tab. 6-40:	<i>Einwohnerspezifische TN- und NH<sub>4</sub>-N-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	193
Tab. 6-41:	<i>Einwohnerspezifische TN- und NH<sub>4</sub>-N-Frachten in „Kieler Scholle e.G.“</i> .....	195
Tab. 6-42:	<i>Einwohnerspezifische TN- und NH<sub>4</sub>-N-Frachten im EFH in Weimar</i> .....	196
Tab. 6-43:	<i>Einwohnerspezifische TN- und NH<sub>4</sub>-N-Frachten der aggregierten Messwerte</i> .....	197
Tab. 6-44:	<i>Einwohnerspezifische TN-Frachten der Messkampagnen im Vergleich zu den Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014)</i> .....	201
Tab. 6-45:	<i>Einwohnerspezifische TP-, TP<sub>C</sub>-, PO<sub>4</sub>-P<sub>S15</sub>- und PO<sub>4</sub>-P<sub>S0,45</sub>-Frachten in BB6</i> .....	204
Tab. 6-46:	<i>Einwohnerspezifische TP- und PO<sub>4</sub>-P-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	207

Tab. 6-47:	<i>Einwohnerspezifische TP- und PO<sub>4</sub>-P-Frachten in „Kieler Scholle e.G.“</i> .....	209
Tab. 6-48:	<i>Einwohnerspezifische TP- und PO<sub>4</sub>-P-Frachten im EFH Weimar</i> .....	210
Tab. 6-49:	<i>Aggregierte einwohnerspezifische TP- und PO4-P-Frachten</i> .....	211
Tab. 6-50:	<i>Einwohnerspezifische TP-Frachten der Messkampagnen im Vergleich zu den Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014)</i> .....	216
Tab. 6-51:	<i>Abgeleitete Bemessungsgrundlagen auf Basis der 85 %-Perzentile und aggregierte Mittelwerte und Mediane im Vergleich zu den Orientierungswerten des DWA-A 272 (2014)</i> .....	217

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	<i>Verknüpfung der Bearbeitungsschritte im Rahmen der Forschungsarbeit</i> .....	6
Abb. 2-1:	<i>Trinkwasserverwendung und Grauwasseranteile im Haushalt [BDEW, 2014]</i> .....	7
Abb. 2-2:	<i>Systematisierung der häuslichen Grauwasserteilströme nach Herkunftsquellen</i> .....	9
Abb. 2-3:	<i>Arten von Proben und Probenahmetechnik</i> .....	20
Abb. 2-4:	<i>Fehlerquellen in der Analytik [nach Franklin aus Cammann, 2001]</i> .....	22
Abb. 3-1:	<i>Geografische Herkunft der Grauwasserdatensätze (links) und Verteilung auf europäische Länder (rechts). Korrespondierende Anzahl der Datensätze in der Klammerung.</i> .....	28
Abb. 3-2:	<i>Prozentualer Anteil der Grauwasserarten in der Datensammlung (Anzahl der Datensätze in Klammerung)</i> .....	28
Abb. 3-3:	<i>Schematischer Ablauf der Literaturdatenbewertung und –auswertung</i> .....	38
Abb. 3-4:	<i>Hauptkriterien und Unterscheidungsmerkmale zur Bewertung von Literatur-daten</i> .....	41
Abb. 3-5:	<i>Kriterienspezifischer Paarvergleich für die festgelegten Unterscheidungsmerkmale der Bewertungskriterien</i> .....	43
Abb. 3-6:	<i>Datenbestand Grauwasser für die statistische Analyse nach Ländern (links) und Qualitätsstufen (rechts, absolute Anzahlen in Klammern).</i> .....	46
Abb. 3-7:	<i>Schematischer Ablauf der Literaturdatenauswertung</i> .....	48
Abb. 3-8:	<i>Erläuterung der statistischen Kennwerte im Box-Whisker Plot</i> .....	49
Abb. 3-9:	<i>Einwohnerspezifischer Grauwasservolumenstrom</i> .....	50
Abb. 3-10:	<i>Box-Plots der pH-Werte (links) und Temperaturen (rechts) auf Grundlage der gewichteten Literaturdaten</i> .....	52

Abb. 3-11:	<i>TS-Frachten auf Grundlage der gewichteten Literaturdaten</i> .....	53
Abb. 3-12:	<i>Einwohnerspezifische BSB<sub>5</sub>- und CSB-Frachten auf Grundlage der gewichteten Literaturdaten</i> .....	54
Abb. 3-13:	<i>TN- und NH<sub>4</sub>-N -Frachten auf Grundlage der gewichteten Literaturdaten</i> .....	56
Abb. 3-14:	<i>TP- und PO<sub>4</sub>-P-Frachten auf Grundlage der gewichteten Literaturdaten</i> .....	57
Abb. 4-1:	<i>Übersichtskarte zu Grauwasserprojekten in Deutschland</i> .....	64
Abb. 4-2	<i>Schematische Darstellung des Untersuchungsobjektes Berlin „Block 6“, Bernburgerstraße 26 mit Kennzeichnung der Probenahmestelle</i> .....	68
Abb. 4-3:	<i>Untersuchungsgebiet und Probenahmestelle in Lübeck „Flintenbreite“ [infranova, 2007, modifiziert]</i> .....	69
Abb. 4-4:	<i>Untersuchungsgebiet und Probenahmestelle in der „Ökologischen Siedlung am Moorwiesengraben“ in Kiel</i> .....	70
Abb. 4-5:	<i>Grauwasserableitung in dem Einfamilienhaus in Weimar</i> .....	71
Abb. 5-1:	<i>Einbindung der Probenahmetechnik in das Grauwassersystem (links), Rückführung in die Grauwassersammelleitung (rechts) in Berlin „Block 6“</i> .....	73
Abb. 5-2:	<i>Schematische Darstellung des Prototyps vom Probenahmesystem</i> .....	74
Abb. 5-3:	<i>Schematische Darstellung der des Probenahmesystems BB6 II</i> .....	75
Abb. 5-4:	<i>Anschluss der Probenahmetechnik (links) und Rückführung des Grauwassers in die nachfolgende Zweikammerabsetzgrube (rechts) in Lübeck Flintenbreite</i> .....	76
Abb. 5-5:	<i>Anschluss der Probenahmekonstruktion (rechts, mittig) und Zusammen-führung der beiden Teilstränge (links) in Kiel</i> .....	77
Abb. 5-6:	<i>Probenahmeeinheit (links), Probenahmeeinheit im Betriebszustand (rechts)</i> .....	78
Abb. 5-7:	<i>Schematische Darstellung der direkten volumenproportionalen Probenahme</i> .....	79

---

Abb. 5-8:	<i>3D-Ansicht der Konstruktion zur volumenproportionalen Probenahme der Messkampagnen LFB I/II .....</i>	79
Abb. 5-9:	<i>Schematische Darstellung des Probenahmesystems WE .....</i>	80
Abb. 5-10:	<i>Mengenproportionale Vereinigung von Aliquoten der zeitproportionalen Teilproben .....</i>	83
Abb. 5-11:	<i>Schematischer Ablauf der Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik .....</i>	87
Abb. 5-12:	<i>Verunreinigtes Dosiersystem .....</i>	91
Abb. 5-13:	<i>Schematische Darstellung des Aufbaus der mikroskopischen Untersuchung .....</i>	94
Abb. 5-14:	<i>Mikroskopische Abbildungen des multifilen Nylonstrumpfgewebes (links) und monofilen Beutelfilter-Nylongewebes (rechts) .....</i>	95
Abb. 5-15:	<i>Entscheidungsfließbild mit Fehlerhöchstgrenzenmatrix sowie Farbkodierung, Fehlerklassen mit Fehlerhöchstgrenzen und zugeordnete Mischprobentypen .....</i>	102
Abb. 6-1:	<i>Einwohnerspezifische Volumenströme in Berlin „Block 6“ .....</i>	106
Abb. 6-2:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms BB6 I .....</i>	108
Abb. 6-3:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms BB6 II .....</i>	108
Abb. 6-4:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms BB6 III .....</i>	108
Abb. 6-5:	<i>Kumulierter Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms, BB6 I – III .....</i>	109
Abb. 6-6:	<i>Kumulierter Tagesgang des einwohnerspezifischen Durchflusses – Wochen-tage, BB6 I – III .....</i>	109
Abb. 6-7:	<i>Kumulierter Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms an Wochenenden BB6 I – III .....</i>	110
Abb. 6-8:	<i>Einwohnerspezifischer Volumenstrom in 6-h-Intervallen BB6 III .....</i>	111
Abb. 6-9:	<i>Einwohnerspezifische Volumenströme in „Lübeck Flintenbreite“ .....</i>	111

Abb. 6-10:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms LFB I</i> .....	112
Abb. 6-11:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms LFB II</i> .....	113
Abb. 6-12:	<i>Kumulierte Tagesgänge der einwohnerspezifischen Volumenströme LFB I und LFB II</i> .....	113
Abb. 6-13:	<i>Kumulierte Tagesgänge der einwohnerspezifischen Volumenströme an Wochentagen in Lübeck Flintenbreite</i> .....	114
Abb. 6-14:	<i>Kumulierte Tagesgänge der einwohnerspezifischen Volumenströme an Wochenenden in Lübeck Flintenbreite</i> .....	114
Abb. 6-15:	<i>Einwohnerspezifischer Volumenstrom in 6-h-Intervallen – LFB I</i> .....	115
Abb. 6-16:	<i>Einwohnerspezifischer Volumenstrom in 6-h-Intervallen – LFB II</i> .....	115
Abb. 6-17:	<i>Einwohnerspezifischer Volumenstrom in 6-h-Intervallen – LFB<sub>ges</sub></i> .....	115
Abb. 6-18:	<i>Einwohnerspezifischer Volumenstrom in Kiel</i> .....	116
Abb. 6-19:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms KMG</i> .....	117
Abb. 6-20:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms KMG an Wochen-tagen</i> .....	117
Abb. 6-21:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms KMG an Wochenenden</i> .....	118
Abb. 6-22:	<i>Einwohnerspezifischer Volumenstrom in 6-h-Intervallen in KMG</i> .....	119
Abb. 6-23:	<i>Einwohnerspezifische Volumenströme in Weimar</i> .....	119
Abb. 6-24:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms im Weimarer EFH</i> .....	120
Abb. 6-25:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms in Weimar an Wochentagen</i> .....	121
Abb. 6-26:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms in Weimar an Wochen-tagen</i> .....	121

---

Abb. 6-27:	<i>Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms in Weimar an Wochenenden.....</i>	122
Abb. 6-28:	<i>Aggrierter einwohnerspezifischer Volumenstrom.....</i>	123
Abb. 6-29:	<i>Tagesgang des aggregierten einwohnerspezifischen Volumenstroms .....</i>	124
Abb. 6-30:	<i>Tagesgang der aggregierten einwohnerspezifischen Durchflüsse an Wochen-tagen .....</i>	124
Abb. 6-31:	<i>Tagesgang der aggregierten einwohnerspezifischen Durchflüsse an Wochen-enden .....</i>	125
Abb. 6-32:	<i>Aggrierte einwohnerspezifische Volumenströme in 6-h-Intervallen .....</i>	126
Abb. 6-33:	<i>Überlagerung der Durchflusstagesganglinien für die stündliche n Median- (Mitte) sowie Minimal- (unten) und Maximalwerte (oben) .....</i>	131
Abb. 6-34:	<i>Box-Whisker-Plots der Grauwassertemperaturen der Kampagnen BB6 I, II und III.....</i>	132
Abb. 6-35:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom BB6 I.....</i>	133
Abb. 6-36:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom BB6 II.....</i>	134
Abb. 6-37:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom BB6 III.....</i>	134
Abb. 6-38:	<i>Kumuliertes Temperaturprofil und Volumenstrom BB6<sub>ges</sub>.....</i>	134
Abb. 6-39:	<i>Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in Berlin „Block 6“. BB6 I (links), BB6 II (mitte), BB6 III (rechts).....</i>	135
Abb. 6-40:	<i>Box-Whisker-Plots der Grauwassertemperaturen der Kampagnen in Lübeck .....</i>	136
Abb. 6-41:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom LFB I .....</i>	137
Abb. 6-42:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom LFB II.....</i>	137
Abb. 6-43:	<i>Kumuliertes Temperaturprofil und Volumenstrom LFB<sub>ges</sub>.....</i>	138
Abb. 6-44:	<i>Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in Lübeck. Links: LFB I, Rechts LFB II .....</i>	138
Abb. 6-45:	<i>Box-Whisker-Plot der Grauwassertemperatur (links) und Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in KMG (rechts).....</i>	139

---

Abb. 6-46:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom KMG</i> .....	140
Abb. 6-47:	<i>Box-Whisker-Plot der Grauwassertemperatur (links) und Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in Weimar (rechts)</i> .....	141
Abb. 6-48:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom im Weimarer EFH</i> .....	142
Abb. 6-49:	<i>Box-Whisker-Plot der aggregierten Grauwassertemperatur</i> .....	142
Abb. 6-50:	<i>Temperaturprofil und Volumenstrom der aggregierten Datenreihe</i> .....	144
Abb. 6-51:	<i>Überlagerung der Temperaturen für die stündlichen Median- (Mitte) sowie Minimal- (unten) und Maximalwerte (oben)</i> .....	145
Abb. 6-52:	<i>Kumulierter pH-Wert in Berlin „Block 6“</i> .....	148
Abb. 6-53:	<i>Tagesgang der überlagerten pH-Werte in 1-Stunden-Intervallen für Berlin „Block 6“</i> .....	149
Abb. 6-54:	<i>Kumulierter pH-Wert in „Flintenbreite“</i> .....	149
Abb. 6-55:	<i>Tagesgang der überlagerten pH-Werte in 1-Stunden-Intervallen für Lübeck „Flintenbreite“</i> .....	150
Abb. 6-56:	<i>Kumulierter pH-Wert in KMG</i> .....	151
Abb. 6-57:	<i>Tagesgang der überlagerten pH-Werte in 1-Stunden-Intervallen für KMG</i> .....	152
Abb. 6-58:	<i>pH-Wert in Weimar</i> .....	152
Abb. 6-59:	<i>Aggregierte pH-Werte</i> .....	153
Abb. 6-60:	<i>Tagesgang der aggregierten pH-Werte in 1-Stunden-Intervallen</i> .....	154
Abb. 6-61:	<i>Probenahmestellen und Untersuchungsfaktionen</i> .....	156
Abb. 6-62:	<i>Einwohnerspezifische Frachten der Parameter <math>TS_{200/15}</math>, <math>oTS_{200/15}</math> und <math>TS_{200/0,45}</math> in „Block 6“</i> .....	159
Abb. 6-63:	<i>Einwohnerspezifische <math>TS_{200/15,-}</math>, <math>oTS_{200/15,-}</math>, und <math>TS_{200/0,45}</math>-Frachten in LFB</i> .....	161
Abb. 6-64:	<i><math>TS_{200/15,-}</math>, <math>oTS_{200/15,-}</math> und <math>TS_{200/0,45}</math>-Frachten in KMG</i> .....	162
Abb. 6-65:	<i>Einwohnerspezifische <math>TS_{200/15,-}</math>, <math>oTS_{200/15,-}</math> und <math>TS_{200/15,-}</math>-Frachten in WE</i> .....	164

---

Abb. 6-66:	Aggregierte $TS_{200/15^-}$ , $oTS_{200/15^-}$ und $TS_{200/0,45^-}$ -Frachten .....	165
Abb. 6-67:	Feststoffanteile und Partikelgrößenverteilung in Grauwasser .....	166
Abb. 6-68:	Boxplots einwohnerspezifische $CSB$ -, $CSB_C$ -, $CSB_{S15^-}$ - und $CSB_{S0,45^-}$ -Frachten in BB6 .....	169
Abb. 6-69:	$CSB_C$ -Frachten in Berlin „Block 6“ in 6-Stunden- Intervallen .....	171
Abb. 6-70:	Einwohnerspezifische $CSB$ -, $CSB_C$ -, $CSB_{S15^-}$ und $CSB_{S0,45^-}$ -Frachten in LFB .....	172
Abb. 6-71:	Kumulierte $CSB_C$ -Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ in 6-Stunden-Intervallen .....	174
Abb. 6-72:	Einwohnerspezifische $CSB$ -, $CSB_C$ -, $CSB_{S15^-}$ und $CSB_{S0,45^-}$ -Frachten in KMG .....	174
Abb. 6-73:	$CSB_C$ -Frachten in Kiel „Siedlung am Moorwiesengraben“ in 6-Stunden-Intervallen .....	175
Abb. 6-74:	Einwohnerspezifische $CSB$ -, $CSB_C$ -, $CSB_{S15^-}$ und $CSB_{S0,45^-}$ -Frachten in WE .....	176
Abb. 6-75:	Aggregierte einwohner- spezifische $CSB$ -, $CSB_C$ -, $CSB_{S15^-}$ und $CSB_{S0,45^-}$ -Frachten .....	177
Abb. 6-76:	Prozentuale Anteile $CSB$ -Fraktionen bezogen auf die Partikelgrößen .....	178
Abb. 6-77:	Tagesgang der aggregierten $CSB$ -Frachten in 6- Stunden-Intervallen .....	179
Abb. 6-78:	Vergleich der Tagesgänge der $CSB$ -Frachten in 6- Stunden-Intervallen .....	181
Abb. 6-79:	Einwohnerspezifische $BSB_5$ - und $BSB_{20}$ -Frachten in „Block 6“ .....	182
Abb. 6-80:	Einwohnerspezifische $BSB_5$ - und $BSB_{20}$ -Frachten in „Flintenbreite“ .....	183
Abb. 6-81:	Boxplots der $BSB_5$ - und $BSB_{20}$ -Frachten in KMG .....	184
Abb. 6-82:	Boxplots der $BSB_5$ - und $BSB_{20}$ -Frachten in Weimar .....	185
Abb. 6-83:	Boxplots der aggregierten $BSB_5$ - und $BSB_{20}$ -Frachten .....	186
Abb. 6-84:	Boxplots der einwohnerspezifischen $TN$ -, $TN_C$ -, $NH_4$ - $N_{S15^-}$ und $NH_4-N_{S0,45^-}$ -Frachten in BB6 .....	189

Abb. 6-85:	<i>TN<sub>c</sub>-Frachten in Berlin „Block 6“ in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	191
Abb. 6-86:	<i>Boxplots der einwohner-spezifischen TN-, TN<sub>c</sub>-, NH<sub>4</sub>-N<sub>S15</sub>- und NH<sub>4</sub>-N<sub>S0,45</sub>-Frachten in LFB .....</i>	192
Abb. 6-87:	<i>TN<sub>c</sub>-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	194
Abb. 6-88:	<i>Boxplots der TN-, TN<sub>c</sub>-, NH<sub>4</sub>-N<sub>S15</sub>- und NH<sub>4</sub>-N<sub>S0,45</sub>-Frachten in KMG .....</i>	194
Abb. 6-89:	<i>TN<sub>c</sub>-Frachten in der Kieler Scholle e.G. in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	195
Abb. 6-90:	<i>Boxplot TN-, TN<sub>c</sub>-, NH<sub>4</sub>-N<sub>S15</sub>- und NH<sub>4</sub>-N<sub>S0,45</sub>-Frachten in WE .....</i>	196
Abb. 6-91:	<i>Aggregierte TN-, TN<sub>c</sub>-, NH<sub>4</sub>-N<sub>S15</sub>- und NH<sub>4</sub>-N<sub>S0,45</sub>-Frachten .....</i>	197
Abb. 6-92:	<i>Prozentuale Anteile Stickstofffraktionen bezogen auf die Partikelgrößen .....</i>	198
Abb. 6-93:	<i>Tagesgang der aggregierten TN-Frachten in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	199
Abb. 6-94:	<i>Vergleich der Tagesgänge der TN-Frachten in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	202
Abb. 6-95:	<i>Boxplots einwohnerspezifischer TP-, TP<sub>c</sub>-, PO<sub>4</sub>-P<sub>S15</sub>- und PO<sub>4</sub>-P<sub>S0,45</sub>-Frachten in BB6 .....</i>	203
Abb. 6-96:	<i>TP<sub>c</sub>-Frachten in Berlin „Block 6“ in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	205
Abb. 6-97:	<i>Boxplots der einwohner-spezifischen TP-, TP<sub>c</sub>-, PO<sub>4</sub>-P<sub>S15</sub>- und PO<sub>4</sub>-P<sub>S0,45</sub>-Frachten in LFB .....</i>	206
Abb. 6-98:	<i>TP<sub>c</sub>-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	208
Abb. 6-99:	<i>Boxplot TP-, TP<sub>c</sub>-, PO<sub>4</sub>-P<sub>S15</sub>- und PO<sub>4</sub>-P<sub>S0,45</sub>-Frachten in KMG .....</i>	208
Abb. 6-100:	<i>TP<sub>c</sub>-Frachten in der Kieler Scholle e.G. in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	209
Abb. 6-101:	<i>Boxplot TP-, TP<sub>c</sub>-, PO<sub>4</sub>-P<sub>S15</sub>- und PO<sub>4</sub>-P<sub>S0,45</sub>-Frachten in WE .....</i>	210

<i>Abb. 6-102:</i>	<i>Aggregierte TP-, <math>TP_C</math>- <math>PO_4-P_{515^-}</math> und <math>PO_4-P_{50,45^-}</math>-Frachten .....</i>	211
<i>Abb. 6-103:</i>	<i>Prozentuale Anteile der Phosphorfraktionen bezogen auf die Partikelgrößen.....</i>	212
<i>Abb: 6-104:</i>	<i>Tagesgang der aggregierten TP-Frachten in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	213
<i>Abb: 6-105:</i>	<i>Vergleich der Tagesgänge der TP-Frachten in 6-Stunden-Intervallen .....</i>	216

## Abkürzungen und Symbole

Zeichen	Erläuterung
a.a.R.d.T.	allgemein anerkannten Regeln der Technik
a	Jahr (lat. Annus)
AbwV	Abwasserverordnung
agg.	Aggregierte Daten
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
ATH	Allylthioharnstoff (Nitrifikationshemmstoff)
B	Gesamtfracht des Parameters
BB6	Grauwasserstandort „Berlin Block 6“
BB6 I/II/III	Erste/zweite/dritte Messkampagne am Standort „Block 6“
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BF	Beutelfilter, Rechteckmasche 200 µm
BSB <sub>n</sub>	Biochemischer Sauerstoffbedarf in n Tagen
BUW	Bauhaus-Universität Weimar
C	homogenisierte Grauwasserflüssigphase (Subskript)
C <sub>w</sub>	Wärmekapazität von flüssigem Wasser (4,18 KJ/(kg•K))
Cl <sup>-</sup>	Chloridionenkonzentration [mg/l]
CSB <sub>xxx</sub>	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB <sub>x200</sub>	CSB der grobdispersen Feststoffe (d ≥ 200 µm)
CSB <sub>C</sub>	CSB des homogenisierten Filtratablaufes
CSB <sub>S15</sub>	CSB nach Papierfiltration
CSB <sub>S0,45</sub>	gelöster CSB nach Membranfiltration
CV	Coefficient of Variation (Variationskoeffizienten)
d	(Partikel-) Durchmesser
DBIS	Datenbank-Informationssystem
DEN	Denier (Gewichtseinheit bezogen auf 9000 m Garn)

Zeichen	Erläuterung
DIN	Deutsche Industrie Norm
DN	Diameter Nominal / Nennweite (Innendurchmesser in mm)
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EFH	Einfamilienhaus
EMSR	Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
EW	Einwohnerwert (Summe aus Einwohnerzahl EZ und Einwohner-gleichwert EGW)
FK	Fehlerklasse
FM	Feuchtmasse [g/(E•d)], [g/d]
FS	Filtersack, Rechteckmaschen 1,5 mm
h	Stunde(n)
IBA	Internationalen Bauausstellung
IKW	Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V.
IQR	Interquartilsabstand (Interquartile Range)
ISO	International Organization for Standardization
K	Temperatur in Kelvin
k.A.	Keine Angabe
KIT	Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
KMG	Messkampagne am Grauwasserstandort „Kiel - Ökologische Siedlung am Moorwiesengraben“
kum.	Subskript kumulierte Daten
LFB	Grauwasserstandort „Lübeck Flintenbreite“
LFB I/II	Erste/zweite Messkampagne in Lübeck „Flintenbreite“
$M_{gew}$	gewichteter Gesamtmittelwert / aggregierter Mittelwert

Zeichen	Erläuterung
$M_{ug}$	ungewichteter Mittelwert
$MD_{gew}$	gewichteter Gesamtmedian / aggregierter Medianwert
$MD_{ug}$	ungewichteter Medianwert
MID	Magnetisch-Induktives Durchflussmessgerät
MK	Messkampagne
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
n	Anzahl der Teilproben zu Erstellung der Labor/ Analyseproben
NaOH	Natriumhydroxid
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
NH <sub>4</sub> -N	Ammoniumstickstoff
NH <sub>4</sub> -N <sub>S15</sub>	NH <sub>4</sub> -N nach Papierfiltration
NH <sub>4</sub> -N <sub>S0,45</sub>	NH <sub>4</sub> -N nach Membranfiltration
NWA	Nutzwertanalyse
NY	Nylonstrumpf (aus Polyamid-Kunstfaser)
O <sub>2</sub>	Sauerstoff(gehalt)
oTS	organischer Trockenrückstand / Glühverlust
oTS <sub>15</sub>	Glühverlust Feststoffe der Papierfiltration
oTS <sub>200/15</sub>	Summe des Glühverlustes der vorgeschalteten Feststoffseparation (oTS <sub>200</sub> ) und des Glühverlustes der Feststoffe der Papierfiltration (oTS <sub>15</sub> )
P-85 %	85 % -Perzentil
PE	Polyethylen
pH	pH-Wert
pM	Periodenmittelwert
PO <sub>4</sub> -P	Ortho-Phosphatgehalt
PO <sub>4</sub> -P <sub>S15</sub>	PO <sub>4</sub> -P nach Papierfiltration
PO <sub>4</sub> -P <sub>S0,45</sub>	PO <sub>4</sub> -P nach Membranfiltration
PP	Polypropylen (polymerer Kunststoff)

Zeichen	Erläuterung
PVC	Polyvinylchlorid (polymerer Kunststoff)
$q_A$	Flächenbeschickung [m/h]
Q-25 %	1. Quartil
Q-75 %	3. Quartil
$Q_n$	(Tages-) Quartale Q1 bis Q4 in in [ $l/(E \cdot 6h)$ ] Zur Einteilung der 24-Tagesstunden in vier sechsständige Zeitintervalle von 00:00-6:00 Uhr (Q1), 6:00 – 12:00 Uhr (Q2), 12:00 – 18:00 Uhr (Q3) und 18:00 – 24:00 Uhr (Q4)
$Q_d$	täglicher Grauwasservolumenstrom in [ $l/d$ ]
$Q_{d,EW}$	täglicher einwohnerspezifischer Grauwasservolumenstrom in [ $l/(E \cdot d)$ ]
$Q_{h,EW}$	stündlicher einwohnerspezifischer Grauwasservolumenstrom in [ $l/(E \cdot h)$ ]
$q_{h,max,EW}$	einwohnerspezifischer stündlicher Spitzenzufluss
$Q_{T,h,max}$	maximaler stündlicher Grauwasservolumenstroms bei Trockenwetter
$Q_{T,d}$	mittlerer Tagesgrauwasserwasserabfluss bei Trockenwetter
$r_{xy}$	Korrelationskoeffizient
$R^2$	Determinationskoeffizient (Bestimmtheitsmaß)
$S_{15}$	Inhaltsstoffe der Flüssigphase nach Papierfiltration (Subskript)
$S_{0,45}$	gelöste Grauwasserinhaltsstoffe nach der Membranfiltration (Subskript)
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
S. d. T	Stand der Technik
SF	Schutzfilter 500 / 800 $\mu\text{m}$
T	Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]
TKN	Kjeldahl-Stickstoff (Total Kjeldahl Nitrogen)
TN	Gesamtstickstoff (total nitrogen)
$TN_{x200}$	TN der grobdispersen Feststoffe ( $d \geq 200 \mu\text{m}$ )
$TN_c$	TN des homogenisierten Filtratablaufes

Zeichen	Erläuterung
TP	Gesamtphosphor (total phosphorus)
TP <sub>X200</sub>	TP der grobdispersen Feststoffe ( $d \geq 200 \mu\text{m}$ )
TP <sub>C</sub>	TP des homogenisierten Filtratablaufes
TR	Trockenrückstand
t <sub>R</sub>	Durchflußzeit
TS	Trockensubstanzgehalt
TS <sub>15</sub>	Feststofffracht nach Papierfiltration ( $15 \mu\text{m} \leq d < 200 \mu\text{m}$ )
TS <sub>0,45</sub>	Feststofffracht nach Membranfiltration ( $0,45 \mu\text{m} \leq d < 15 \mu\text{m}$ )
TS <sub>200</sub>	Trockensubstanzgehalt der Feststoffe der vorgeschalteten Feststoffseparation
TS <sub>200/15</sub>	Summe des Trockensubstanzgehaltes der vorgeschalteten Feststoffseparation (TS <sub>200</sub> ) und der Feststoffe der Papierfiltration (TS <sub>15</sub> )
TS <sub>200/0,45</sub>	Gesamtrockensubstanzgehalt als Summe des Trockensubstanzgehaltes der vorgeschalteten Feststoffseparation (TS <sub>200</sub> ) und der Feststoffe der Membranfiltration (TS <sub>0,45</sub> )
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VE	vollentsalzt (Wasser)
VIS	Sichtbares Lichtspektrum (visueller Bereich)
X	Feststoffgesamtfracht des betreffenden Parameters (Subskript)
X <sub>200</sub>	grobdisperse Feststofffracht ( $d \geq 200 \mu\text{m}$ ) der vorgeschaltete Feststoffseparation (Subskript)
X <sub>15</sub>	disperse Feststofffracht der Papierfiltration ( $15 \mu\text{m} \leq d < 200 \mu\text{m}$ ) (Subskript)
X <sub>0,45</sub>	kolloidale Feststofffracht der Membranfiltration ( $0,45 \mu\text{m} \leq d < 15 \mu\text{m}$ ) (Subskript)
X <sub>Q,max</sub>	Stundenspitzenfaktor