

# DWA-Themen

## **Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen**

Oktober 2016 · T4/2016, korrigierte Fassung November 2017

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# DWA-Themen

## **Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen**

Oktober 2016 · T4/2016, korrigierte Fassung November 2017



Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

### Impressum

**Herausgeber und Vertrieb:**

DWA Deutsche Vereinigung für  
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef, Deutschland  
Tel.: +49 2242 872-333  
Fax: +49 2242 872-100  
E-Mail: [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de)  
Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

**Korrigierte Fassung:**

November 2017

**Satz:**

DWA

**Druck:**

druckhaus köthen GmbH & Co KG

**ISBN:**

978-3-88721-409-8 (Print)

978-3-88721-410-4 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2016

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

## Vorwort

Die Bemessung von Abwasserbehandlungsanlagen unter abweichenden abwassertechnischen und klimatischen Verhältnissen in anderen Ländern erfordert eine Ergänzung der bestehenden, vorrangig für mitteleuropäische Verhältnisse erarbeiteten Bemessungsregeln gemäß dem DWA-Regelwerk. Um diese Lücke zu schließen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Forschungsprojekt „Exportorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich Abwasser – Validierung an technischen Anlagen“ (EXPOVAL) zur Entwicklung von international einsetzbaren Bemessungsansätzen gefördert. Zielregionen sind warme und kalte Klimazonen, die häufig auch Entwicklungs-, Schwellen- und Transformationsländer (ESTL) umfassen.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts wurden in der DWA-Arbeitsgruppe BIZ-11.3 „Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen“ für den vorliegenden Themenband in Form von Bemessungsansätzen analog zum bestehenden DWA-Regelwerk aufbereitet. Ergänzend wurden praxisnahe Berechnungsbeispiele zu allen Verfahren erstellt (Anhang B).

Neben der Erweiterung und Anpassung der Bemessungsansätze an die besonderen Randbedingungen im internationalen Kontext wurden die Bemessungsalgorithmen in diesem Themenband für das Reinigungsziel des Kohlenstoffabbaus einheitlich auf den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) umgestellt, der u. a. eine Bilanzierung des Schlammanfalls ermöglicht.

Die DWA-Arbeitsgruppe dankt dem BMBF für die finanzielle Förderung, ohne die die Erstellung des vorliegenden Themenbandes und die zugrunde liegenden Untersuchungen nicht möglich gewesen wären.

Prof. Dr.-Ing. Holger Scheer  
Sprecher der DWA-Arbeitsgruppe BIZ-11.3 „Bemessung  
von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen“

Essen, Oktober 2016

## Verfasser

Das Arbeitsblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe BIZ-11.3 „Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen“ im Fachausschuss „Internationale Zusammenarbeit in der Wasserwirtschaft“ erstellt.

Folgende Mitglieder und Gäste der Arbeitsgruppe BIZ-11.3 haben an der Erstellung des Themenbandes mitgewirkt:

BAUERFELD, Katrin	Dr.-Ing., Braunschweig
BEIER, Maike	Dr.-Ing., Hannover
CORNEL, Peter	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt (stellv. Sprecher der Arbeitsgruppe)
DELLBRÜGGE, ROSA	Dipl.-Ing., Braunschweig
DICHTL, Norbert	Prof. Dr.-Ing., Braunschweig
FUHRMANN, Tim	Dr.-Ing., Essen (Schriftleitung Themenband)
FUCHS, Heiner	Dipl.-Ing. (FH), Mayen
FUCHS, Leonhard	Dipl.-Ing., Mayen
GRIEB, Alexander	Dipl.-Ing., Frankfurt (Projektbeirat)
GÜNTHERT, Wolfgang	Prof. Dr.-Ing., Neubiberg (Projektbeirat)
JEKEL, Martin	Prof. Dr.-Ing., Berlin (Projektbeirat)
HARTWIG, Peter	Prof. Dr.-Ing., Hannover
HENRICH, Christian-D.	Dr. Dipl.-Ing. (FH), Hürth
HERZER, Daniel	Dipl.-Ing., Bochum
KARL, Volker	Dipl.-Ing., Bad Nauheim
KLINGSPOR, Gunnar	Dipl.-Ing., Hamburg
KNEIDL, Stefan	M. Sc., Darmstadt
LÜBKEN, Manfred	Dr.-Ing., Bochum
MARGGRAFF, Martin	Dipl.-Wi.-Ing., Hürth
MIESKE, ROBERT	M. Eng., Braunschweig
NEIS, Uwe	Prof. Dr.-Ing., Hamburg
NELTING, Klaus	M. Sc., Hannover
OLES, Jürgen	Dr.-Ing., Gladbeck
ORTH, Hermann	Prof. Dr.-Ing., Bochum (Projektbeirat)
PARIS, Stefania	Dr.-Ing., Berching
ROSENWINKEL, Karl-Heinz	Prof. Dr.-Ing., Hannover
RUDOLPH, Karl-Ulrich	Prof. Dr. mult., Witten
SANDER, Stephan	M. Sc., Darmstadt
SCHEER, Holger	Prof. Dr.-Ing., Essen (Sprecher der Arbeitsgruppe)
SEEGER, Michael	M. Sc., Stuttgart
STEINMETZ, Heidrun	Prof. Dr.-Ing., Stuttgart
WAGNER, Martin	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt
WEIL, Sebastian	M. Sc., Witten
WICHERN, Marc	Prof. Dr.-Ing., Bochum
WULF, Peter	Dipl.-Ing., Essen

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

KNITSCHKY, Roland	Dipl.-Geol., Hennef Abteilung Bildung und Internationale Zusammenarbeit
-------------------	--

**Hauptverfasser der einzelnen Abschnitte im vorliegenden Themenband**

Folgende Hauptverfasser sind für die genannten Abschnitte verantwortlich:

1	Anwendungsbereich	SCHEER, Holger; FUHRMANN, Tim; WULF, Peter
2	Symbole und Abkürzungen	FUHRMANN, Tim
3	Eingangsgrößen und Reinigungsanforderungen	SCHEER, Holger; FUHRMANN, Tim; WULF, Peter
4	Verfahrensübergreifende Gesichtspunkte	GRIEB, Alexander; KARL, Volker
5	Mechanische Vorbehandlung	DELLBRÜGGE, Rosa; MIESKE, Robert; DICHTL, Norbert
5.4	Vorklärung	WULF, Peter
5.5	Abluftbehandlung	PUSCHMANN, Marco
5.6	Lamellenabscheider	MARGGRAFF, Martin; HENRICH, Christian-D.
6	Belebungsanlagen	WICHERN, Marc; LÜBKEN, Manfred; HERZER, Daniel; WULF, Peter; SCHEER, Holger
7	Belüftungssysteme	SANDER, Stephan; WAGNER, Martin
8	Tropfkörperanlagen	HENRICH, Christian-D.; SEEGER, Michael
9	Anaerobanlagen	NELTING, Klaus; ROSENWINKEL, Karl-Heinz
10	Abwasserteichanlagen	WEIL, Sebastian; FUCHS, Heiner; FUCHS, Leonhard; RUDOLPH, Karl-Ulrich
11	Anaerobe Schlammstabilisierung	MIESKE, Robert; BAUERFELD, Katrin; DICHTL, Norbert
12	Solare Klärschlamm-trocknung	DELLBRÜGGE, Rosa; BAUERFELD, Katrin; DICHTL, Norbert
13	Elimination von Helminthen-Eiern und Desinfektion	KNEIDL, Stefan; CORNEL, Peter
14	Hinweise zu betrieblichen Rahmenbedingungen bei der Anlagenplanung	GRIEB, Alexander; KARL, Volker
14.5	Auswirkungen unterschiedlicher Organisationsmodelle	RUDOLPH, Karl-Ulrich
A	Beispiele für Zulaufdaten und Ablaufanforderungen	SCHEER, Holger; FUHRMANN, Tim; WULF, Peter

### **Erarbeitung des Themenbandes im Rahmen des EXPOVAL-Verbundprojekts**

Wesentliche Inhalte des Themenbandes wurden im Forschungsverbundprojekt „Exportorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich Abwasser – Validierung an technischen Anlagen“ (EXPOVAL) erarbeitet. Das Verbundprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter den Förderkennzeichen 02WA1252A – 02WA1252S gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des vorliegenden Themenbandes liegt bei oben benannten Hauptverfassern.

Die Gesamtkoordination und wissenschaftlich-technische Begleitung des EXPOVAL-Verbundprojekts oblag der Emscher Wassertechnik GmbH:

SCHEER, Holger	Prof. Dr.-Ing., Essen
FUHRMANN, Tim	Dr.-Ing., Essen
WULF, PETER	Dipl.-Ing., Essen

Die Gesamtkoordination wurde unterstützt durch wissenschaftliche Subkoordinatoren an der Technischen Universität Darmstadt und der Leibniz Universität Hannover:

BEIER, Maike	Dr.-Ing., Hannover
CORNEL, Peter	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt
ROSENWINKEL, KARL-HEINZ	Prof. Dr.-Ing., Hannover
WAGNER, MARTIN	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>Verfasser</b> .....	<b>4</b>
<b>Bilderverzeichnis</b> .....	<b>13</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>20</b>
1.1 Zielsetzung.....	20
1.2 Geltungsbereich.....	20
1.3 Mitgeltendes DWA-Regelwerk .....	20
<b>2 Symbole und Abkürzungen</b> .....	<b>21</b>
2.1 Formelzeichen und Symbole .....	21
2.2 Sonstige Abkürzungen.....	25
<b>3 Eingangsgrößen und Reinigungsanforderungen</b> .....	<b>26</b>
3.1 Abschätzung und Verifikation von Bemessungsdaten .....	26
3.1.1 Begrenzte Verfügbarkeit und Qualität von Eingangsdaten .....	26
3.1.2 Typische Zulaufdaten.....	27
3.1.3 Fraktionierung von Feststoffen und chemischem Sauerstoffbedarf im Zulauf .....	29
3.1.4 Salzkonzentration .....	30
3.1.5 Tagesganglinien der Zulaufparameter.....	31
3.2 Anforderungen an den Ablauf.....	32
3.2.1 Reinigungsziele.....	32
3.2.2 Überwachungsmethoden.....	32
<b>4 Verfahrensübergreifende Gesichtspunkte</b> .....	<b>34</b>
4.1 Vorbemerkungen .....	34
4.2 Besondere Verhältnisse vor Ort .....	35
4.3 Besondere Abwasserinhaltsstoffe und Reinigungsanforderungen.....	38
4.4 Einzusetzende Verfahren.....	39
4.5 Stufenweiser Ausbau zur Kapazitätsausweitung.....	40
<b>5 Mechanische Vorbehandlung</b> .....	<b>41</b>
5.1 Einleitung .....	41
5.2 Rechen .....	41
5.2.1 Hinweise zur Bemessung .....	41
5.2.2 Planerische und betriebliche Aspekte .....	42
5.3 Sand- und Fettfang .....	43
5.3.1 Hinweise zur Bemessung .....	43
5.3.2 Planerische und betriebliche Aspekte .....	44
5.4 Vorklärung .....	45
5.4.1 Vorbemerkungen .....	45
5.4.2 Verfahrensspezifische Formelzeichen .....	45
5.4.3 Bemessungshinweise.....	46
5.4.4 Planerische und betriebliche Aspekte .....	47

5.5	Abluftbehandlung .....	48
5.6	Lamellenabscheider .....	49
<b>6</b>	<b>Belebungsanlagen</b> .....	<b>50</b>
6.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	50
6.2	Erweiterung gegenüber der üblichen Bemessung in Deutschland.....	50
6.3	Verfahrensspezifische Formelzeichen .....	51
6.4	Bemessung .....	55
6.4.1	Ablauf der Bemessung .....	55
6.4.2	Verfahrenswahl.....	56
6.4.3	Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs .....	57
6.4.4	Berechnung des Schlammalters.....	57
6.4.4.1	Anlagen mit dem Reinigungsziel Kohlenstoffelimination (ohne gezielte Nitrifikation) ....	57
6.4.4.2	Anlagen mit dem Reinigungsziel Nitrifikation .....	59
6.4.4.3	Anlagen mit dem Reinigungsziel Nitrifikation und Denitrifikation .....	62
6.4.4.4	Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung .....	62
6.4.5	Berechnung der Schlammproduktion (Überschusschlammproduktion).....	63
6.4.6	Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau .....	64
6.4.7	Vergleich von Sauerstoffbedarf und Sauerstoffdargebot .....	64
6.4.8	Phosphorinkorporation und Hydrolyse .....	65
6.4.9	Bemessung der Nachklärung .....	66
6.4.10	Sauerstoffbedarf für die Nitrifikation .....	66
6.5	Planerische und betriebliche Aspekte .....	67
6.6	Kostenverursachende Größen.....	68
<b>7</b>	<b>Belüftungssysteme</b> .....	<b>70</b>
7.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	70
7.2	Verfahrensspezifische Formelzeichen .....	71
7.3	Bemessung .....	73
7.3.1	Vorbemerkungen .....	73
7.3.2	Ablauf der Bemessung von Druckbelüftungssystemen.....	73
7.3.3	Ablauf der Bemessung von Oberflächenbelüftungssystemen .....	76
7.4	Erweiterung gegenüber der üblichen Bemessung in Deutschland.....	77
7.4.1	Bemessungslastfall Belebungsanlagen (Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme)....	77
7.4.2	Stoßfaktoren $f_c$ und $f_N$ für höhere und tiefere Bemessungsschlammalter (Druck- und Oberflächenbelüftungssysteme).....	77
7.4.3	Salzkorrekturterme (Druckbelüftungssysteme).....	78
7.4.4	Annahme von $\alpha$ -Werten (Druckbelüftungssysteme).....	80
7.4.5	Salzkorrekturterme (Oberflächenbelüftungssysteme).....	80
7.4.6	Annahme von $\alpha$ -Werten (Oberflächenbelüftungssysteme).....	81
7.5	Planerische und betriebliche Aspekte .....	81
7.6	Kostenverursachende Größen.....	83
<b>8</b>	<b>Tropfkörperanlagen</b> .....	<b>84</b>
8.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	84
8.2	Verfahrensspezifische Formelzeichen .....	84
8.3	Bemessung .....	87

8.3.1	Grundlagen der Tropfkörperbemessung .....	87
8.3.2	Ablauf der Bemessung, Methodik .....	89
8.3.3	Eingangsdaten für die Bemessung .....	90
8.3.4	Reinigungsziel Kohlenstoffoxidation .....	90
8.3.5	Reinigungsziel Nitrifikation .....	91
8.3.6	Reinigungsziel Kohlenstoffoxidation kombiniert mit Nitrifikation.....	92
8.3.7	Sicherheitskonzept .....	93
8.3.8	Wasserverteilung, Hydraulik und Spülkraft .....	94
8.3.9	Überschussschlamm .....	96
8.3.10	Säurekapazität .....	97
8.3.11	Toleranz gegen erhöhte Salzgehalte.....	98
8.3.12	Simultandenitrifikation .....	98
8.3.13	Ausgabewerte der Bemessung .....	98
8.4	Planerische und betriebliche Aspekte .....	100
8.4.1	Vorbehandlung.....	100
8.4.2	Nachbehandlung.....	100
8.4.3	Konfigurationsmöglichkeiten .....	101
8.4.4	Füllmaterial .....	102
8.4.5	Tragrost, Raum unterhalb des Füllmaterials und Sohle .....	105
8.4.6	Luftzufuhr .....	105
8.4.7	Tropfkörperspülung.....	106
8.4.8	Ursachen bei Betriebsstörungen und Lösungsvorschläge.....	107
8.5	Kostenverursachende Größen.....	108
<b>9</b>	<b>Anaerobanlagen .....</b>	<b>109</b>
9.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	109
9.1.1	Anaerobe Behandlungsverfahren für kommunales Abwasser.....	109
9.1.2	Einsatz kommunaler UASB-Reaktoren.....	109
9.1.3	Aufbau kommunaler UASB-Reaktoren .....	110
9.1.4	Unterscheidung zwischen kommunalen und industriellen UASB-Reaktoren .....	111
9.1.5	Treibhausgasemissionen und Potenzial für die Energierückgewinnung .....	114
9.1.5.1	Emissionsquellen .....	114
9.1.5.2	Gelöstes Methan im Abfluss des UASB-Reaktors .....	116
9.1.5.3	Energierückgewinnungspotenzial.....	116
9.2	Erweiterung der üblichen Bemessungsansätze .....	118
9.3	Verfahrensspezifische Formelzeichen .....	119
9.4	Bemessung .....	123
9.4.1	Ablauf der Bemessung .....	123
9.4.2	Geometrie (Schritt 1) .....	123
9.4.2.1	Reaktorgeometrie und -größe (Schritt 1.1).....	123
9.4.2.2	Nachweise der hydraulischen Belastung (Schritt 1.2).....	125
9.4.2.3	Schlammmasse (Schritt 1.3) .....	126
9.4.3	CSB-Elimination (Schritt 2) .....	127
9.4.3.1	Elimination des gelösten CSB (Schritt 2.1) .....	127
9.4.3.2	Abbau des partikulären CSB (Schritt 2.2).....	128
9.4.3.3	Abtrieb von partikulärem CSB (Schritt 2.3).....	128

9.4.4	Feststoffbilanz (Schritt 3) .....	129
9.4.4.1	Feststoffabtrieb (Schritt 3.1).....	129
9.4.4.2	Hydrolyse der organischen Feststoffe (Schritt 3.2).....	130
9.4.4.3	Akkumulation der Feststoffe (Schritt 3.3) .....	130
9.4.4.4	Überschussschlammabzug (Schritt 3.4) .....	131
9.4.4.5	Schlammalter (Schritt 3.5) .....	132
9.4.5	Methanproduktion (Schritt 4).....	132
9.4.5.1	Gelöste Methanmenge im Ablauf des UASB-Reaktors (Schritt 4.1) .....	133
9.4.5.2	Fassbare Methanmenge im Dreiphasenabscheider (Schritt 4.2) .....	134
9.5	Nachbehandlungsschritte .....	134
9.5.1	Elimination von Kohlenstoff und Feststoffen .....	134
9.5.2	Nährstoffelimination.....	135
9.5.3	Desinfektion .....	135
9.5.4	Rückgewinnung von gelöstem Methan .....	135
9.6	Planerische und betriebliche Aspekte .....	136
9.6.1	Vorbehandlung.....	136
9.6.2	Zulaufverteilung.....	136
9.6.3	Reaktorform und -höhe .....	138
9.6.4	Phasentrennung (3PA).....	138
9.6.5	Peripheres Gassystem.....	140
9.6.6	Schlammmanagement .....	140
9.6.7	Inbetriebnahme .....	141
9.7	Kostenverursachende Größen.....	141
<b>10</b>	<b>Abwasserteichanlagen .....</b>	<b>143</b>
10.1	Einleitung und Anwendungsbereiche.....	143
10.1.1	Anwendung .....	143
10.1.2	Typen von Abwasserteichen .....	143
10.2	Erweiterung gegenüber der üblichen Bemessung in Deutschland.....	144
10.3	Verfahrensspezifische Formelzeichen .....	144
10.4	Bemessung .....	145
10.4.1	Grundlegende Hinweise zur Bemessung .....	145
10.4.2	Maßgebende Temperatur .....	146
10.4.3	Anaerobteiche.....	146
10.4.3.1	Vorbemerkungen .....	146
10.4.3.2	Ablauf der Bemessung .....	146
10.4.3.3	Bemessungsschritte.....	147
10.4.4	Fakultativteiche .....	149
10.4.4.1	Vorbemerkungen .....	149
10.4.4.2	Ablauf der Bemessung .....	149
10.4.4.3	Bemessungsschritte.....	150
10.4.5	Belüftete Teiche.....	153
10.4.5.1	Ablauf der Bemessung .....	153
10.4.5.2	Schrittweise temperaturabhängige Bemessung .....	153
10.4.5.3	Sauerstoffverbrauch, erforderliche Sauerstoffzufuhr und Belüftungstechnik .....	155
10.4.6	Schönungsteiche .....	158

10.5	Hinweise zur Stickstoffelimination.....	158
10.5.1	Stickstoffelimination in Abwasserteichen.....	158
10.5.2	Abschätzung der N-Ablaufkonzentrationen.....	159
10.5.3	Separate Stickstoffelimination.....	160
10.6	Hinweise zur Abwasserdesinfektion.....	160
10.7	Planerische und betriebliche Aspekte.....	160
10.7.1	Grundsätzliches zur Planung von Abwasserteichanlagen.....	160
10.7.2	Einfluss von besonders niedrigen Temperaturen.....	162
10.7.3	Hydraulische Gestaltung.....	162
10.7.4	Nachbehandlung mit Filterdämmen.....	163
10.7.5	Betrieb von Abwasserteichen.....	164
10.7.5.1	Entschlammung der Teiche.....	164
10.7.5.2	Sonstige betriebliche Aspekte.....	164
10.7.6	Verdunstung bei besonders hohen Temperaturen.....	165
10.8	Kostenverursachende Größen.....	165
10.9	Hinweise zu symbiotischen Algen-Bakterien-Teichen als Weiterentwicklung der konventionellen Teichsysteme.....	167
10.9.1	Verfahrenskonzeption.....	167
10.9.2	Praktische Empfehlungen für Auslegung und Betrieb des SAB-Verfahrens.....	168
<b>11</b>	<b>Anaerobe Schlammstabilisierung.....</b>	<b>170</b>
11.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	170
11.2	Verfahrensspezifische Formelzeichen.....	172
11.3	Erweiterung gegenüber der üblichen Bemessung in Deutschland.....	174
11.3.1	Bemessungsregeln für die anaerobe Schlammstabilisierung.....	174
11.3.2	Anaerobe Schlammstabilisierung bei niedrigen und hohen Temperaturen.....	174
11.3.3	Angepasste Faultemperaturen.....	175
11.3.4	Faulbehälter ohne Wärmedämmung.....	175
11.4	Bemessung.....	176
11.4.1	Verfahrensspezifische Eingangsgrößen und Anwendungsbereiche.....	176
11.4.2	Ablauf der Bemessung.....	182
11.4.3	Wesentliche Bemessungsschritte.....	184
11.4.4	Faulbehälter ohne Wärmedämmung.....	187
11.5	Planerische und betriebliche Aspekte.....	188
11.6	Kostenverursachende Größen.....	191
11.7	Schlammwässerung.....	194
<b>12</b>	<b>Solare Klärschlamm-trocknung.....</b>	<b>196</b>
12.1	Einleitung und Anwendungsbereich.....	196
12.2	Erweiterung gegenüber der üblichen Bemessung in Deutschland.....	198
12.3	Verfahrensspezifische Formelzeichen.....	198
12.4	Bemessung.....	199
12.4.1	Erläuterung des Bemessungsansatzes.....	199
12.4.2	Ablauf der Bemessung.....	200
12.4.3	Erläuterung der Eingangswerte.....	201
12.4.4	Ermittlung der potenziellen Verdunstung ( $E_{p,SKT}$ ).....	204
12.4.5	Berechnung der Soll-Verdunstung ( $E_{soll}$ ).....	205

12.4.6	Berechnung der Trocknungsfläche ( $A_{\text{Trocknung}}$ ) .....	206
12.4.7	Überprüfung des Flächenbedarfs .....	206
12.4.8	Ermittlung der Feststoffflächenbelastung ( $B_{\text{TR,a}}$ ) .....	207
12.4.9	Ermittlung der Luftwechselrate ( $n$ ) .....	207
12.5	Planerische und betriebliche Aspekte .....	210
12.6	Kostenverursachende Größen.....	211
12.7	Verwertung und Entsorgung getrockneter Schlämme .....	212
12.7.1	Inhaltsstoffe des getrockneten Klärschlammes.....	212
12.7.2	Verwertung getrockneter Schlämme .....	213
12.7.2.1	Aktuelle Entsorgungsarten .....	213
12.7.2.2	Landwirtschaftliche Verwertung .....	214
<b>13</b>	<b>Elimination von Helminthen-Eiern und Desinfektion .....</b>	<b>216</b>
13.1	Einleitung und Anwendungsgrenzen.....	216
13.1.1	Vorbemerkungen .....	216
13.1.2	Verfahrensspezifische Kurzzeichen .....	216
13.1.3	Prävalenz von Helminthen und Einflussgrößen für deren Vorkommen.....	217
13.1.4	Helminthen-Eier im Abwasserbehandlungsprozess .....	222
13.2	Verfahren zur Desinfektion von Abwasser zur Wiederverwendung .....	226
13.3	Bemessung von Mikrosiebanlagen zur Entfernung von Helminthen-Eiern .....	230
13.3.1	Empfehlungen zur Analyse von Helminthen-Eiern.....	230
13.3.2	Empfehlungen zur Bemessung von Mikrosiebanlagen .....	232
13.3.3	Planerische und betriebliche Aspekte .....	234
13.3.4	Kostenverursachende Größen.....	236
<b>14</b>	<b>Hinweise zu betrieblichen Rahmenbedingungen bei der Anlagenplanung .....</b>	<b>236</b>
14.1	Planungsrelevante Aspekte des Anlagenbetriebs .....	236
14.2	Qualifikation des Betriebspersonals .....	236
14.3	Betriebsanweisungen und Inbetriebnahme .....	237
14.4	Betriebsmittel und Ersatzteile .....	237
14.5	Auswirkungen unterschiedlicher Organisationsmodelle .....	238
<b>Anhang A</b>	<b>Beispiele für Zulaufdaten und Ablaufanforderungen .....</b>	<b>241</b>
A.1	Beispiel für Zulaufdaten im internationalen Kontext.....	241
A.2	Beispiele für Ablaufanforderungen im internationalen Kontext .....	242
A.3	Reinigungsziele und Überwachungsmethode in Deutschland .....	243
A.4	Reinigungsziele und Überwachungsmethode in der Europäischen Union .....	244
<b>Anhang B</b>	<b>Berechnungsbeispiele .....</b>	<b>246</b>
B.1	Eingangsdaten und Reinigungsanforderungen für die Berechnungsbeispiele.....	246
B.2	Berechnungsbeispiel für eine Vorklärung .....	248
B.2.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen .....	248
B.2.2	Bemessung der Vorklärung .....	249
B.3	Berechnungsbeispiel für eine Belebungsanlage .....	250
B.3.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen .....	250
B.3.2	Bemessungsgrundlagen .....	250
B.3.3	Berechnung der Schlammmasse .....	251

B.3.4	Bemessung der Belebung .....	255
B.3.5	Bemessung von Belüftungssystemen .....	255
B.4	Berechnungsbeispiel für eine Tropfkörperanlage .....	260
B.4.1	Ermittlung der benötigten Eingangsgrößen.....	260
B.4.2	Start der Iteration und erste Iterationsschritte (ohne Rezirkulation).....	262
B.4.3	Dimensionierung der Nachklärung .....	264
B.4.4	Ergebnisprüfung .....	264
B.4.5	Korrektur der hydraulischen Parameter .....	264
B.4.6	Fortsetzung der Iteration (mit Rezirkulation) .....	265
B.4.7	Einfluss des Salzgehalts und Sicherheitskonzept .....	267
B.4.8	Erneute Ergebnisprüfung .....	267
B.4.9	Berechnung der Ausgabegrößen und Darstellung der Tropfkörperdimensionen .....	268
B.5	Berechnungsbeispiel für einen UASB-Reaktor .....	270
B.5.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen.....	270
B.5.2	Schrittweise Bemessung .....	272
B.6	Berechnungsbeispiel für eine Abwasserteichanlage.....	275
B.6.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen.....	275
B.6.2	Bemessung der Anaerobteiche .....	276
B.6.3	Bemessung der Fakultativteiche.....	277
B.7	Berechnungsbeispiel für eine Verfahrenskombination aus Anaerobteichen und Tropfkörpern.....	278
B.7.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen.....	279
B.7.2	Bemessung der Anaerobteiche .....	279
B.7.3	Bemessung der Tropfkörper .....	280
B.8	Berechnungsbeispiel für die anaerobe Klärschlammbehandlung .....	283
B.8.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen.....	284
B.8.2	Schrittweise Bemessung .....	284
B.9	Berechnungsbeispiel für die solare Klärschlamm-trocknung .....	287
B.9.1	Zusammenstellung der benötigten Eingangsgrößen.....	287
B.9.2	Bemessung .....	288
<b>Literatur</b>	.....	<b>290</b>

## Bilderverzeichnis

Bild 3.1:	Exemplarische Tagesganglinien des Abwasserzuflusses und ausgewählter Zuflusskonzentrationen für eine Kläranlage mit 100.000 E .....	31
Bild 3.2:	Vergleich der Bewertung bei der Überwachung mittels Stichproben und Tagesmittelwerten anhand eines Beispiels zum CSB-Tagesgang im Ablauf einer Kläranlage.....	33
Bild 5.1:	Sinkgeschwindigkeitsverteilung $v_s$ von Quarzsand .....	44
Bild 5.2:	Hydrolyserate bei anaerober Hydrolyse in Abhängigkeit von der Abwassertemperatur ...	48
Bild 6.1:	Ablauf der Bemessung einer Belebungsanlage .....	56
Bild 6.2:	Maximale Netto-Wachstumsraten der Nitrosomonas und Nitrobacter .....	58

Bild 6.3:	Kritischer Punkt bei 30 °C für die ammonium- und nitritoxidierende Biomasse, Nitrobacter; waagerechte Linien geben den Abstand des kritischen Punktes vom Ausschwemmpunkt wieder .....	59
Bild 6.4:	Stabilisierungsdauer in Abhängigkeit von der Temperatur .....	63
Bild 7.1:	Ablauf der Bemessung von Druckbelüftungssystemen .....	74
Bild 7.2:	Ablauf der Bemessung von Oberflächenbelüftungssystemen .....	76
Bild 8.1:	Aufteilung der Tropfkörperhöhe in $n$ Segmente gleicher Höhe entsprechend eines Schichtenmodells .....	88
Bild 8.2:	Aufteilung der Prozesse entlang der Tropfkörperhöhe .....	88
Bild 8.3:	Ablauf der Bemessung von Tropfkörpern.....	90
Bild 8.4:	Einstufige Tropfkörperanlage zum Kohlenstoffabbau .....	101
Bild 8.5:	Einstufige Tropfkörperanlage zum Kohlenstoffabbau und/oder zur Nitrifikation.....	101
Bild 8.6:	Mehrstufige Tropfkörperanlage zum Kohlenstoffabbau und/oder zur Nitrifikation .....	102
Bild 8.7:	Mehrstufige Tropfkörperanlage zum weitergehenden Stickstoffabbau .....	102
Bild 9.1:	Aufbau eines UASB-Reaktors .....	110
Bild 9.2:	Darstellung offener und abgedeckter UASB-Systeme.....	115
Bild 9.3:	Potenzieller Verlust von gelöstem Methan im Absetzbereich eines UASB-Reaktors in Abhängigkeit von der CSB-Zulaufkonzentration, Temperatur und Methankonzentration im Faulgas.....	116
Bild 9.4:	Ablauf der Bemessung für kommunale UASB-Reaktoren.....	123
Bild 9.5:	Funktionalitätszonen in einem kommunalen UASB-Reaktor .....	124
Bild 9.6:	Baugruppen von UASB-Reaktoren .....	142
Bild 10.1:	Ablauf der Bemessung von Anaerobteichen.....	147
Bild 10.2:	Richtwerte für die prozentuale CSB-Reduktion in Abhängigkeit der Abwassertemperatur .....	147
Bild 10.3:	Ablauf der Bemessung von Fakultativteichen .....	149
Bild 10.4:	Zulässige CSB-Flächenbelastung in Fakultativteichen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur und der Solarstrahlung .....	151
Bild 10.5:	Ablauf der Bemessung von belüfteten Abwasserteichen.....	153
Bild 10.6:	Zulässige CSB-Raumbelastung für belüftete Teiche (für verschiedene $k_1$ und $k_2$ ).....	154
Bild 10.7:	Schätzung CSB-Abbaugrad für belüftete Teiche (einstufig, $k_2 = 1,0$ ).....	155
Bild 10.8:	Natürlicher Stickstoffabbau in Teichen .....	159
Bild 10.9:	Ausrichtung des Teiches in Bezug auf die vorherrschende Windrichtung .....	161
Bild 10.10:	Konstruktive Elemente eines Teichdeiches.....	161
Bild 10.11:	Beispiel für den Einbau eines horizontal durchströmten Filterdammes.....	163
Bild 10.12:	Kostenverursachende Größen bei Abwasserteichen; Fakultativteiche für Anlagen bis 30.000 E.....	166
Bild 10.13:	Spezifische Investitionskosten pro Einwohner .....	166
Bild 10.14:	Symbiotische Wechselwirkungen zwischen Algen und Bakterienbiomasse .....	167
Bild 10.15:	Schematische Darstellung des Betriebs vom SAB-Verfahren .....	168
Bild 11.1:	Grundoperationen der anaeroben Klärschlammstabilisierung .....	170
Bild 11.2:	Schema eines eiförmigen Faulbehälters.....	171
Bild 11.3:	Ausschnitt einer Weltkarte mit potenziellen Standorten für Faulbehälter ohne Wärmedämmung.....	176
Bild 11.4:	Bereich mit hinreichendem Stabilisierungsergebnis in Relation zur Faulzeit und Faultemperatur .....	182

Bild 11.5:	Vorgehensweise zur Bemessung einer Faulstufe .....	183
Bild 11.6:	Überschlägige Anteile der Investitionskosten einer Kläranlage für 100.000 E, mit Details zur Schlammbehandlung .....	192
Bild 11.7:	Stromverbrauch einer Kläranlage mit Fokus auf der Schlammbehandlung.....	193
Bild 12.1:	Schema der solaren Klärschlamm-trocknung .....	196
Bild 12.2:	Foto einer solaren Klärschlamm-trocknung .....	196
Bild 12.3:	Ablauf der Bemessung für die solare Klärschlamm-trocknung .....	201
Bild 12.4:	Vergleich der berechneten potenziellen Verdunstung und der tatsächlich gemessenen Verdunstung.....	205
Bild 12.5:	Abhängigkeit der Temperatur von der Bestrahlung.....	205
Bild 12.6:	Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte innen von der Luftwechselrate bei verschiedenen relativen Luftfeuchten außen und $T_e = 20\text{ °C}$ .....	209
Bild 12.7:	Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte innen von der Luftwechselrate bei verschiedenen Außentemperaturen und $\Phi_e = 55\%$ .....	210
Bild 12.8:	Prozentuale Verteilung der Investitionskosten für eine Anlage zur solaren Klärschlamm-trocknung .....	211
Bild 12.9:	Klärschlamm-Verwertung in Europa 2012 .....	213
Bild 13.1:	(A) Gesamtprävalenz der STH mit Bezug auf das jeweilige Land, (B) Anteil der landesspezifischen Prävalenz an der globalen Prävalenz .....	217
Bild 13.2:	Prävalenz der bodenübertragbaren Helminthen nach Spezies: (A) Hakenwürmer, (B) <i>Ascaris lumbricoides</i> , (C) <i>Trichuris trichiura</i> .....	218
Bild 13.3:	Übersicht zu den Eiern häufig auftretender Helminthenspezies (Größe in $\mu\text{m}$ ).....	218
Bild 13.4:	Eier der Spezies <i>Ascaris suum</i> , <i>Trichuris trichiura</i> und Ei der Spezies der Hakenwürmer .....	219
Bild 13.5:	Hüllenstruktur mit „Mammillations“ der Eier von <i>Ascaris</i> sp. ....	220
Bild 13.6:	Prozentuale Abtötung von Eiern der Spezies <i>Ascaris</i> spp. ....	221
Bild 13.7:	Feststoffbezogene Abtötung von Eiern der Spezies <i>Ascaris lumbricoides</i> in Abhängigkeit von der Temperatur und einer Kontaktzeit von 120 min .....	221
Bild 13.8:	Abscheidung von Helminthen-Eiern in Abwasserteichanlagen in Abhängigkeit der Aufenthaltsdauer .....	225
Bild 13.9:	Ablaufschema eines Analyseverfahrens für Helminthen-Eier ohne Inkubation.....	232
Bild 13.10:	Ablaufschema der Bemessung .....	233
Bild 13.11:	Ei der Spezies <i>Ascaris suum</i> und Ersatzpartikel (auf $50\ \mu\text{m}$ Gewebe), Eier der Spezies <i>Trichuris trichiura</i> (auf $10\ \mu\text{m}$ Gewebe) .....	234
Bild 13.12:	PE-Partikel, blau und rot, $38\ \mu\text{m}$ bis $45\ \mu\text{m}$ , spezifische Dichte: $1,08\ \text{g/cm}^3$ .....	235
Bild 14.1:	Organisationsmodelle für die Abwasserentsorgung .....	238
Bild B.1:	Fließbild zur Verfahrenskombination von Abwasserteich und Tropfkörper .....	278

## Tabellenverzeichnis

Formelzeichen.....	21
Chemische Elemente und Verbindungen, Summenparameter.....	24
Indizes für Ort oder Zweck der Probenahme.....	25
Tabelle 3.1: Beispiele für unterschiedliche Zulaufqualitäten in verschiedenen Ländern.....	28
Tabelle 3.2: Erfahrungswerte für einige Fraktionen des chemischen Sauerstoffbedarfs im Zulauf gemäß Arbeitsblatt DWA-A 131 (2016) .....	30
Tabelle 4.1: Örtliche Besonderheiten und resultierende planerische Konsequenzen.....	36

## Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen

Tabelle 4.2:	Erfüllung von Reinigungszielen durch ausgewählte Abwasserreinigungsverfahren..	40
Tabelle 5.1:	Bemessungsdaten für belüftete Sandfänge in KAUB (2010) .....	43
Tabelle 5.2:	Abscheideleistung $\eta_{VK}$ der Vorklärung in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit $t_R$ bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss $Q_{T,d,aM}$ .....	46
Tabelle 5.3:	Orientierungswerte für die Durchflusszeit $t_R$ für unterschiedliche Reinigungsziele und Schlammbehandlungsverfahren .....	46
Tabelle 6.1:	Bemessungsschlammalter für Anlagen mit dem Reinigungsziel der Kohlenstoffelimination (ohne gezielte Nitrifikation) .....	57
Tabelle 6.2:	Prozessfaktor in Abhängigkeit der KN-Zulaufschwankungen für einen Temperaturbereich von 5 °C bis 30 °C .....	60
Tabelle 6.3:	Aerobes Bemessungsschlammalter für Anlagengrößen bis 20.000 E in Abhängigkeit der Temperatur und der Ammoniumstickstoffablaufwerte im Tagesmittel .....	61
Tabelle 6.4:	Aerobes Bemessungsschlammalter für Anlagengrößen über 100.000 E in Abhängigkeit der Temperatur und der Ammoniumstickstoffablaufwerte im Tagesmittel .....	61
Tabelle 6.5:	$\alpha_{DB}$ in Abhängigkeit von der Temperatur.....	65
Tabelle 7.1:	Stoßfaktoren für den Sauerstoffverbrauch.....	78
Tabelle 7.2:	$\alpha$ -Werte für feinblasige Druckbelüftungssysteme in Abhängigkeit des Behandlungsverfahrens und des Reinigungsziels je Bemessungslastfall.....	80
Tabelle 8.1:	Eingangsgößen für die Tropfkörperbemessung .....	90
Tabelle 8.2:	Anwendung der Gujer-und-Boller-Gleichung im Übergangsbereich .....	93
Tabelle 8.3:	Richtwerte für SK-Faktoren (Zwischenwerte sind zu interpolieren) .....	95
Tabelle 8.4:	Ausgabewerte der Tropfkörperbemessung.....	98
Tabelle 8.5:	Beispiele von $k_{20}$ -Werten verschiedener Füllkörpertypen in $(m^3/(h \cdot m^2))^{0,5}$ für eine Füllmaterialhöhe von 5,2 m .....	104
Tabelle 9.1:	Empfohlene rechnerische hydraulische Aufenthaltszeit gemäß unterschiedlicher Bemessungshinweise .....	112
Tabelle 9.2:	Empfohlene Aufstromgeschwindigkeit aus unterschiedlichen Bemessungshinweisen .....	113
Tabelle 9.3:	Gegenüberstellung der theoretisch maximal möglichen gelösten Methanmenge mit tatsächlich gemessenen Mengen in großtechnischen UASB-Reaktoren bei 20 °C bis 25 °C.....	117
Tabelle 9.4:	Minimale rechnerische hydraulische Aufenthaltszeit im Faulraum $t_{R,Faulraum}$ bei einer Höhe des Faulraums von $h_{Faulraum} = 2,5 - 3,0$ m und in Abhängigkeit von der Temperatur .....	125
Tabelle 9.5:	Schätzwerte für die mittlere organische Schlammkonzentration $X_{oTS,Faulraum}$ in Abhängigkeit von der Faulraum- und Schlammбетhöhe ( $GV_{TS} = 0,6$ ) .....	126
Tabelle 9.6:	Ablaufkonzentration des gelösten CSB $S_{CSB,AR}$ in Abhängigkeit von der Zulaufkonzentration $S_{CSB,ZR}$ .....	127
Tabelle 9.7:	Ablaufkonzentration des partikulären CSB $X_{CSB,AR}$ in Abhängigkeit von der Aufstromgeschwindigkeit $v_{Auf}$ .....	128
Tabelle 9.8:	Feststoffkonzentration $X_{TS,ÜS}$ in verschiedenen Faulraumhöhen als Funktion der gesamten Schlammбетhöhe; Schlamm Spiegelgrenze 0,5 m unterhalb der Unterkante des Dreiphasenabscheiders ( $X_{oTS} \leq 5$ g/l) .....	131
Tabelle 9.9:	Empfohlenes Schlammalter $t_{TS,soll}$ in Abhängigkeit von der Temperatur .....	132
Tabelle 9.10:	Anhaltswerte für die fassbare Methanmenge im Dreiphasenabscheider $Q_{d,CH_4,3PA}$ in Abhängigkeit der Abwassertemperatur.....	133
Tabelle 9.11:	Anhaltswerte für die Sättigungskonzentration von gelöstem Methan $C_{S,CH_4}$ ( $Nm^3$ CH <sub>4</sub> -gel/ $m^3$ Abwasser) an der Unterkante des Dreiphasenabscheiders.....	133

Tabelle 9.12: Zusammenstellung von Auslegungswerten für die mechanische Vorreinigung bei kommunalen UASB-Reaktoren.....	136
Tabelle 9.13: Auslegung der Zuflussverteilung.....	137
Tabelle 9.14: Empfohlene Flächenbeschickung pro Zuflussrohr in Abhängigkeit von der Schlammstruktur und Raumbelastung .....	138
Tabelle 9.15: Auslegung der Gasfassung .....	139
Tabelle 9.16: Bemessungswerte für Aufstromgeschwindigkeiten und hydraulische Aufenthaltszeiten im Dreiphasenabscheider für kommunales Abwasser .....	139
Tabelle 9.17: Wichtigste Kostenpositionen bei der anaeroben Kommunalabwasserbehandlung....	142
Tabelle 10.1: Typen und Bezeichnungen von Abwasserteichen.....	143
Tabelle 10.2: Kombinationsbeispiele für mehrstufige Abwasserteichanlagen .....	145
Tabelle 10.3: Richtwerte für die zulässige CSB-Raumbelastung und die prozentuale CSB-Elimination.....	147
Tabelle 10.4: Übliche Größenordnungen für die geometrische Auslegung der Anaerobteiche..	148
Tabelle 10.5: Übliche Größenordnungen für die geometrische Auslegung der Fakultativteiche	151
Tabelle 10.6: Richtwerte für den Abbaugrad der CSB-Konzentration im Ablauf einer Anlage mit belüfteten Abwasserteichen (Ablauf aus dem Schönungsteich) bei Einhaltung der zulässigen CSB-Raumbelastung .....	153
Tabelle 10.7: Einflussfaktoren für die Bestimmung der CSB-Raumbelastung von belüfteten Abwasserteichen .....	154
Tabelle 10.8: Übliche Größenordnungen für die geometrische Auslegung der belüfteten Abwasserteiche .....	155
Tabelle 10.9: Richtwerte für bauliche Elemente eines Abwasserteiches.....	161
Tabelle 10.10: Empfehlungen zur Schlammräumung .....	164
Tabelle 11.1: Temperaturbereiche und Faulzeiten für die Klärschlammfäulung .....	174
Tabelle 11.2: Zuordnung wichtiger Kennwerte der Schlammarten.....	178
Tabelle 11.3: Anhaltswerte für Faulgasausbeuten bezogen auf die zugeführte Fracht an Organik ..	179
Tabelle 11.4: Zusammenfassende Liste möglicher Co-Substrate.....	180
Tabelle 11.5: Feststoffgehalte von Substraten im Zulauf der Fäulung.....	185
Tabelle 11.6: Erweiterung der nach DWA-M 368 empfohlenen Bemessungsschlammalter .....	185
Tabelle 11.7: Zusammenstellung spezifischer Kosten für die Schlammbehandlung einer Beispielkläranlage mit 100.000 E.....	194
Tabelle 11.8: Unterscheidungsmerkmale verschiedener Entwässerungsaggregate .....	195
Tabelle 12.1: Größenordnungen für mittlere Jahreswerte der Bestrahlung $H_6$ .....	202
Tabelle 12.2: Transmissionswerte $\tau$ verschiedener Eindeckungsmaterialien .....	202
Tabelle 12.3: Beispiele für die Verdunstungsleistung unterschiedlicher Wärmequellen im halbtechnischen Maßstab .....	203
Tabelle 12.4: Temperaturerhöhung $\Delta T$ aufgrund des Gewächshauseffekts in Abhängigkeit von den Klimabedingungen des Standorts.....	204
Tabelle 12.5: Aufschlag $\Delta T$ zur Berücksichtigung des Unterschieds zwischen Außenklima und Innenklima (DELLBRÜGGE 2017) .....	207
Tabelle 12.6: Veränderung der Schlamminhaltsstoffe über den Trocknungsprozess .....	212
Tabelle 12.7: Grenzwerte und Empfehlungen für den landwirtschaftlichen Einsatz von Klärschlamm .....	214
Tabelle 13.1: Übliche, maximale Überlebensdauer relevanter Mikroorganismen und Helminthen-Eier .....	219
Tabelle 13.2: Übliche Größenbereiche von Eiern häufig auftretender Helminthenspezies .....	223

Tabelle 13.3:	Vergleich der spezifischen Dichte und der mittleren Sedimentationsgeschwindigkeiten unterschiedlicher Helminthenspezies .....	223
Tabelle 13.4:	Reduktionsraten für Helminthen-Eier in verschiedenen Verfahren der Abwasserreinigung.....	224
Tabelle 13.5:	Reduktion (Abtötung) von Helminthen-Eiern bei verschiedenen Schlammbehandlungsverfahren .....	226
Tabelle 13.6:	Konzentrationswerte einiger pathogener Organismen im Abwasser von Entwicklungsländern und Nicht-Entwicklungsländern .....	227
Tabelle 13.7:	Zusammenfassende Darstellung gängiger Desinfektionsverfahren .....	228
Tabelle 13.8:	Potenzielle Wirkung von Abwasserbehandlungsverfahren auf pathogene Organismen.....	229
Tabelle 13.9:	Darstellung des Rückhalts an handelsüblichen Siebgeweben .....	234
Tabelle A.1:	Zulaufwerte für die Bemessung der Kläranlage gemäß Ausschreibungsunterlagen.....	241
Tabelle A.2:	Auszug aus den Ablaufanforderungen .....	242
Tabelle A.3:	Konzentrationen im Zulauf und Ablaufanforderungen.....	242
Tabelle A.4:	Konzentrationen im Zulauf und Ablaufanforderungen.....	243
Tabelle A.5:	Anforderungen für kommunales Abwasser gemäß deutscher Abwasserverordnung.....	244
Tabelle A.6:	Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasseranlagen gemäß europäischer Richtlinie 91/271/EWG .....	244
Tabelle A.7:	Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasseranlagen in empfindlichen Gebieten gemäß europäischer Richtlinie 91/271/EWG .....	245
Tabelle A.8:	Zulässige Anzahl von Proben mit Abweichungen gemäß europäischer Richtlinie 91/271/EWG.....	245
Tabelle B.1:	Zulaufwerte als Eingangswerte für die Berechnungsbeispiele .....	246
Tabelle B.2:	Abwassertemperaturen, Salzgehalte und Ablaufanforderungen für die Berechnungsbeispiele (Bemessungsfall 1 bis 3) .....	246
Tabelle B.3:	Übersicht Berechnungsbeispiele zur Abwasser- und Schlammbehandlung .....	247
Tabelle B.4:	Exemplarische Tagesganglinien von Abwasserzufluss und Konzentrationen von Verschmutzungsparametern bei einer Kläranlage für 100.000 E .....	247
Tabelle B.5:	Eingangswerte für die Bemessung der Vorklärung.....	248
Tabelle B.6:	Zulauffrachten, Abscheideleistung und resultierende Frachten im Ablauf der Vorklärung.....	249
Tabelle B.7:	Eingangswerte für die Bemessung der Belebungsanlage.....	250
Tabelle B.8:	Eingangswerte für die Bemessung des Belüftungssystems .....	256
Tabelle B.9:	Berechnung von <i>SOTR</i> bei Druckbelüftungssystemen .....	258
Tabelle B.10:	Berechnung von <i>SOTR</i> bei Oberflächenbelüftungssystemen.....	260
Tabelle B.11:	Eingangswerte für die Bemessung des Tropfkörpers .....	261
Tabelle B.12:	Eingangswerte für den Bemessungsalgorithmus.....	262
Tabelle B.13:	Start der Iteration: $k_{20,5,5m} = 0,00233 \text{ (m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{)}^{0,5}$ angepasst auf eine Füllmaterialhöhe von 5,5 m; Segmenthöhe ( $\epsilon$ ) für die Berechnung = 0,1 m .....	263
Tabelle B.14:	Konzentrationen im Tropfkörperzulauf und -ablauf nach $n$ Iterationsschritten; Rezirkulation = 100 %, $q_A = 1,10 \text{ m/h}$ , $k_{20,5,5m} = 0,00231 \text{ (m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{)}^{0,5}$ und $T_W = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .....	265
Tabelle B.15:	Konzentrationen im Tropfkörperzulauf und -ablauf nach Abschluss der Iteration; Rezirkulation = 100 %, $q_A = 1,10 \text{ m/h}$ , $k_{20,5,8m} = 0,00227 \text{ (m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{)}^{0,5}$ und $T_W = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .....	266

Tabelle B.16: Segmentweise Berechnung nach Abschluss der Iteration mit Rezirkulationsrate = 100 %, $q_A = 1,10$ m/h, $k_{20,5,8m} = 0,00227$ (m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )) <sup>0,5</sup> und $T_W = 30$ °C.....	266
Tabelle B.17: Konzentrationen im Tropfkörperzulauf und -ablauf nach Anwendung des Sicherheitskonzepts; Füllmaterialhöhe = 6,1 m; Rezirkulation = 100 %, $q_A = 1,10$ m/h; $k_{20,6,1m} = 0,00222$ (m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )) <sup>0,5</sup> und $T_W = 30$ °C.....	268
Tabelle B.18: Ausgabegrößen (Ablauf Nachklärbecken) .....	269
Tabelle B.19: Dimensionierung der Tropfkörper und Nachklärung.....	270
Tabelle B.20: Eingangsgrößen für die Bemessung des UASB-Reaktors .....	270
Tabelle B.21: Übersicht Iteration, um $t_{TS}$ einzuhalten.....	274
Tabelle B.22: Eingangsgrößen für die Bemessung einer Abwasserteichanlage .....	276
Tabelle B.23: Eingangsgrößen für die Bemessung des Anaerobteichs .....	279
Tabelle B.24: Dimensionierung der Anaerobteiche .....	280
Tabelle B.25: Eingangsgrößen für die Bemessung des Tropfkörpers .....	280
Tabelle B.26: Eingangswerte für den Bemessungsalgorithmus (ohne Rezirkulation) .....	281
Tabelle B.27: Konzentrationen im Tropfkörperzulauf und -ablauf; Füllmaterialhöhe = 5,8 m; Rezirkulation = 50 %, $q_A = 1,10$ m/h; $A_{spez} = 125$ m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ; $k_{20,5,8m} = 0,00227$ (m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )) <sup>0,5</sup> und $T_W = 30$ °C.....	282
Tabelle B.28: Ergebniswerte aus der Bemessung der Tropfkörper (Werte für den Ablauf der Nachklärung) .....	282
Tabelle B.29: Dimensionierung der Tropfkörper und Nachklärung.....	283
Tabelle B.30: Eingangsgrößen für die Bemessung der anaeroben Schlammbehandlung .....	284
Tabelle B.31: Eingangsparameter zur Berechnung der solaren Klärschlamm-trocknung .....	287

# 1 Anwendungsbereich

## 1.1 Zielsetzung

Die deutsche Wasserwirtschaft verfügt über langjährige Erfahrungen in der Abwasserreinigung. Das in Deutschland bewährte DWA-Regelwerk für die Bemessung von Kläranlagen berücksichtigt jedoch nicht die im Ausland, insbesondere in anderen Klimazonen, teilweise deutlich abweichenden Randbedingungen und ist deshalb nur eingeschränkt auf dortige Anwendungsfälle übertragbar. Ziel der Erarbeitung des vorliegenden Themenbandes ist daher die Ergänzung des in Deutschland gültigen Regelwerks um Bemessungsansätze für einen weiten, internationalen Anwendungsbereich.

Der Fokus liegt auf den international gängigen Verfahren der kommunalen Abwasserreinigung, wie dem Belebungs-, Tropfkörper- und Anaerobverfahren sowie Abwasserteichen. Die Bemessungsansätze berücksichtigen u. a. den Einfluss der Temperatur und die Auswirkungen einer auf Tagesmittelwerten basierenden Überwachung der Ablaufwerte. Ergänzend werden auch Teilbereiche der Klärschlammbehandlung und Abwasserdesinfektion betrachtet.

Mit den in diesem Themenband gegebenen Hinweisen und Berechnungsbeispielen zur Bemessung von Kläranlagen sollen Anwender in die Lage versetzt werden, in Abhängigkeit von den geforderten spezifischen Ablaufanforderungen weltweit Abwasserbehandlungsanlagen bemessen zu können.

## 1.2 Geltungsbereich

Das in Deutschland geltende DWA-Regelwerk für die Bemessung von Abwasserbehandlungsanlagen ist für die in Deutschland bzw. Mitteleuropa herrschenden klimatischen und abwassertechnischen Randbedingungen ausgelegt (z. B. Belebungsanlagen, Arbeitsblatt DWA-A 131 2016: Abwassertemperatur von 8 °C bis 20 °C). Die im vorliegenden Themenband beschriebenen Bemessungsgänge gelten dagegen für folgende, deutlich erweiterte Anwendungsbereiche:

- kommunales Abwasser mit international üblichen Zulaufkonzentrationen,
- Abwassertemperaturen von 5 °C bis 30 °C,
- dauerhaft erhöhte Salzkonzentrationen (schwerpunktmäßig NaCl) bis 10 g/l.

Angaben zu ergänzenden verfahrensspezifischen Anwendungsgrenzen erfolgen in den einzelnen Bemessungsabschnitten 5 bis 13.

Anforderungen an eine gezielte Phosphorelimination werden in diesem Themenband nicht explizit betrachtet. Zu chemisch-physikalischen Verfahren der Phosphorelimination wird auf die übliche Auslegung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 131 (2016) und Arbeitsblatt DWA-A 202 (2011) verwiesen.

## 1.3 Mitgeltendes DWA-Regelwerk

Der vorliegende Themenband stellt für einige Behandlungsverfahren eine direkte Ergänzung des bestehenden DWA-Regelwerks dar – die entsprechenden Arbeits- und Merkblätter sind daher ergänzend hinzuzuziehen. Die betrifft insbesondere das Belebungsverfahren (Arbeitsblatt DWA-A 131 2016), Belüftungssysteme (Merkblatt DWA-M 229-1 2017) und die anaerobe Schlammbehandlung (Merkblatt DWA-M 368 2014).

## 2 Symbole und Abkürzungen

### 2.1 Formelzeichen und Symbole

Nachfolgend sind zur Verdeutlichung der Bezeichnungssystematik verfahrensübergreifende Formelzeichen und Symbole zusammengestellt. Ergänzend sind in den einzelnen Bemessungsabschnitten 5 bis 13 Zusammenstellungen der jeweils verfahrensspezifisch relevanten Symbole und Formelzeichen angeordnet.

Die Wahl der Kurzzeichen in diesem Themenband erfolgt gemäß Arbeitsblatt DWA-A 198 „Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen“ (2003). Für Übersetzungen der Bezeichnungen wird auf DIN EN 1085 (2007), DIN EN 16323 (2014) und das DWA-Fachwörterbuch (DWA 2007) verwiesen.

#### Formelzeichen

Kurzzeichen	Einheit	Bezeichnung	Kurzzeichen, englisch	Bezeichnung, englisch
$EGW_{XXX,ZZ}$	E	Einwohnergleichwert, z. B. zur Charakterisierung von betrieblichem Abwasser, mit Bezugsparameter XXX und zugehöriger einwohnerspezifischer Fracht, z. B. $EGW_{BSB,60}$	$PE_{XXX,ZZ}$	population equivalent, e. g. for the characterisation of industrial wastewater referred to the specific load of parameter XXX, e. g. $PE_{BSB,60}$
$EW$	E	Einwohnerwert ( $EW = EZ + EGW$ )	$PT$	total number of inhabitants and population equivalents ( $PT = P + PE$ )
$EZ$	E	Einwohnerzahl	$P$	population, number of inhabitants
$ISV$	ml/g	Schlammindex	$SVI$	sludge volume index
$LF$	mS/cm	elektrische Leitfähigkeit	$EC$	electrical conductivity
$oTR$	g/l	organischer Trockenrückstand	$VS$	volatile solids
$Q_{T,d,aM}$	m <sup>3</sup> /d	täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{DW,d,aM}$	daily wastewater inflow with dry weather as annual mean
$Q_{XXX,d}$	m <sup>3</sup> /d	täglicher Abfluss des Parameters XXX	$Q_{ES,d}$	daily flow of parameter XXX
$t_R$	h, d	Durchflusszeit, Aufenthaltszeit	$HRT$	hydraulic retention time
$T_L$	°C	Lufttemperatur	$T_{air}$	air temperature
$T_W$	°C	Wassertemperatur	$T_w$	water temperature
$TR_{XXX}$	kg/m <sup>3</sup> , kg/kg, M.- %	Anteil des Trockenrückstandes bzw. der Trockenmasse (Abdampfrückstand) des XXX-Schlammes	$TS_{XXX}$ , $DS_{XXX}$	share of total solids of XXX sludge, dried solid content