

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 229-1

Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen
– Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung

September 2017, korrigierte Fassung: Stand Februar 2021

VORSCHAU

VORSCHAU

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 229-1

Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen
– Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung

September 2017, korrigierte Fassung: Stand Februar 2021

VORSCHAU

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. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-88721-512-5 (Print)
978-3-88721-513-2 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA, 1. Auflage, korrigierte Fassung: Stand Februar 2021, Hennef 2021

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts 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 Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen zählen mit großem Abstand zu den größten Energieverbrauchern einer Kläranlage. Je nach verfahrenstechnischer Auslegung einer Belebungsanlage entfallen zwischen 50 % und 80 % des Gesamtenergiebedarfs der Abwasserreinigung auf die Belüftung und Durchmischung. Daher kommt einer energieeffizienten Planung nicht nur bei der erstmaligen Erstellung einer Belebungsanlage, sondern zunehmend auch bei anstehenden Reinvestitionsmaßnahmen eine große Bedeutung zu. In diesem Sinne will das vorliegende Merkblatt Hinweise zur verfahrens- und energieoptimierten Auslegung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen bei Belebungsanlagen geben.

Das vorliegende Merkblatt greift die grundlegenden Ansätze zur Bemessung von Belebungsanlagen und Ermittlung des Sauerstoffbedarfs aus dem Regelwerk der DWA auf und führt sie konsequent fort. Es werden sowohl für Druck- wie auch für Oberflächenbelüftungssysteme konkrete Bemessungsvorgaben formuliert, sodass für die jeweiligen Belüftungssysteme eine detaillierte Auslegung erfolgen kann.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der inhaltlichen Gestaltung dieses Merkblatts liegt auf der detaillierten Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Belüftung und Durchmischung einschließlich konkreter Hinweise zur Anordnung von Belüftungseinrichtungen und Durchmischungsaggregaten in Abhängigkeit von der Beckenform. Angesichts der vielfältigen Beckenformen von Belebungsanlagen ist es aber nicht Ziel dieses Merkblatts, allgemein gültige Hinweise für jede mögliche Beckengeometrie zu geben, sondern vielmehr durch das Aufzeigen von möglichen Wechselwirkungen dem Planer Hinweise und Richtlinien zu vermitteln, die es ihm ermöglichen, eine entsprechend optimierte Lage für Durchmischung und Belüftung festzulegen.

Eine verfahrenstechnisch und energetisch optimierte Auslegung bedeutet, dass neben einer unter Berücksichtigung der Grundsätze dieses Merkblatts erfolgten Auslegung der Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen von Belebungsanlagen auch die Grundsätze der Automatisierung, insbesondere im Hinblick auf die Nährstoffelimination sowie die konkreten Hinweise zur Überprüfung der Garantiewerte von Belüftungseinrichtungen beachtet werden. Insofern stellt dieses Merkblatt eine notwendige Ergänzung des im Regelwerk der DWA vorliegenden Merkblatts DWA-M 209 „Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm“ und des Arbeitsblatts DWA-A 268 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“ dar.

Der vorliegende erste Teil des Merkblatts befasst sich vorrangig mit den Grundlagen, der Dimensionierung, der konkreten Planung und Anordnung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen sowie deren Ausschreibung. Im zweiten Teil werden ergänzend die betrieblichen Aspekte im Zusammenhang mit Wartung und Instandhaltung, Überwachung der Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz sowie dem Erkennen des richtigen Zeitpunkts für eine mögliche Erneuerung und weitere wichtige betriebliche Aspekte behandelt.

Im Juni 2016 erschien das Arbeitsblatt DWA-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“. Die in diesem Arbeitsblatt getroffenen Festlegungen sowie neue Erkenntnisse zum Einfluss von Meersalz auf die Sauerstoffzufuhr sowie Empfehlungen zur Wahl von α -Werten waren Anlass für die vorliegende redaktionelle Überarbeitung.

Änderungen

Gegenüber dem Merkblatt DWA-M 229-1 (05/2013) wurden folgende Ergänzungen und Änderungen vorgenommen:

- a) Berücksichtigung des Einflusses von Meersalz auf die Sauerstoffzufuhr auf Basis neuester Forschungsergebnisse und technischer Untersuchungen;
- b) Einführung der Faktoren β -Wert (Salzfaktor Sauerstoffsättigung) und f_s -Wert (Salzfaktor Belüftungskoeffizient);

- c) Anpassung der üblichen Betriebsbereiche an die neuesten Entwicklungen (Unterabschnitt 4.1.2.4);
- d) Hinweis auf Luftvolumenstrommessungen (Unterabschnitt 4.1.2.5);
- e) textliche Anpassung auf Basis der Empfehlungen im Merkblatt DWA-M 229-2;
- f) Streichung des Unterabschnitts 4.2.5 „Leerrohrgeschwindigkeit“;
- g) Anpassung von Gleichung (16) an die Anforderungen des Arbeitsblatts DWA-A 131 (Unterabschnitt 4.3.1);
- h) Ergänzung der neuen Tabelle 1 mit Empfehlungswerten für den α -Wert (Unterabschnitt 4.3.2);
- i) Anpassung der Tabellenblätter in Anhang A.1 und A.2 an die Formeln zur Berücksichtigung des Meersalzeinflusses;
- j) neues Beispiel zum Meersalzeinfluss;
- k) Anpassung der Ermittlung des minimalen Sauerstoffbedarfs an das neue Arbeitsblatt DWA-A 131;
- l) Anpassung an die europäische Normung und zwischenzeitlich eingetretene Veränderungen hinsichtlich Gesetzen und Verordnungen.

In diesem Merkblatt wird im Hinblick auf einen gut verständlichen und lesefreundlichen Text für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verallgemeinernd die männliche Form verwendet. Alle Informationen beziehen sich in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Merkblatt DWA-M 229-1 (05/2013)

Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-6.5 „Belüftung und Durchmischung“ im DWA-Fachausschuss KA-6 „Aerobe biologische Abwasserreinigungsverfahren“ redaktionell überarbeitet. Mitglieder der DWA-Arbeitsgruppe KA-6.5:

BAUMANN, Peter	Prof. Dr.-Ing., Stuttgart
FREY, Wilhelm	Dr.-Ing., Leobendorf
FRÖSE, Gero	Dipl.-Ing., Cremlingen
GÜNKEL-LANGE, Tobias	Dr.-Ing., Griesheim
HUNZE, Michaela	PD Dr.-Ing. habil., Hannover
JARDIN, Norbert	Prof. Dr.-Ing., Essen (Sprecher)
PETER-FRÖHLICH, Anton	Dr.-Ing., Berlin (Mitglied bis Juni 2013)
LÜDICKE, Carsten	Dipl.-Ing., Berlin (Mitglied seit Juni 2013)
SEIBERT-ERLING, Gerhard	Dr.-Ing., Frechen
WAGNER, Martin	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt
WEICHGREBE, Dirk	Dr.-Ing., Hannover (Mitglied bis Januar 2014)

Als Gast hat mitgewirkt:

SANDER, Stephan	M.Sc., Wülfrath
-----------------	-----------------

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

WILHELM, Christian	Dr.-Ing., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
--------------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	5
Bilderverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	9
Benutzerhinweis	10
1 Anwendungsbereich	10
2 Verweisungen	11
3 Begriffe	12
3.1 Vorbemerkungen	12
3.2 Definitionen	12
3.2.1 Standard-Sauerstoffsättigungswert	12
3.2.2 Standard-Sauerstoffzufuhr in Reinwasser (<i>Standard Oxygen Transfer Rate SOTR</i>) ...	12
3.2.3 Standard-Sauerstoffzufuhr in belebtem Schlamm (<i>Standard Oxygen Transfer Rate αSOTR</i>)	13
3.2.4 Sauerstoffertrag in Reinwasser (<i>Standard Aeration Efficiency SAE</i>)	13
3.2.5 Sauerstoffertrag in belebtem Schlamm (<i>Standard Aeration Efficiency αSAE</i>)	13
3.2.6 Spezifische Standard-Sauerstoffausnutzung und spezifische Standard-Sauerstoffzufuhr (<i>Specific Standard Oxygen Transfer Efficiency SSOTE</i>) ...	13
3.2.7 Belüftungskoeffizient	14
3.2.8 α -Wert (Grenzflächenfaktor)	14
3.2.9 Belegungsdichte	14
3.2.10 Luftbeaufschlagung	15
3.2.11 β -Wert (Salzfaktor Sauerstoffsättigungswert)	15
3.2.12 f_s -Wert (Salzfaktor Belüftungskoeffizient)	15
3.3 Abkürzungen und Symbole	16
3.4 Chemische Elemente und Verbindungen, Summenparameter	22
4 Belüftung	23
4.1 Arten von Belüftungssystemen	23
4.1.1 Allgemeines	23
4.1.2 Druckbelüftungssysteme	23
4.1.2.1 Sauerstoffübergang	23
4.1.2.2 Material von Belüfterelementen	24
4.1.2.3 Bauformen von Belüfterelementen	25
4.1.2.4 Druckluftherzeuger für die Abwasserbelüftung	26
4.1.2.5 Rohrleitungen und Armaturen	27
4.1.2.6 Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR)	28
4.1.3 Oberflächenbelüftungssysteme	28
4.1.3.1 Sauerstoffübergang	28
4.1.3.2 Walzenbelüfter (Rotoren)	28
4.1.3.3 Kreiselbelüfter	29

4.1.4	Sondersysteme	30
4.1.4.1	Allgemeines	30
4.1.4.2	Injektorbelüfter	30
4.1.4.3	Ejektorbelüfter	30
4.1.4.4	Statische Mischer (Kaminbelüfter).....	31
4.2	Einflussparameter und Kennwerte von Belüftersystemen	31
4.2.1	Allgemeines	31
4.2.2	Einblas- und Eintauchtiefe	31
4.2.3	Belegungsichte	32
4.2.4	Luftbeaufschlagung.....	32
4.2.5	Grenzflächenfaktor (α -Wert)	32
4.2.6	Sonstige Einflussfaktoren	33
4.3	Dimensionierung von Belüftungssystemen	33
4.3.1	Grundlagen	33
4.3.2	Druckluftbelüftungssysteme	36
4.3.3	Oberflächenbelüftungssysteme	41
4.3.4	Sondersysteme	42
4.4	Überwachung der Effizienz.....	42
5	Durchmischung	43
5.1	Allgemeine Aufgaben.....	43
5.2	Bauarten von Rührwerkssystemen.....	43
5.3	Einflussparameter und Kennwerte von Rührwerkssystemen.....	44
5.3.1	Allgemeines	44
5.3.2	Einflussgrößen.....	44
5.3.2.1	Rühaufgabe	44
5.3.2.2	Medium	44
5.3.2.3	Beckendesign	44
5.3.2.4	Betriebsweise des Beckens.....	44
5.3.3	Kennwerte.....	45
5.3.3.1	Anzahl der Rühraggregate	45
5.3.3.2	Leistungsparameter	45
5.3.4	Anordnung	45
5.4	Auslegungshinweise von Rührwerken in Belebungsbecken	46
6	Konstruktive Auslegung und Leistung von Belüftung und Durchmischung	48
6.1	Allgemeines	48
6.2	Anordnung von Belüftungseinrichtungen und Rührwerken	48
6.2.1	Druckluftbelüftungssysteme ohne Rührwerke	48
6.2.2	Druckluftbelüftungssysteme mit Rührwerken	49
6.2.3	Oberflächenbelüftungssysteme	51
6.2.3.1	Allgemeines	51
6.2.3.2	Becken mit Walzenbelüftern	52
6.2.3.3	Kreiselbelüfter.....	54
6.3	Hinweise zur Auslegung von Belüftersystemen im Bestand.....	55
7	Mathematische Modellierung von Belüftung und Durchmischung	56

8	Wirtschaftlichkeit von Belüftungs- und Durchmischungssystemen	57
8.1	Allgemeines	57
8.2	Investitionskosten.....	58
8.3	Laufende Kosten (Betriebskosten).....	59
8.4	Jahreskosten bzw. Projektkostenbarwerte	60
9	Ausschreibung, Vergabe und Abnahme.....	60
9.1	Inhalte der Ausschreibung	60
9.1.1	Vorbemerkung	60
9.1.2	Detaillierungsgrad der Ausschreibung	61
9.1.3	Garantiewerte	62
9.1.3.1	Allgemeines	62
9.1.3.2	Belüftungssystem.....	62
9.1.3.3	Rührwerke	64
9.2	Vergabekriterien und Wertung.....	66
9.3	Abnahme	68
10	Kosten- und Umweltauswirkungen	70
Anhang A	Beispiele zur Bemessung von Belüftungssystemen.....	71
A.1	Bemessung einer Druckluftbelüftung	71
A.2	Bemessung einer Druck- und Oberflächenbelüftung (Wirtschaftlichkeitsvergleich)..	79
A.3	Bemessung einer Druckbelüftung bei niedrigen und hohen Meersalzgehalten.....	89
Anhang B	Formblatt für die Zusammenstellung von Randbedingungen für Strömungssimulationen für Belebungsbecken.....	92
Anhang C	Umrechnung der Belüfterbeaufschlagung von Norm- auf Betriebsbedingungen	95
Anhang D	Ermittlung der Mischenergie aus der eingetragenen Luft bei Druckluftbelüftung.....	96
Quellen und Literaturhinweise		96

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Schnitt durch ein Belebungsbecken mit einem Walzenbelüfter	29
Bild 2:	Schnitt durch ein Belebungsbecken mit einem Kreiselbelüfter	29
Bild 3:	Weniger günstige und günstige Belüfteranordnung in Mischbecken	49
Bild 4:	Walzenströmung an den Rändern eines Belüfterfelds in Umlaufbecken.....	50
Bild 5:	Anordnung von Belüfterelementen im Umlenkbereich von Umlaufbecken zur Verbesserung der Durchströmung und des Sauerstoffeintrags	50
Bild 6:	Abstand aufeinander folgender Walzenbelüfter mit gekennzeichneten Sauerstofffahnen.....	52
Bild 7:	Anordnung von Walzenbelüftern	52
Bild 8:	Beispielhafte Darstellung eines Belebungsbeckens mit Walzenbelüftern	53
Bild 9:	Beispielhafte Anordnung des Leitschilds	53
Bild 10:	Anordnung von Dämpfungsplanken in Ringbecken (Angabe in cm)	54
Bild 11:	Anordnung von Kreiselbelüftern in quadratischen Becken	54
Bild 12:	Anordnung von Kreiselbelüftern im Umlaufbecken.....	55
Bild 13:	Kreiselbelüfter mit Stabilisator	55
Bild A.1:	Entwicklung der Projektkostenbarwerte bei Variation der Preissteigerungsrate der Stromkosten.....	87
Bild A.2:	Entwicklung der Projektkostenbarwerte bei Variation des Realzinssatzes	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Richtwerte der α -Werte für den maximalen, den mittleren und den minimalen Lastfall entsprechend der einzelnen Reinigungsziele bzw. Verfahrensvarianten	37
Tabelle 2:	Richtwerte für Druckluftbelüftungssysteme	37
Tabelle 3:	Typische Beaufschlagung von Druckbelüfterelementen	40
Tabelle 4:	Leistungs- und Regelbereich von Oberflächenbelüftern	41
Tabelle 5:	Kategorisierung der Durchmischungsaggregate	43
Tabelle 6:	Empfohlene Nutzungsdauer (n) für Wirtschaftlichkeitsvergleiche in Jahren (a).....	59
Tabelle A.1:	Ausgangsdaten (Zulauf Belebungsanlage) der Bemessung der Belebungsanlage	71
Tabelle A.2:	Auslegung einer Druckluftbelüftung für die Beispielanlage A.1.....	75
Tabelle A.3:	Auslegung der Verdichterstation für die Beispielanlage A.1	77
Tabelle A.4:	Ergebnisübersicht der Bemessung für die vier betrachteten Lastfälle.....	78
Tabelle A.5:	Auslegung einer Druckluftbelüftung für die Beispielanlage A.2.....	81
Tabelle A.6:	Auslegung der Verdichterstation für die Beispielanlage A.2	83
Tabelle A.7:	Ergebnisübersicht der Bemessung für die vier betrachteten Lastfälle.....	84
Tabelle A.8:	Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Druck- und Oberflächenbelüftungssystemen.....	88
Tabelle A.9:	Zahlungsplan der Investitionen und Reinvestitionen für den Wirtschaftlichkeitsvergleich einer Druck- und einer Oberflächenbelüftung	89
Tabelle A.10:	Auslegung einer Druckluftbelüftung für die Beispielanlage A.3 bei niedrigen und hohen Salzgehalten	91

Benutzerhinweis

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblatts frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt soll Planern, Betreibern, Herstellern und Fachbehörden als praxisorientierte, wissenschaftlich fundierte Arbeitshilfe zur verfahrenstechnischen und energetisch optimierten Auslegung und Bewertung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen dienen. Es ergänzt insbesondere das bereits vorliegende Merkblatt DWA-M 209 „Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm“ und das Arbeitsblatt DWA-A 268 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“.

Dieses Merkblatt gilt für die Planung und den Bau von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen in kommunalen Belebungsanlagen mit üblichen Feststoffgehalten im Belebungsbecken zwischen $TS_{BB} = 2 \text{ g/l}$ und $TS_{BB} = 5 \text{ g/l}$. In diesem Bereich ist nicht von einer die Dimensionierung und den Betrieb von Belüftungs- und Durchmischungssystemen maßgeblichen Beeinflussung durch die Viskosität des belebten Schlammes auszugehen.

Eine Abgrenzung besteht in Bezug auf den Feststoffgehalt im Belebungsbecken aber gegenüber Membranbelebungsanlagen, bei denen es gerade bei hohen Feststoffgehalten zu einer deutlichen Veränderung der Viskosität des belebten Schlammes kommt. Die erhöhte Feststoffkonzentration beeinflusst nicht nur den Sauerstoffübergang in erheblichem Maße (α -Wert), sondern hat auch starken Einfluss auf die Anordnung und Leistung der Durchmischungsaggregate.

Dieses Merkblatt gilt auch nicht für die Auslegung von Reinsauerstoffanlagen, für die beispielsweise in HEGEMANN (1974) und SENGEWEIN (1989) umfangreiche Hinweise zur Auswahl und Dimensionierung geeigneter Belüftungseinrichtungen gegeben werden.

Die Gültigkeit der Dimensionierungs- und Auslegungsempfehlungen für Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen in Belebungsanlagen in diesem Merkblatt wird weder durch die Anschlussgröße der Anlage noch durch die Wassertiefe im Belebungsbecken eingeschränkt, sodass auch eine Bemessung der Belüftung und Durchmischung in tiefen Belebungsbecken möglich ist. Die bisherigen Erfahrungswerte sind allerdings auf Wassertiefen bis $h_{BB} = 20 \text{ m}$ beschränkt.

VORSCHAU

Zwischen 50 % und 80 % des Gesamtenergiebedarfs der Abwasserreinigung entfallen auf die Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen. Aufgrund der Bedeutung einer energieeffizienten Planung, auch bei anstehenden Reinvestitionsmaßnahmen, will das vorliegende Merkblatt Hinweise zur verfahrens- und energieoptimierten Auslegung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen bei Belebungsanlagen geben.

Der erste Teil des Merkblatts befasst sich vorrangig mit den Grundlagen, der Dimensionierung, der konkreten Planung und Anordnung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen sowie deren Ausschreibung. Die detaillierte Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Belüftung und Durchmischung einschließlich konkreter Hinweise zur Anordnung von Belüftungseinrichtungen und Durchmischungsaggregaten in Abhängigkeit von der Beckenform bildet einen wesentlichen Schwerpunkt.

Bei der Neuauflage des Merkblatts wurde insbesondere der Einfluss von Meersalz auf die Sauerstoffzufuhr auf Basis neuester Forschungsergebnisse und technischer Untersuchungen berücksichtigt. Daneben wurde die Ermittlung des minimalen Sauerstoffbedarfs an das Arbeitsblatt DWA-A 131 angepasst. Neue Empfehlungen zur Wahl eines geeigneten Grenzflächenfaktors (α -Wert) wurden aufgenommen.

Dieses Merkblatt soll Planern, Betreibern, Herstellern und Fachbehörden als praxisorientierte und wissenschaftlich fundierte Arbeitshilfe zur verfahrenstechnischen und energetisch optimierten Auslegung und Bewertung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen dienen.

VORSCHAU

ISBN: 978-3-88721-512-5 (Print)
978-3-88721-513-2 (E-Book)

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef
Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
info@dwa.de · www.dwa.de