

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 Infratstruktursysteme (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
eMail: 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

| | |
|---|-----------|
| Danksagung | V |
| Kurzfassung..... | VII |
| Abstract..... | IX |
| Inhaltsverzeichnis..... | XI |
| Tabellenverzeichnis | XVI |
| Abbildungsverzeichnis..... | XXI |
| Abkürzungen und Symbole | XXX |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Veranlassung und Untersuchungsgegenstand | 1 |
| 1.2 Hintergrund und Problemstellung | 4 |
| 1.3 Zielsetzung und Schwerpunkte..... | 5 |
| 1.4 Struktur der Arbeit | 6 |
| 2 Grundlagen – Grauwasser und Probenahme | 7 |
| 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 |
| 3 Literaturstudie zur Charakterisierung von Grauwasser | 24 |
| 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 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.6 | Bewertung von Literaturdaten..... | 29 |
| 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 |
| 3.7 | Literaturdatenauswertung | 45 |
| 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 |
| 3.8 | Zusammenfassung der Literaturdatenanalyse..... | 60 |
| 4 | Auswahl geeigneter Probenahmestandorte | 62 |
| 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 |
| 5 | Probenahme und Analytik..... | 72 |
| 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 |
| 5.5 Zusammenfassung..... | 103 |
| 6 Ergebnisse und Diskussion | 105 |
| 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 Aggregierter 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 Aggregierte 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 Aggregierte 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 Aggregierte 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 Aggregierte 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 | Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse..... | 217 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 222 |
| 7.1 | Zusammenfassung..... | 222 |
| 7.1.1 | Literaturdatenbewertung und -analyse | 224 |
| 7.1.2 | Beurteilung der Probenahmekonstruktion | 226 |
| 7.1.3 | Charakterisierung von Grauwasser | 227 |
| 7.2 | Forschungsbedarf und Ausblick..... | 229 |
| | Literaturverzeichnis | 231 |
| | Anhang | 263 |
| | 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 Grauwasser- werte | 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: | Beschaffenheit von Grauwasser aus dem Sanitärbereich | 11 |
| Tab. 2-2: | Beschaffenheit von Waschmaschinengrauwasser | 12 |
| Tab. 2-3: | Beschaffenheit von Küchengrauwasser | 15 |
| Tab. 2-4: | Qualitätsanforderungen für die Nutzung von Grauwasser in Gebäuden [SenStadt, 2007] | 17 |
| Tab. 2-5: | Matrix zur Bestimmung der Probenahmeart [Gudernatsch, 1983; Rump, 1998] | 21 |
| Tab. 3-1: | Verwendete Suchmaschinen und Fachinformationsportale | 25 |
| Tab. 3-2: | Selektionskriterien und deren Ausprägungen bei der Datenauswahl | 39 |
| Tab. 3-3: | Klassifikation in Qualitätslevel und Gewichtungsfaktoren | 45 |
| Tab. 3-4: | Datensätze ohne Normalverteilung (NV) | 50 |
| Tab. 3-5: | Gewichtete Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen Grauwassermenge | 51 |
| Tab. 3-6: | Gewichtete Literaturdatenauswertung der pH-Werte und Temperaturen | 52 |
| Tab. 3-7: | Gewichtete Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen TS-Frachten | 53 |
| Tab. 3-8: | Gewichtete Literaturdatenauswertung der CSB- und BSB ₅ -Frachten | 55 |
| Tab. 3-9: | Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen TN- und NH ₄ -N-Frachten | 56 |
| Tab. 3-10: | Literaturdatenauswertung der einwohnerspezifischen TP- und PO ₄ -P-Frachten | 58 |
| Tab. 3-11: | Ergebnisse der Literaturdatenauswertung im Vergleich zum DWA-A 272 (2014) | 61 |
| Tab. 4-1: | Bewertungskriterien der NWA mit den zugehörigen Gewichtungsfaktoren | 65 |

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

| | | |
|------------|--|-----|
| Tab. 6-13: | Gemessene Tagesmittelwerte der Grauwassertemperaturen im Vergleich zu den Literaturdaten..... | 146 |
| Tab. 6-14: | pH-Werte in Berlin „Block 6“ | 148 |
| Tab. 6-15: | pH-Werte in Lübeck „Flintenbreite“ | 150 |
| Tab. 6-16: | pH-Werte in der „ökologischen Siedlung am Moorwiesengraben“, Kiel | 151 |
| Tab. 6-17: | pH-Werte am Untersuchungsstandort Weimar | 153 |
| Tab. 6-18: | Aggregierte pH-Werte der Kampagnen BB6, LFB und KMG | 153 |
| Tab. 6-19: | Tagesmittelwerte der gemessenen pH-Werte im Vergleich zu den Literaturdaten | 155 |
| Tab. 6-20: | Trennschärfen der Feststoffseparationsverfahren, Symbolik und abgeleitete Fraktionen | 158 |
| Tab. 6-21: | Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten in „Block 6“ | 160 |
| Tab. 6-22: | Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ | 162 |
| Tab. 6-23: | Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten in KMG..... | 163 |
| Tab. 6-24: | Einwohnerspezifische TS- und oTS-Frachten des EFH in Weimar | 164 |
| Tab. 6-25: | Aggregierte einwohnerspezifischen TS- und oTS- Frachten | 165 |
| Tab. 6-26: | Einwohnerspezifische TS-Frachten der Messkampagnen im Vergleich zu Literaturdaten und dem Orientierungswert des DWA-A 272 (2014) | 168 |
| Tab. 6-27: | Einwohnerspezifische CSB-Frachten in „Block 6“ | 170 |
| Tab. 6-28: | Einwohnerspezifische CSB-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ | 173 |
| Tab. 6-29: | Einwohnerspezifische CSB-Frachten in der „Siedlung am Moorwiesengraben“ in Kiel..... | 175 |
| Tab. 6-30: | Einwohnerspezifische CSB-Frachten im Einfamilienhaus in Weimar | 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 BSB₅ - und BSB₂₀-Frachten in „Block 6“</i> | 182 |
| Tab. 6-34: | <i>Einwohnerspezifische BSB₅ - und BSB₂₀-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> | 183 |
| Tab. 6-35: | <i>Einwohnerspezifische BSB₅ - und BSB₂₀-Frachten in KMG</i> | 184 |
| Tab. 6-36: | <i>Einwohnerspezifische BSB₅ - und BSB₂₀-Frachten im EFH Weimar</i> | 185 |
| Tab. 6-37: | <i>Aggregierte einwohnerspezifische BSB₅ - und BSB₂₀-Frachten</i> | 186 |
| Tab. 6-38: | <i>Einwohnerspezifische BSB₅-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_C-, NH₄-N_{S15}- und NH₄-N_{S0,45}-Frachten in BB6</i> | 190 |
| Tab. 6-40: | <i>Einwohnerspezifische TN- und NH₄-N-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> | 193 |
| Tab. 6-41: | <i>Einwohnerspezifische TN- und NH₄-N-Frachten in „Kieler Scholle e.G.“</i> | 195 |
| Tab. 6-42: | <i>Einwohnerspezifische TN- und NH₄-N-Frachten im EFH in Weimar</i> | 196 |
| Tab. 6-43: | <i>Einwohnerspezifische TN- und NH₄-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_C-, PO₄-P_{S15}- und PO₄-P_{S0,45}-Frachten in BB6</i> | 204 |
| Tab. 6-46: | <i>Einwohnerspezifische TP- und PO₄-P-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“</i> | 207 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tab. 6-47: | <i>Einwohnerspezifische TP- und PO₄-P-Frachten in „Kieler Scholle e.G.“</i> | 209 |
| Tab. 6-48: | <i>Einwohnerspezifische TP- und PO₄-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: | Verknüpfung der Bearbeitungsschritte im Rahmen der Forschungsarbeit..... | 6 |
| Abb. 2-1: | Trinkwasserverwendung und Grauwasseranteile im Haushalt [BDEW, 2014] | 7 |
| Abb. 2-2: | Systematisierung der häuslichen Grauwasserteilströme nach Herkunftsquellen | 9 |
| Abb. 2-3: | Arten von Proben und Probenahmetechnik | 20 |
| Abb. 2-4: | Fehlerquellen in der Analytik [nach Franklin aus Cammann, 2001]..... | 22 |
| Abb. 3-1: | Geografische Herkunft der Grauwasserdatensätze (links) und Verteilung auf europäische Länder (rechts). Korrespondierende Anzahl der Datensätze in der Klammerung. | 28 |
| Abb. 3-2: | Prozentualer Anteil der Grauwasserarten in der Datensammlung (Anzahl der Datensätze in Klammerung)..... | 28 |
| Abb. 3-3: | Schematischer Ablauf der Literaturdatenbewertung und –auswertung..... | 38 |
| Abb. 3-4: | Hauptkriterien und Unterscheidungsmerkmale zur Bewertung von Literatur-daten | 41 |
| Abb. 3-5: | Kriterienspezifischer Paarvergleich für die festgelegten Unterscheidungsmerkmale der Bewertungskriterien | 43 |
| Abb. 3-6: | Datenbestand Grauwasser für die statistische Analyse nach Ländern (links) und Qualitätsstufen (rechts, absolute Anzahlen in Klammern). | 46 |
| Abb. 3-7: | Schematischer Ablauf der Literaturdatenauswertung | 48 |
| Abb. 3-8: | Erläuterung der statistischen Kennwerte im Box-Whisker Plot..... | 49 |
| Abb. 3-9: | Einwohnerspezifischer Grauwasservolumenstrom | 50 |
| Abb. 3-10: | Box-Plots der pH-Werte (links) und Temperaturen (rechts) auf Grundlage der gewichteten Literaturdaten..... | 52 |

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

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

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

| | | |
|------------|--|-----|
| Abb. 6-27: | Tagesgang des einwohnerspezifischen Volumenstroms in Weimar an Wochenenden..... | 122 |
| Abb. 6-28: | Aggregierter einwohnerspezifischer Volumenstrom..... | 123 |
| Abb. 6-29: | Tagesgang des aggregierten einwohnerspezifischen Volumenstroms | 124 |
| Abb. 6-30: | Tagesgang der aggregierten einwohnerspezifischen Durchflüsse an Wochen-tagen..... | 124 |
| Abb. 6-31: | Tagesgang der aggregierten einwohnerspezifischen Durchflüsse an Wochen-enden | 125 |
| Abb. 6-32: | Aggregierte einwohnerspezifische Volumenströme in 6-h-Intervallen | 126 |
| Abb. 6-33: | Überlagerung der Durchflusstagesganglinien für die stündliche n Median- (Mitte) sowie Minimal- (unten) und Maximalwerte (oben) | 131 |
| Abb. 6-34: | Box-Whisker-Plots der Grauwassertemperaturen der Kampagnen BB6 I, II und III..... | 132 |
| Abb. 6-35: | Temperaturprofil und Volumenstrom BB6 I | 133 |
| Abb. 6-36: | Temperaturprofil und Volumenstrom BB6 II | 134 |
| Abb. 6-37: | Temperaturprofil und Volumenstrom BB6 III | 134 |
| Abb. 6-38: | Kumuliertes Temperaturprofil und Volumenstrom $BB6_{ges}$ | 134 |
| Abb. 6-39: | Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in Berlin „Block 6“. BB6 I (links), BB6 II (mitte), BB6 III (rechts)..... | 135 |
| Abb. 6-40: | Box-Whisker-Plots der Grauwassertemperaturen der Kampagnen in Lübeck | 136 |
| Abb. 6-41: | Temperaturprofil und Volumenstrom LFB I | 137 |
| Abb. 6-42: | Temperaturprofil und Volumenstrom LFB II..... | 137 |
| Abb. 6-43: | Kumuliertes Temperaturprofil und Volumenstrom LFB_{ges} | 138 |
| Abb. 6-44: | Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in Lübeck. Links: LFB I, Rechts LFB II | 138 |
| Abb. 6-45: | Box-Whisker-Plot der Grauwassertemperatur (links) und Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in KMG (rechts)..... | 139 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Abb. 6-46: | Temperaturprofil und Volumenstrom KMG | 140 |
| Abb. 6-47: | Box-Whisker-Plot der Grauwassertemperatur (links) und Korrelation zwischen Temperatur und Durchfluss in Weimar (rechts) | 141 |
| Abb. 6-48: | Temperaturprofil und Volumenstrom im Weimarer EFH | 142 |
| Abb. 6-49: | Box-Whisker-Plot der aggregierten Grauwassertemperatur | 142 |
| Abb. 6-50: | Temperaturprofil und Volumenstrom der aggregierten Datenreihe | 144 |
| Abb. 6-51: | Überlagerung der Temperaturen für die stündlichen Median- (Mitte) sowie Minimal- (unten) und Maximalwerte (oben) | 145 |
| Abb. 6-52: | Kumulierter pH-Wert in Berlin „Block 6“ | 148 |
| Abb. 6-53: | Tagesgang der überlagerten pH-Werte in 1-Stunden- Intervallen für Berlin „Block 6“ | 149 |
| Abb. 6-54: | Kumulierter pH-Wert in „Flintenbreite“ | 149 |
| Abb. 6-55: | Tagesgang der überlagerten pH-Werte in 1-Stunden- Intervallen für Lübeck „Flintenbreite“ | 150 |
| Abb. 6-56: | Kumulierter pH-Wert in KMG | 151 |
| Abb. 6-57: | Tagesgang der überlagerten pH-Werte in 1-Stunden- Intervallen für KMG | 152 |
| Abb. 6-58: | pH-Wert in Weimar | 152 |
| Abb. 6-59: | Aggregierte pH-Werte | 153 |
| Abb. 6-60: | Tagesgang der aggregierten pH-Werte in 1-Stunden- Intervallen | 154 |
| Abb. 6-61: | Probenahmestellen und Untersuchungsfraktionen | 156 |
| Abb. 6-62: | Einwohnerspezifische Frachten der Parameter $TS_{200/15}$, $oTS_{200/15}$ und $TS_{200/0,45}$ in „Block 6“ | 159 |
| Abb. 6-63: | Einwohnerspezifische $TS_{200/15}$ -, $oTS_{200/15}$ -, und $TS_{200/0,45}$ -Frachten in LFB | 161 |
| Abb. 6-64: | $TS_{200/15}$ -, $oTS_{200/15}$ - und $TS_{200/0,45}$ -Frachten in KMG | 162 |
| Abb. 6-65: | Einwohnerspezifische $TS_{200/15}$ -, $oTS_{200/15}$ - und $TS_{200/15}$ - Frachten in WE | 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_C-Frachten in Berlin „Block 6“ in 6-Stunden-Intervallen</i> | 191 |
| Abb. 6-86: | <i>Boxplots der einwohner-spezifischen TN-, TN_C-, NH₄-N_{S15}- und NH₄-N_{S0,45}-Frachten in LFB</i> | 192 |
| Abb. 6-87: | <i>TN_C-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ in 6-Stunden-Intervallen</i> | 194 |
| Abb. 6-88: | <i>Boxplots der TN-, TN_C-, NH₄-N_{S15}- und NH₄-N_{S0,45}-Frachten in KMG</i> | 194 |
| Abb. 6-89: | <i>TN_C-Frachten in der Kieler Scholle e.G. in 6-Stunden-Intervallen</i> | 195 |
| Abb. 6-90: | <i>Boxplot TN-, TN_C-, NH₄-N_{S15}- und NH₄-N_{S0,45}-Frachten in WE</i> | 196 |
| Abb. 6-91: | <i>Aggregierte TN-, TN_C-, NH₄-N_{S15}- und NH₄-N_{S0,45}-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_C-, PO₄-P_{S15}- und PO₄-P_{S0,45}-Frachten in BB6</i> | 203 |
| Abb. 6-96: | <i>TP_C-Frachten in Berlin „Block 6“ in 6-Stunden-Intervallen</i> | 205 |
| Abb. 6-97: | <i>Boxplots der einwohner-spezifischen TP-, TP_C-, PO₄-P_{S15}- und PO₄-P_{S0,45}-Frachten in LFB</i> | 206 |
| Abb. 6-98: | <i>TP_C-Frachten in Lübeck „Flintenbreite“ in 6-Stunden-Intervallen</i> | 208 |
| Abb. 6-99: | <i>Boxplot TP-, TP_C-, PO₄-P_{S15}- und PO₄-P_{S0,45}-Frachten in KMG</i> | 208 |
| Abb. 6-100: | <i>TP_C-Frachten in der Kieler Scholle e.G. in 6-Stunden-Intervallen</i> | 209 |
| Abb. 6-101: | <i>Boxplot TP-, TP_C-, PO₄-P_{S15}- und PO₄-P_{S0,45}-Frachten in WE</i> | 210 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Abb. 6-102: | Aggregierte TP-, TP_C - PO_4 - P_{S15} - und PO_4 - $P_{S0,45}$ - Frachten | 211 |
| Abb. 6-103: | Prozentuale Anteile der Phosphorfraktionen bezogen auf die Partikelgrößen | 212 |
| Abb: 6-104: | Tagesgang der aggregierten TP-Frachten in 6-Stunden- Intervallen | 213 |
| Abb: 6-105: | Vergleich der Tagesgänge der TP-Frachten in 6- Stunden-Intervallen | 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 _n | Biochemischer Sauerstoffbedarf in n Tagen |
| BUW | Bauhaus-Universität Weimar |
| C | homogenisierte Grauwasserflüssigphase (Subskript) |
| c _w | Wärmekapazität von flüssigem Wasser (4,18 KJ/(kg•K)) |
| Cl ⁻ | Chloridionenkonzentration [mg/l] |
| CSB _{xxx} | Chemischer Sauerstoffbedarf |
| CSB _{x200} | CSB der grobdispersen Feststoffe (d ≥ 200 µm) |
| CSB _c | CSB des homogenisierten Filtratablaufes |
| CSB _{s15} | CSB nach Papierfiltration |
| CSB _{s0,45} | 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 Einwohnergleichwert EGW) |
| FK | Fehlerklasse |
| FM | Feuchtmasse $[g/(E \cdot d)]$, $[g/d]$ |
| 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_4-N | Ammoniumstickstoff |
| NH_4-N_{515} | NH_4-N nach Papierfiltration |
| $NH_4-N_{50,45}$ | NH_4-N nach Membranfiltration |
| NWA | Nutzwertanalyse |
| NY | Nylonstrumpf (aus Polyamid-Kunstfaser) |
| O_2 | Sauerstoff(gehalt) |
| oTS | organischer Trockenrückstand / Glühverlust |
| oTS_{15} | Glühverlust Feststoffe der Papierfiltration |
| $oTS_{200/15}$ | Summe des Glühverlustes der vorgeschalteten Feststoffseparation (oTS_{200}) und des Glühverlustes der Feststoffe der Papierfiltration (oTS_{15}) |
| P-85 % | 85 % -Perzentil |
| PE | Polyethylen |
| pH | pH-Wert |
| pM | Periodenmittelwert |
| PO_4-P | Ortho-Phosphatgehalt |
| PO_4-P_{515} | PO_4-P nach Papierfiltration |
| $PO_4-P_{50,45}$ | PO_4-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•6h)] Zur Einteilung der 24-Tagesstunden in vier sechsstündige 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•d)] |
| $Q_{h,EW}$ | stündlicher einwohnerspezifischer Grauwasservolumenstrom in [l/(E•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 μ m |
| T | Temperatur [° C] |
| TKN | Kjeldahl-Stickstoff (Total Kjeldahl Nitrogen) |
| TN | Gesamtstickstoff (total nitrogen) |
| TN_{x200} | TN der grobdispersen Feststoffe ($d \geq 200 \mu$ m) |
| TN_C | TN des homogenisierten Filtratablaufes |

| Zeichen | Erläuterung |
|------------------------|---|
| TP | Gesamtposphor (total phosphorus) |
| TP _{x200} | TP der grobdispersen Feststoffe ($d \geq 200 \mu\text{m}$) |
| TP _C | TP des homogenisierten Filtratablaufes |
| TR | Trockenrückstand |
| t _R | Durchflußzeit |
| TS | Trockensubstanzgehalt |
| TS ₁₅ | Feststofffracht nach Papierfiltration ($15 \mu\text{m} \leq d < 200 \mu\text{m}$) |
| TS _{0,45} | Feststofffracht nach Membranfiltration ($0,45 \mu\text{m} \leq d < 15 \mu\text{m}$) |
| TS ₂₀₀ | Trockensubstanzgehalt der Feststoffe der vorgeschalteten Feststoffseparation |
| TS _{200/15} | Summe des Trockensubstanzgehaltes der vorgeschalteten Feststoffseparation (TS ₂₀₀) und der Feststoffe der Papierfiltration (TS ₁₅) |
| TS _{200/0,45} | Gesamttrockensubstanzgehalt als Summe des Trockensubstanzgehaltes der vorgeschalteten Feststoffseparation (TS ₂₀₀) und der Feststoffe der Membranfiltration (TS _{0,45}) |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency |
| VE | vollentsalzt (Wasser) |
| VIS | Sichtbares Lichtspektrum (visueller Bereich) |
| X | Feststoffgesamtfracht des betreffenden Parameters (Subskript) |
| X ₂₀₀ | grobdisperse Feststofffracht ($d \geq 200 \mu\text{m}$) der vorgeschaltete Feststoffseparation (Subskript) |
| X ₁₅ | disperse Feststofffracht der Papierfiltration ($15 \mu\text{m} \leq d < 200 \mu\text{m}$) (Subskript) |
| X _{0,45} | kolloidale Feststofffracht der Membranfiltration ($0,45 \mu\text{m} \leq d < 15 \mu\text{m}$) (Subskript) |
| X _{Q,max} | Stundenspitzenfaktor |