

# DWA-Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 229-2**

Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen  
– Teil 2: Betrieb

September 2017





# DWA-Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 229-2**

Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen  
– Teil 2: Betrieb

September 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:

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](mailto:info@dwa.de)  
Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

### Satz:

Christiane Krieg, DWA

### Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

### ISBN:

978-3-88721-520-0 (Print)  
978-3-88721-521-7 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef 2017

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.

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 DWA-Regelwerk 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.

Während sich der bereits vorliegende erste Teil des Merkblatts DWA-M 229-1 vorrangig mit den Grundlagen, der Dimensionierung, der konkreten Planung und Anordnung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen sowie deren Ausschreibung befasst, werden im zweiten Teil 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.

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

Kein Vorgängerdokument

## Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-6.5 „Belüftung und Durchmischung“ im DWA-Fachausschusses KA-6 „Aerobe biologische Abwasserreinigungsverfahren“ erstellt, der folgende Mitglieder angehören:

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)
LÜDICKE, Carsten	Dipl.-Ing., Berlin
SEIBERT-Erling, Gerhard	Dr.-Ing., Frechen
WAGNER, Martin	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt

Als Gast hat mitgewirkt:

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

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>Verfasser</b> .....	<b>4</b>
<b>Bilderverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Benutzerhinweis</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Verweisungen</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Begriffe</b> .....	<b>11</b>
3.1 Vorbemerkungen .....	11
3.2 Abkürzungen und Symbole.....	11
3.3 Chemische Elemente und Verbindungen, Summenparameter .....	13
<b>4 Druckluftbelüftung</b> .....	<b>13</b>
4.1 Normalbetrieb .....	13
4.1.1 Allgemeines .....	13
4.1.2 Druckluftherzeugung.....	13
4.1.3 Rohrleitungssystem.....	14
4.1.4 Belüfterelemente.....	15
4.2 Überwachung.....	16
4.2.1 Allgemeines .....	16
4.2.2 Druckluftherzeugung und Rohrleitungssystem .....	17
4.2.3 Belüfterelemente.....	18
4.3 Instandhaltung.....	21
4.3.1 Allgemeines .....	21
4.3.2 Druckluftherzeugung und Rohrleitungssystem.....	22
4.3.3 Belüfterelemente.....	22
4.3.3.1 Allgemeines .....	22
4.3.3.2 Dehnen und Entspannen der Membran ( <i>Flexing</i> ).....	23
4.3.3.3 Mechanische Reinigung.....	23
4.3.3.4 Eindüsen von Säure .....	24
4.3.3.5 Fluten mit Reinigungslösung .....	24
4.3.4 Entscheidungshilfen für Wartung/Austausch .....	24
4.3.4.1 Allgemeines .....	24
4.3.4.2 Messungen im Belebungsbecken in Reinwasser .....	25
4.3.4.3 Messungen im Belebungsbecken in belebtem Schlamm.....	25
4.3.4.4 Messungen in Testbecken ( <i>Shoptests</i> ).....	25
4.3.5 Montage/Austausch von Belüfterelementen .....	26
4.3.6 Entsorgung von Belüfterelementen und Rohrleitungen.....	26
4.4 Maßnahmen bei Betriebsstörungen und Kampagnenbetrieb.....	27
4.4.1 Betriebsstörungen bei der Druckbelüftung .....	27
4.4.1.1 Allgemeines .....	27

4.4.1.2	Ausfall von einzelnen Druckluftherzeugern.....	27
4.4.1.3	Ausfall von Belüftern.....	27
4.4.1.4	Schäden an Rohrleitungen.....	27
4.4.1.5	Stromausfall.....	28
4.4.1.6	Ausfall der Messtechnik.....	28
4.4.1.7	Unerwartete Frachtstöße.....	28
4.4.1.8	Stilllegung von Becken.....	28
4.4.2	Kampagnenbetrieb.....	29
<b>5</b>	<b>Oberflächenbelüftung.....</b>	<b>29</b>
5.1	Normalbetrieb.....	29
5.1.1	Allgemeines.....	29
5.1.2	Be- und Entlüftungsöffnungen.....	29
5.1.3	Belüfteraggregate/Ablaufwehr.....	29
5.1.4	Stromaufnahme.....	29
5.1.5	Messeinrichtungen zur Steuerung.....	30
5.1.6	Leitwände.....	30
5.2	Überwachung.....	30
5.2.1	Allgemeines.....	30
5.3	Wartung und Instandhaltung.....	30
5.3.1	Allgemeines.....	30
5.3.2	Walzenbelüfter.....	31
5.3.3	Kreiselbelüfter.....	31
5.4	Maßnahmen bei Betriebsstörungen.....	31
<b>6</b>	<b>Durchmischung.....</b>	<b>32</b>
6.1	Normalbetrieb.....	32
6.1.1	Allgemeines.....	32
6.1.2	Durchmischen durch Stoßbelüftung.....	32
6.1.3	Durchmischen mit Rührwerken.....	33
6.1.4	Durchmischen und Strömungserzeugung durch Rührwerke.....	33
6.2	Überwachung.....	33
6.2.1	Allgemeines.....	33
6.2.2	Verweilzeitverhalten.....	34
6.2.3	Ablagerungen.....	34
6.3	Instandhaltung.....	35
6.4	Betriebsstörungen.....	35
<b>7</b>	<b>Prozessführung.....</b>	<b>36</b>
7.1	Automatisierung.....	36
7.2	Wechselwirkungen mit anderen Prozessen.....	37
7.3	Flexibler Beckenbetrieb.....	37
<b>8</b>	<b>Energetische Effizienz und Leistungsfähigkeit.....</b>	<b>38</b>
8.1	Allgemeines.....	38
8.2	Kennzahlen.....	38
8.2.1	Gesamtenergieverbrauch.....	38
8.2.2	Spezifischer Energieverbrauch der Belüftung.....	39



8.2.3	Spezifische Energieeffizienz der Belüftung .....	39
8.2.4	Spezifischer Leistungsbedarf der Druckluftherzeuger .....	40
8.2.5	Spezifischer Leistungsbedarf der Rührwerke .....	41
8.2.6	Energetische Effizienz des Luftverteilungssystems .....	41
8.3	Datenerfassung .....	42
8.4	Bewertung und Maßnahmen .....	42
<b>9</b>	<b>Betriebliche Optimierung durch mathematische Modellierung .....</b>	<b>43</b>
9.1	Modellansätze.....	43
9.1.1	Allgemeines .....	43
9.1.2	Dynamische Modelle.....	43
9.1.3	Mehrdimensionale Simulationsmodelle (CFD-Modelle).....	44
9.2	Simulation der Durchmischung.....	44
9.3	Simulation der Belüftung .....	45
9.4	Sonstige Anwendungsfälle .....	45
<b>10</b>	<b>Personal und Arbeitssicherheit .....</b>	<b>46</b>
10.1	Personalaufwand.....	46
10.2	Arbeitssicherheit .....	46
10.3	Schulung Personal .....	47
<b>11</b>	<b>Kosten- und Umweltauswirkungen .....</b>	<b>47</b>
<b>Anhang A Ermittlung der betrieblichen Druckverluste.....</b>		<b>48</b>
<b>Anhang B Überprüfung des Druckbelüftungssystems auf Undichtheiten.....</b>		<b>49</b>
<b>Anhang C Beispiel zur Entscheidungsfindung, ob Wartung oder Austausch von Belüfterelementen wirtschaftlicher ist .....</b>		<b>50</b>
<b>Anhang D Beispiele zur Anwendung von Strömungssimulationen.....</b>		<b>52</b>
D.1	Beispiel: Prüfung der Belüfter- und Rührwerksanordnung zueinander.....	52
D.2	Beispiel: Prüfung der Beckenausführung im Hinblick auf die sich einstellenden Reaktionsräume .....	54
<b>Quellen und Literaturhinweise .....</b>		<b>56</b>

## Bilderverzeichnis

Bild 1:	Membranpore mit verstopfenden Ablagerungen .....	18
Bild 2:	Reaktion der verstopfenden Ablagerungen bei Vorhandensein von säurelöslichen Verbindungen.....	18
Bild 3:	Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....	19
Bild 4:	Probenorientierung bei der Aufnahme von Spannungs-Dehnungs-Diagrammen.....	19
Bild 5:	Gleichmäßiges Blasenbild auf der Wasseroberfläche mit langsamen Wasserbewegungen .....	20
Bild 6:	Ungleichmäßiges Blasenbild auf der Wasseroberfläche mit schnellen Wasserbewegungen .....	20
Bild A.1:	Druckmessstellen im Belüftungsstrang zur Ermittlung der betrieblichen Druckverluste.....	48
Bild B.1:	Beispielhafter Verlauf des Drucks in den Zuleitungen bei vier Belebungsbecken.....	49
Bild D.1:	Belebungsbecken – Becken 1 – Ausgangszustand.....	52
Bild D.2:	Bodennahe Geschwindigkeitsverteilung – Beispiel 1 – Ausgangszustand.....	53
Bild D.3:	Belebungsbecken – Beispiel 1 – Optimierung .....	53
Bild D.4:	Geschwindigkeitsverteilung – Beispiel 1 – Optimierung.....	54
Bild D.5:	Belebungsbecken – Beispiel 2 – Ausgangszustand .....	54
Bild D.6:	Tracerverteilung – Beispiel 2 – Ausgangszustand – Skalierung von 0 % (schwarz) bis 0,1 % (weiß) .....	55
Bild D.7:	Belebungsbecken – Beispiel 2 – Optimierung .....	55
Bild D.8:	Tracerverteilung – Beispiel 2 – Optimierung – Skalierung von 0 % (schwarz) bis 0,1 % (weiß) .....	55

## Tabellenverzeichnis

Tabelle C.1:	Berechnung der Energieeinsparung durch Austausch von Belüfterelementen.	51
--------------	---	----

## 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 zum verfahrenstechnischen und energetisch optimierten Betrieb von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen dienen. Es ergänzt insbesondere das 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“. Inhaltlich baut es im Wesentlichen auf dem ersten Teil des Merkblatts DWA-M-229 zur Planung, Ausschreibung und Ausführung von Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen auf.

Dieses Merkblatt gilt für den Betrieb 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 Schlamms 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 Schlamms kommt. Die erhöhte Feststoffkonzentration beeinflusst nicht nur den Sauerstoffübergang in erheblichem Maße ( $\alpha$ -Wert), sondern hat auch starken Einfluss auf die Anordnung und Leistung der Durchmischungsaggregate.

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

Die Gültigkeit der Betriebsempfehlungen für Belüftungs- und Durchmischungseinrichtungen in Belebungsanlagen in diesem Merkblatt wird weder durch die Anschlussgröße der Anlage noch durch die Wassertiefe im Belebungsbecken eingeschränkt.