

# DWA- Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 227**

### **Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR-Verfahren)**

Oktober 2014



# DWA- Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 227**

### **Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR-Verfahren)**

Oktober 2014



Herausgabe und Vertrieb:  
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)

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)

**Satz:**

DWA

**Druck:**

Siebengebirgsdruck

**ISBN:**

978-3-944328-85-0

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2014

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblattes 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 in der kommunalen Abwasserreinigung seit 1999 in Deutschland eingesetzte Membrantechnologie, bei der ein Membranfilter die Nachklärung ersetzt, hat eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber der konventionellen Technik. Aus industriellen Trennprozessen seit langem bekannt, setzt sich die Membrantechnik in der Abwasserreinigung – und auch in der Trinkwasseraufbereitung – mehr und mehr durch. Sie kann heutzutage als Schlüsseltechnologie zur Lösung etlicher Probleme angesehen werden, wie die stark steigende Zahl von Membran-Bioreaktoren (MBR) international zeigt. Hervorragende Ablaufwerte, eine weitgehende Desinfektion und ein feststofffreier Ablauf gehen bisher fast immer einher mit höheren Kosten. Mittlerweile zeigen jedoch bei stetig sinkenden Membranpreisen immer mehr realisierte Projekte und Fallstudien, speziell bei der Ertüchtigung von Kläranlagen, dass die Membrantechnik auch kostenmäßig zunehmend konkurrenzfähiger wird.

Um sich mit dieser neuen, innovativen Technologie zur kommunalen Abwasserreinigung zu befassen, wurde im Jahre 2000 der DWA-Fachausschuss KA-7 „Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR)-Verfahren“ im DWA-Hauptausschuss HA KA „Kommunale Abwasserbehandlung“ gegründet. Der DWA-Fachausschuss KA-7 veröffentlichte im Oktober 2000 einen ersten Arbeitsbericht zum Thema „Membranbelebungsverfahren“, gefolgt von einer überarbeiteten und ergänzten zweiten Version im Januar 2005.

Nun folgt das hiermit vorgelegte Merkblatt, um den prozessspezifischen Aspekten, wie Abwasservorbehandlung, Membranreinigung, Planung und Bemessung, Konstruktion, Betrieb und Aspekten der Wirtschaftlichkeit in ihrer gesamten Breite gerecht zu werden. Um hier entsprechende Hilfen zu geben, sind nun die Erfahrungen und Erkenntnisse aus über 10 Jahren Planung und Betrieb von MBR-Anlagen in Deutschland in diesem Merkblatt zusammengefasst. Es richtet sich an Betreiber und Planer von Abwasserreinigungseinrichtungen und befasst sich mit dem gesamten Spektrum an Ausbaugrößen von Kleinkläranlagen bis zu großen Kläranlagen.

### Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

## Verfasser

Das Merkblatt wurde vom DWA-Fachausschuss KA-7 „Membranbelebungsverfahren“ sowie den DWA-Arbeitsgruppen KA-7.1 „Betriebshinweise, Anwendungsbeispiele, Schlammbehandlung“, KA-7.2 „Planung, Bemessung, Konstruktionshinweise“, KA-7.3 „Vorbehandlung, Membranreinigung“ und KA-7.4 „Leistungsfähigkeit, Entwicklungsfähigkeit von Membranbelebungsanlagen“ erstellt, denen folgende Mitglieder angehören:

Dem Fachausschuss KA-7 gehören folgende Mitglieder an:

BACK, Eberhard	Dipl.-Ing., Ulm
BRANDS, Evelyn	Dipl.-Biol., Düren
DORGELOH, Elmar	Dr.-Ing., Aachen
DRENSLA, Kinga	Dipl.-Ing., Bergheim
FRECHEN, Franz-Bernd	Prof. Dr.-Ing., Kassel (Obmann)
FUCHS, Werner	a. o. Univ. Prof. DI Dr., Tulln/Österreich
GNIRSS, Regina	Dipl.-Ing., Berlin
ROEST, Helle van der	ir., Amersfoort/Niederlande
ROSENWINKEL, Karl-Heinz	Prof. Dr.-Ing., Hannover
SCHIER, Wernfried	Dr.-Ing., Kassel
SCHOENEN, Dirk	Prof. Dr. rer. nat., Bonn
STEIN, Simone	Dipl.-Chem., Leipzig
THEILEN, Ulf	Prof. Dr.-Ing., Gießen
VOSENKAUL, Klaus	Dr.-Ing., Aachen
WEDI, Detlef	Dipl.-Ing., Braunschweig
WOZNIAK, Thomas	Dipl.-Ing., Wannweil
ZASTROW, Petra	Dipl.-Ing., Leipzig

Der Arbeitsgruppe KA-7.1 gehören folgende Mitglieder an:

BEIER, Silvio	Dr.-Ing., Hamburg (Gast)
BRANDS, Evelyn	Dipl.-Biol., Düren (Sprecherin)
DRENSLA, Kinga	Dipl.-Ing., Bergheim
JANOT, Andreas	Dipl.-Ing., Bergheim (Gast)
NIESEN, Michaela	Dipl.-Ing., Düren
STEIN, Simone	Dipl.-Chem., Leipzig
WEBER, Martin	Dipl.-Ing., Gummersbach
WOZNIAK, Thomas	Dipl.-Ing., Wannweil (Gast)
ZASTROW, Petra	Dipl.-Ing., Leipzig (Gast)

Der Arbeitsgruppe KA-7.2 gehören folgende Mitglieder an:

ALT, Klaus	Dipl.-Ing., Düsseldorf
BACK, Eberhard	Dipl.-Ing., Ulm
GNIRSS, Regina	Dipl.-Ing., Berlin
JOSS, Adriano	Dr. sc. nat., Dübendorf/Schweiz
SCHÄFER, Heinrich	Dipl.-Ing., Bergheim
STEIN, Simone	Dipl.-Chem., Leipzig
WEDI, Detlef	Dipl.-Ing., Braunschweig (Sprecher)
WOZNIAK, Thomas	Dipl.-Ing., Wannweil
ZASTROW, Petra	Dipl.-Ing., Leipzig

Der Arbeitsgruppe KA-7.3 gehören folgende Mitglieder an:

BEIER, Silvio	Dr.-Ing., Hamburg
BENTEM, André van	ir., Amersfoort/Niederlande
BRANDS, Evelyn	Dipl.-Biol., Düren
BROCKMANN, Martin	Dr.-Ing., Ratingen
DRENSLA, Kinga	Dipl.-Ing., Bergheim (Sprecherin)
FROMANN, Christian	Dipl.-Ing., Berching
HOTZ, Roland	Dipl.-Ing., Gummersbach (Gast)
JANOT, Andreas	Dipl.-Ing., Bergheim
KRAUSE, Stefan	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt
LYKO, Sven	Dr.-Ing., Essen
NIESEN, Michaela	Dipl.-Ing., Düren
ROEST, Helle van der	ir., Amersfoort/Niederlande
SCHIER, Wernfried	Dr.-Ing., Kassel
STEIN, Simone	Dipl.-Chem., Leipzig
VOSSENKAUL, Klaus	Dr.-Ing., Aachen
WEBER, Martin	Dipl.-Ing., Gummersbach

Der Arbeitsgruppe KA-7.4 gehören folgende Mitglieder an:

BELZ, Carsten	Dipl.-Ing., Leipzig (Gast)
BENTEM, André van	ir., Amersfoort/Niederlande
BREPOLS, Christoph	Dipl.-Ing., Bergheim
DORGELOH, Elmar	Dr.-Ing., Aachen
FUCHS, Werner	a. o. Univ. Prof. DI Dr., Tulln/Österreich
HAIDER, Stephan	Dr.-Ing., Wien/Österreich
JOSS, Adriano	Dr. sc. nat., Dübendorf/Schweiz
KAISER, Arndt	Dipl.-Ing., Aachen (Gast)
KORTE, Kees de	ir., Amsterdam/Niederlande
ROEST, Helle van der	ir., Amersfoort/Niederlande
RUIKEN, Chris	ir., Amsterdam/Niederlande
SCHIER, Wernfried	Dr.-Ing., Kassel (Sprecher)
TÖWS, Ingo	Dr.-Ing., Dülmen (Gast)
WETT, Martin	Dr.-Ing., Ulm
WOZNIAK, Thomas	Dipl.-Ing., Wannweil

Projektbetreuerin in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BUDEWIG, Stefanie	Dr.-agr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
-------------------	--

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	.....	<b>3</b>
<b>Verfasser</b>	.....	<b>4</b>
<b>Bilderverzeichnis</b>	.....	<b>9</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	.....	<b>9</b>
<b>Benutzerhinweis</b>	.....	<b>10</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b>	.....	<b>10</b>
1.1	Vorbemerkung .....	10
1.2	Zielsetzung.....	10
1.3	Geltungsbereich .....	10
<b>2 Verweisungen</b>	.....	<b>11</b>
<b>3 Begriffe</b>	.....	<b>11</b>
3.1	Definitionen .....	11
3.2	Symbole und Abkürzungen .....	13
<b>4 Beschreibung des Membran-Bioreaktor-Verfahrens (MBR-Verfahren)</b>	.....	<b>14</b>
4.1	Prinzip .....	14
4.2	Bauformen und Betriebsweisen.....	16
4.3	Leistungsfähigkeit .....	18
4.3.1	Reinigungsleistung hinsichtlich Abwasserschmutzstoffen.....	18
4.3.1.1	Feststoffe, organische Verschmutzungen, Nährstoffe, Keime.....	18
4.3.1.2	Mikroverunreinigungen.....	19
4.3.2	Hydraulische Leistungsfähigkeit.....	19
<b>5 Mechanische Vorbehandlung</b>	.....	<b>20</b>
<b>6 Planung und Bemessung</b>	.....	<b>22</b>
6.1	Grundlegende Annahmen .....	22
6.2	Hinweise zur Bemessung.....	22
6.3	Vorgehen bei der Bemessung .....	23
6.4	Ermittlung der maßgebenden Zuflüsse und Temperaturen .....	23
6.5	Bemessung der Membranfiltration .....	23
6.5.1	Allgemeines.....	23
6.5.2	Membranflächen und Membranbecken .....	24
6.6	Bemessung der biologischen Stufe .....	25
6.6.1	Ansätze und Bemessungsablauf.....	25
6.6.2	Bemessung .....	26
6.6.2.1	Anlagen ohne Nitrifikation .....	26
6.6.2.2	Anlagen mit Nitrifikation .....	26
6.6.2.3	Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation.....	26
6.6.2.4	Simultane aerobe Schlammstabilisierung .....	27
6.6.3	Phosphorelimination .....	27
6.6.3.1	Erhöhte biologische Phosphorelimination .....	27
6.6.3.2	Chemische Phosphorelimination .....	28
6.7	Belüftung .....	28



<b>7</b>	<b>Reinigungsstrategien</b> .....	<b>29</b>
7.1	Allgemeines .....	29
7.2	Reinigungsvarianten .....	29
7.2.1	Grundsätzliche Einteilung .....	29
7.2.2	Art der chemischen Reinigung .....	30
7.2.2.1	Hauptreinigung.....	30
7.2.2.2	Zwischenreinigung.....	30
7.2.3	Reinigungsmethode .....	30
7.2.3.1	Allgemeines .....	30
7.2.3.2	In-Situ-Reinigung.....	30
7.2.3.3	Externe chemische Reinigung (Ex situ) .....	31
7.2.3.4	Chemikaliendosierung .....	31
7.2.4	Reinigungschemikalien .....	31
7.2.4.1	Allgemeines .....	31
7.2.4.2	Oxidative Reinigungschemikalien.....	32
7.2.4.2.1	Allgemeines .....	32
7.2.4.2.2	Natriumhypochlorit NaOCl .....	32
7.2.4.2.3	Wasserstoffperoxid H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	33
7.2.4.3	Alkalische Reinigungschemikalien .....	33
7.2.4.4	Saure Reinigungschemikalien .....	33
7.2.5	Einflussfaktoren .....	33
7.2.5.1	Temperatur .....	33
7.2.5.2	Einwirkzeit.....	33
7.2.5.3	Turbulenz während der chemischen Reinigung .....	33
7.2.5.4	Kombination einzelner Reinigungsschritte .....	33
7.3	Hinweise und Betriebserfahrungen zur chemischen Reinigung .....	33
7.4	Arbeitssicherheit .....	34
<b>8</b>	<b>Konstruktion und Ausschreibung</b> .....	<b>34</b>
8.1	Planungs- und Konstruktionshinweise.....	34
8.2	Konstruktive Ausführung der Membranfiltration.....	35
8.3	Ausführung der Chemikalienstation .....	36
8.4	Hinweise zu Leistungsbeschreibung und Durchführung der Vergabe .....	36
8.4.1	Art und Möglichkeiten der Vergabe.....	36
8.4.2	Leistungsbeschreibung .....	37
8.4.2.1	Allgemeines .....	37
8.4.2.2	Angaben des Bauherren .....	37
8.4.2.3	Angaben der Bieter .....	37
8.4.3	Garantiewerte und Leistungstests .....	38
<b>9</b>	<b>Inbetriebnahme</b> .....	<b>38</b>
9.1	Allgemeines .....	38
9.2	Klarwassertest.....	38
9.3	Inbetriebnahme mit belebtem Schlamm.....	39

<b>10</b>	<b>Hinweise für den Betrieb von MBR-Anlagen.....</b>	<b>39</b>
10.1	Hinweise zur praktischen Permeabilitätsbestimmung .....	39
10.2	Entlüftung der Permeatleitungen .....	39
10.3	Interne Wasserkreisläufe .....	39
10.4	Blähschlamm und Schwimmschlamm .....	39
10.5	Betrieb der Filtration.....	40
10.6	Schlammbehandlung .....	40
10.6.1	Allgemeines.....	40
10.6.2	Schlammwässerung.....	40
10.6.3	Faulfähigkeit.....	40
<b>11</b>	<b>Einsatz der Membrantechnik in kleinen Kläranlagen .....</b>	<b>40</b>
<b>12</b>	<b>Einsatz der Membrantechnik in Kleinkläranlagen .....</b>	<b>41</b>
12.1	Allgemeines.....	41
12.2	Bemessungsvorgaben nach DIBt.....	42
<b>13</b>	<b>Kläranlagenertüchtigung mit dem MBR-Verfahren .....</b>	<b>43</b>
<b>14</b>	<b>Kosten .....</b>	<b>44</b>
14.1	Allgemeines.....	44
14.2	Investitionen .....	44
14.2.1	Allgemeines.....	44
14.2.2	Siebanlagen .....	44
14.2.3	Membranfiltrationsanlage .....	44
14.2.4	Baukörper .....	44
14.3	Betriebskosten.....	44
14.3.1	Allgemeines.....	44
14.3.2	Energiebedarf für Belüftung und Rezirkulation.....	45
14.3.3	Crossflow-Belüftung und Permeatabzug.....	45
14.3.4	Gesamtenergiebedarf .....	45
14.3.5	Chemische Reinigung.....	46
14.3.6	Personalaufwand .....	46
14.3.7	Membranstandzeiten.....	46
<b>Anhang A (informativ) Großtechnische kommunale MBR-Anlagen in Deutschland .....</b>		<b>47</b>
<b>Quellen und Literaturhinweise.....</b>		<b>48</b>

## Bilderverzeichnis

Bild 1:	Überblick über Filtrationsverfahren.....	15
Bild 2:	MBR-System mit trocken aufgestellten externen Filtrationseinheiten.....	15
Bild 3:	Einbaumöglichkeiten von getauchten Filtrationseinheiten .....	16
Bild 4:	Übliche Betriebsweisen von Filtrationseinheiten, Brutto- und Netto-Permeatflux.....	17
Bild 5:	Leistungsumfang des MBR-Verfahrens im Vergleich zum konventionellen Belebungsverfahren mit Erweiterungen (schematisch, ohne Vorreinigung).....	18
Bild 6:	Bestimmung des Transmembrandrucks .....	20
Bild 7:	Beispielhafte Angaben relativer Fluxleistungen in Abhängigkeit von der Temperatur .....	24
Bild 8:	Verfahrensschemata bei der Denitrifikation.....	26
Bild 9:	Beispielhaftes Prinzipschema zur erhöhten biologischen Phosphorelimination.....	28
Bild 10:	Schematische Einteilung der praxistauglicher Reinigungsarten .....	29
Bild 11:	Schematische Abgrenzung zwischen Haupt- und Zwischenreinigung .....	30
Bild 12:	Schematische Abgrenzung aufgrund des feedseitigen Mediums .....	31
Bild 13:	Exemplarische Ertüchtigungsvarianten mittels MBR-Verfahren .....	43
Bild 14:	Grundsätzliche Ausführungsvarianten beim Membran-Hybridverfahren .....	43
Bild 15:	Kostenrichtwerte für die betriebsfertige Membranfiltrationsanlage (Ausrüstungstechnik ohne baulichen Teil; Stand 2010) .....	45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Leistungsfähigkeit: MBR-Verfahren und konventionelles Belebungsverfahren (mit und ohne Erweiterungen zur Desinfektion) .....	18
Tabelle 2:	Charakterisierung von Rechen und Sieben, Angaben in mm .....	21
Tabelle 3:	Reststoffanfall (entwässert, ca. 25 % TR) .....	21
Tabelle 4:	Bandbreite systemspezifischer Dimensionierungsparameter (Stand 2009) .....	24
Tabelle 5:	Arten und Verwendung von Reinigungschemikalien .....	32
Tabelle 6:	Leistungsklassen von Kleinkläranlagen.....	41
Tabelle 7:	Bemessungsvorgaben für Belebungsbecken von Membranfiltrationsanlagen.....	42
Tabelle 8:	Membranspezifisch zusätzlich anfallende Betriebskosten .....	46
Tabelle A.1:	Großtechnische MBR-Anlagen in Deutschland (Stand 2011).....	47

## **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 Merkblattes 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**

### **1.1 Vorbemerkung**

Seit 1999, mit Inbetriebnahme der ersten kommunalen Anlage nach dem Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR-Verfahren) in Rödingen, stellt das MBR-Verfahren eine relevante Alternative zur herkömmlichen biologischen Abwasserreinigung dar. Diese Technologie, der auch international große Beachtung geschenkt wird und die gelegentlich als „Schlüsseltechnologie“ gewürdigt wird und die mittlerweile international in vielen Anlagen eingesetzt wird, erzielt hervorragende Ablaufergebnisse, die bei konventionellen Anlagen nur durch umfassende verfahrenstechnische Erweiterungen, wenn überhaupt, erreicht werden können.

Daher hat die DWA, aufbauend auf zwei bereits erschienenen Arbeitsberichten, es für an der Zeit erachtet, in dem hier vorliegenden Merkblatt die bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse zusammenfassend und für die Praxis erschöpfend zu behandeln.

### **1.2 Zielsetzung**

Die Zielsetzung des vorliegenden Merkblattes ist, das MBR-Verfahren so zu beschreiben, dass eine sichere Anwendung dieses Verfahrens für Planer, Anlagenhersteller und Betreiber erreicht wird.

### **1.3 Geltungsbereich**

Im Folgenden werden die Besonderheiten behandelt, die sich für Anlagen nach dem Membran-Bioreaktor-(MBR)-Verfahren ergeben.

Abzugrenzen ist das vorliegende Merkblatt, welches sich ausschließlich mit dem Membran-Bioreaktor-(MBR)-Verfahren im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung beschäftigt, von dem vierteiligen Arbeitsbericht „Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser mit Membranverfahren und MBR-Verfahren“ der DWA-Arbeitsgruppe IG-5.5 (Teil 1 und 2 erschienen im Jahr 2002, Teil 3 und 4 im Jahr 2005), der sich gemäß seines Titels ausschließlich auf Membrananwendungen im Bereich der Industrieabwasserreinigung bezieht.

Weiterhin sind MBR-Anlagen mit Rohrmodulen als trocken aufgestellte externe Filtrationseinheiten nicht Gegenstand dieses Merkblattes.