

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 285-3

**Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen –
Teil 3: Ozonung – Verfahrensgrundsätze und Bemessung**

September 2024

Entwurf

Frist zur Stellungnahme: 30. November 2024

Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Einsprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheberrechtlich verwertet werden.

Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

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 Gesetzgebung, 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

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

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2024

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-96862-746-5 (Print)

978-3-96862-747-2 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts darf vorbehaltlich der gesetzlich erlaubten Nutzungen ohne schriftliche Genehmigung der Herausgeberin in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Bilder und Tabellen, die keine Quellenangaben aufweisen, sind im Rahmen der Merkblätterstellung als Gemeinschaftsergebnis des DWA-Fachgremiums zustande gekommen. Die Nutzungsrechte obliegen der DWA.

1 Vorwort

2 Kommunale Kläranlagen sind basierend auf den gesetzlichen Anforderungen zur Entfernung von organischem Kohlenstoff, beurteilt anhand des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB), sowie zur Entfernung von Stickstoff und Phosphor konzipiert. Die eingesetzten Prozesse zielen einerseits auf leicht abbaubare organische Stoffe ab, andererseits auf Stoffe, die in vergleichsweise hohen Konzentrationen (Bereich von Milligramm bis Gramm pro Liter) vorliegen. Dementsprechend ist die Reinigungsleistung gegenüber schwer abbaubaren organischen Spurenstoffen oft gering bzw. teils nicht vorhanden. Jedoch traten in den letzten zwei Jahrzehnten vermehrt Befunde zu genau solchen Stoffen in diversen Bereichen des Wasserkreislaufs zutage. Diese Befunde können auf höhere Verbrauchsmengen im Einzugsgebiet oder geringere Verdünnungen zurückgeführt werden, basieren aber vor allem auf einer immer empfindlicher werdenden Messtechnik sowie Ausweitung des analysierten Substanzspektrums. Da viele dieser organischen Spurenstoffe aus dem humanmedizinischen und häuslichen Gebrauch stammen, stellen kommunale Kläranlagen maßgebliche Punktquellen für deren Eintrag in die aquatische Umwelt dar. Um den Eintrag solcher Spurenstoffe aus Kläranlagen in Gewässer zu verringern, existieren verschiedene Ansätze. Hierzu zählen politisch-regulatorische Ansätze (Beschränkungen oder Verbote), die Optimierung der bereits eingesetzten biologischen und chemischen Prozesse sowie die technologische Erweiterung von Kläranlagen. Dementsprechend gewinnen Technologien der weitergehenden Abwasserbehandlung immer mehr an Bedeutung. Oxidative Technologien wie die Ozonung nehmen hierbei – neben Adsorption an Aktivkohle – eine wesentliche Rolle ein.

20 Das vorliegende Merkblatt fasst die wichtigsten Erkenntnisse der praxisrelevanten Forschung sowie der bisher erlangten Betriebsergebnisse der letzten etwa zehn Jahre zusammen und gibt wesentliche praktische Hinweise zu Konzeption, Umsetzung und Betrieb von Ozonanlagen zur weitergehenden Abwasserbehandlung. Aktuell laufen viele weitere Vorhaben, die den Einsatz von Ozon in der Abwasserbehandlung praktisch erproben und das Wissen kontinuierlich verbessern. Folglich stellt dieses Merkblatt zwar einen weitreichenden Überblick über die gesammelten Kenntnisse der letztjährigen Arbeiten in diesem Bereich dar, jedoch werden alsbald Aktualisierungen folgen, um die vermittelten Inhalte mit weiteren Daten weitreichender zu vertiefen.

28 Das vorliegende Merkblatt ist Teil der neu erarbeiteten Merkblattreihe DWA-M 285 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen“:

- 30 ■ DWA-M 285-1 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 1: Kriterien der Verfahrensauswahl mit ausgewählten Beispielen“ (in Erarbeitung),
- 32 ■ DWA-M 285-2 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“ (September 2021),
- 34 ■ DWA-M 285-3 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 3: Ozonung – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“ (September 2024).

36 In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich, wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

41 Frühere Ausgaben

42 Kein Vorgängerdokument

1 DWA-Klimakennung

2 Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung aus-
3 gezeichnet. Über diese Klimakennung können Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach
4 erkennen, in welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Kli-
5 maschutz auseinandersetzt. Das vorliegende Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

6 **KA0** = Das Merkblatt hat keinen Bezug zur Klimaanpassung

7 **KSO** = Das Merkblatt hat keinen Bezug zu Klimaschutzparametern

8 Einzelheiten zur Ableitung der Bewertungskriterien sind im „Leitfaden zur Einführung der Klimaken-
9 nung im DWA-Regelwerk“ erläutert, der online unter www.dwa.info/klimakennung verfügbar ist.

Frist zur Stellungnahme

Dieses Merkblatt wird bis zum

30. November 2024

zur Diskussion gestellt. Für den Zeitraum des öffentlichen Beteiligungsverfahrens
kann der Entwurf kostenfrei im DWA-Entwurfsportal (DWAdirekt):
www.dwa.info/entwurfsportal eingesehen werden.

Dort und unter www.dwa.info/Stellungnahmen-Entwurf
finden Sie eine digitale Vorlage für Ihre Stellungnahme.

Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Ein-
sprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheber-
rechtlich verwertet werden. Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende
Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme
unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person
wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

Stellungnahmen sind zu richten – vorzugsweise per E-Mail – an:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef
tschocke@dwa.de

1 Verfasserinnen und Verfasser

2 Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.5 „Ozonung auf Kläranlagen“ im Auftrag
3 des DWA-Hauptausschusses „Kommunale Abwasserbehandlung“ im DWA-Fachausschuss KA-8
4 „Verfahren der weitergehenden Abwasserreinigung nach biologischer Behandlung“ erarbeitet.

5 Der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.5 „Ozonung auf Kläranlagen“ gehören folgende Mitglieder an:

MIEHE, Ulf	Dr.-Ing., Berlin (Sprecher)
HÜBNER, Uwe	Dr.-Ing., Herford
KAUB, Jan Mauriz	Dr.-Ing., Bochum
KEYSERS, Christopher	Dr.-Ing., Bergheim
KOHLGRÜBER, Vera	M. Sc., Stuttgart
KREUZINGER, Norbert	Ass.-Prof. Mag. Dr., Wien (Österreich)
LYKO, Sven	Dr.-Ing., Essen
MAUS, Christian	M. Sc., Köln
RIED, Achim	Dr., Herford
SCHAAR, Heidemarie Paula	Dr., Wien (Österreich)
SCHACHTLER, Max	Dipl.-Ing., Langenthal (Schweiz)
STAPF, Michael	Dipl.-Ing., Berlin
WIELAND, Arne	Dipl.-Ing., Herford

Als Gast hat mitgewirkt:

REMY, Christian	Dr.-Ing., Berlin
-----------------	------------------

Dem DWA-Fachausschuss KA-8 „Verfahren der weitergehenden Abwasserreinigung nach biologischer Behandlung“ gehören folgende Mitglieder an:

BARJENBRUCH, Matthias	Prof. Dr.-Ing., Berlin (Obmann)
GNIRSS, Regina	Dipl.-Ing., Berlin (stellv. Obfrau)
BANNICK, Gerhard	Dr. sc. agr., Berlin
BEIER, Silvio	Prof. Dr.-Ing., Weimar
BIEBERSDORF, Norbert	Dipl.-Ing., Bochum
BLEISTEINER, Stefan	Dipl.-Ing., Augsburg
BÖHM, Bernhard	Dr.-Ing., München
DREWES, Jörg	Prof. Dr.-Ing., Garching
HABERKAMP, Jens	Prof. Dr.-Ing., Münster
KREUZINGER, Norbert	Ass.-Prof. Mag. Dr., Wien (Österreich)
METZGER, Steffen	Dr.-Ing., Pforzheim
MIEHE, Ulf	Dr.-Ing., Berlin
MONTAG, David	Dr.-Ing., Aachen
NAFO, Issa Ibrahim	Prof. Dr.-Ing., Essen
POPPE, Andrea	Dr. rer. nat., Köln
RENSCH, Daniel	Dipl.-Ing., Zürich (Schweiz)
SACK, Andreas	Dipl.-Ing., Neuss
STEINMETZ, Heidrun	Prof. Dr.-Ing., Kaiserslautern
TERNES, Thomas	Prof. Dr. rer. nat., Koblenz

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

1	Inhalt	
2	Vorwort	3
3	Verfasserinnen und Verfasser	5
4	Bilderverzeichnis	7
5	Tabellenverzeichnis	7
6	Hinweis für die Benutzung	8
7	1 Anwendungsbereich	8
8	2 Verweisungen	8
9	3 Begriffe	9
10	3.1 Definitionen	9
11	3.2 Begriffe und Definitionen zur Ozonbilanzierung	10
12	3.3 Abkürzungen und Formelzeichen	12
13	4 Ozon	14
14	4.1 Allgemeines	14
15	4.2 Ozon im Wasser	14
16	4.3 Reaktion von Ozon mit organischen Verbindungen	14
17	4.4 Reaktion von Ozon mit anorganischen Verbindungen	15
18	5 Spurenstoffelimination	15
19	5.1 Gesetzliche Anforderungen an Reinigungsleistung und Prozessüberwachung	15
20	5.2 Entfernung von Spurenstoffen mit Ozon	16
21	5.3 Korrelation der Spurenstoffelimination mit SAK ₂₅₄ -Reduzierung	17
22	5.4 Empfohlene Voruntersuchungen	18
23	5.4.1 Allgemeines	18
24	5.4.2 Messungen auf der Kläranlage	18
25	5.4.3 Bewertung des Bromatbildungspotenzials	18
26	5.4.4 Bestimmung der notwendigen Ozondosis	18
27	5.4.5 Laborversuche	19
28	6 Verfahren zur Abwasser ozonung	20
29	6.1 Grundlagen der Ozonerzeugung	20
30	6.2 Auswahl und Auslegung der Ozonerzeugung	21
31	6.2.1 Einsatzgas	21
32	6.2.2 Kühlung bei der Ozonerzeugung	23
33	6.2.3 Dimensionierung der Ozonerzeugungsanlage	23
34	6.2.4 Anzahl/Staffelung der Ozonerzeuger	24
35	6.3 Eintragsysteme	24
36	6.3.1 Allgemeines	24
37	6.3.2 Keramische Diffusoren	24
38	6.3.3 Injektoren	25
39	6.4 Hydraulische Auslegung des Ozonreaktors	26
40	6.4.1 Allgemeines	26

1	6.4.2	Vereinfachte Ableitung für Ozonreaktoren auf Kläranlagen.....	27
2	6.4.3	Ableitung des Reaktorvolumens basierend auf Laborversuchen.....	28
3	6.4.4	Optimierung des Reaktorvolumens mithilfe einer CFD-Simulation.....	28
4	6.5	Messtechnik, Steuerungs- und Regelungskonzepte.....	28
5	6.5.1	Allgemeines.....	28
6	6.5.2	Messtechnik.....	29
7	6.5.3	Ozonbilanz.....	29
8	6.5.4	Steuer- und Regelungskonzepte zur Adaption der Ozondosis.....	30
9	6.5.5	Betriebsüberwachung.....	31
10	6.6	Besondere Anforderungen an die Technik.....	32
11	7	Nachbehandlung des Ozonanlagenablaufs.....	34
12	8	Wirtschaftliche Aspekte.....	36
13	9	Umweltauswirkungen.....	37
14		Quellen und Literaturhinweise.....	39

15 Bilderverzeichnis

16	Bild 1:	Bilanzraum und die Bilanzgrößen einer Anlage zur Abwasser ozonung.....	10
17	Bild 2:	Beispielhafte Entfernung von Spurenstoffen in Abhängigkeit von	
18		der SAK ₂₅₄ -Reduktion.....	17
19	Bild 3:	Schema einer Ozonanlage und der notwendigen Betriebsmittel.....	20
20	Bild 4:	Beispielbild eines Ozonerzeugers und eines Restozonvernichters	
21		mit Verdichter zur Abluftabsaugung.....	21
22	Bild 5:	Vereinfachtes Fließbild für einen Gaseintrag durch Diffusoren.....	25
23	Bild 6:	Vereinfachtes Fließbild für einen Gaseintrag mithilfe eines Injektors.....	26
24	Bild 7:	Ozonreaktor mit Eintrags- und Reaktionszonen.....	27
25	Bild 8:	Schematische Übersicht zum Einsatz verschiedener Onlinemesstechnik.....	29

26 Tabellenverzeichnis

27	Tabelle 1:	Begriffe und Definitionen zur Ozonbilanzierung.....	11
28	Tabelle 2:	Im Merkblatt verwendete Abkürzungen und Formelzeichen.....	12
29	Tabelle 3:	Einstufung der Entfernbarkeit von ausgewählten Substanzen bei einer	
30		nitritkorrigierten spezifischen Ozondosis von 0,5 mg O ₃ /mg DOC.....	16
31	Tabelle 4:	Wesentliche Merkmale der Gasversorgung für eine Ozonanlage mit	
32		Angabe typischer Größenordnungen basierend auf dem Arbeitsblatt	
33		DVGW W 625 (A):2015.....	22
34	Tabelle 5:	Übersicht erprobter Steuerungs- und Regelungskonzepte zur Vorgabe	
35		der Ozondosis.....	30
36	Tabelle 6:	Treibhauspotenzial der Ozonung in Abhängigkeit der spezifischen	
37		Ozondosis und der Wasserqualität.....	38

Hinweis für die Benutzung

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 ein Merkblatt besteht eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jeder Person 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.

Normen und sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderer Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Regeln der DWA gleich, wenn mit ihnen dauerhaft das gleiche Schutzniveau erreicht wird.

1 Anwendungsbereich

Das Merkblatt gibt Hinweise zur Planung und Auslegung von Ozonanlagen zur Spurenstoffelimination aus kommunalem Abwasser.

Dieses Merkblatt richtet sich an das Personal von Ingenieurbüros, Kläranlagen und Fachbehörden und dient als praxisorientierte, fundierte Arbeitshilfe zur Planung von Ozonanlagen. Unter Berücksichtigung der Auslegungshinweise ist es möglich, mit einer Ozonung gut bis sehr gut oxidierbare Stoffe mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu einem hohen Prozentsatz aus dem Abwasser zu entfernen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die aufgeführten Auslegungsgrößen der auf den Kläranlagen bereits in Betrieb befindlichen Ozonanlagen nicht als allgemeingültige Bemessungsvorgaben zu verstehen sind. Jedoch ist nach den bisherigen Erfahrungen bei Einhaltung dieser Angaben ein stabiler Anlagenbetrieb gegeben.

2 Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Merkblatt teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Merkblatts erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 19627, *Ozonerzeugungsanlagen zur Wasserbehandlung*

DVGW W 625 (A), *Anlagen zur Erzeugung und Dosierung von Ozon in der Trinkwasserversorgung*. Arbeitsblatt

Das vorliegende Merkblatt DWA-M 285-3 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 3: Ozonung – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“ fasst die wichtigsten Erkenntnisse der praxisrelevanten Forschung sowie der bisher erlangten Betriebsergebnisse der letzten zehn Jahre zusammen und gibt wesentliche praktische Hinweise zu Konzeption, Umsetzung und Betrieb von Ozonanlagen zur Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen. Aktuell laufen viele weitere Vorhaben, die den Einsatz von Ozon in der Abwasserbehandlung praktisch erproben und das Wissen kontinuierlich verbessern. Das Merkblatt stellt einen weitreichenden Überblick über die gesammelten Kenntnisse der letztjährigen Arbeiten in diesem Bereich dar. Aufgrund der schnellen Entwicklung werden alsbald Aktualisierungen folgen, um die vermittelten Inhalte mit weiteren Daten weitreichender zu vertiefen.

Die beschriebenen Auslegungsgrößen der auf den Kläranlagen bereits in Betrieb befindlichen Ozonanlagen sind keine allgemeingültigen Bemessungsvorgaben. Bei Einhaltung dieser Angaben ist jedoch erfahrungsgemäß ein stabiler Anlagenbetrieb gegeben.

Das Merkblatt DWA-M 285-3 ist Teil der Merkblattreihe DWA-M 285 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen“:

- DWA-M 285-1 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 1: Kriterien der Verfahrensauswahl mit ausgewählten Beispielen“ (in Erarbeitung)
- DWA-M 285-2 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“ (September 2021)
- DWA-M 285-3 „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 3: Ozonung – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“ (Entwurf September 2024)

Teil 3 der Merkblattreihe DWA-M 285 richtet sich an das Personal von Ingenieurbüros, Kläranlagen und Fachbehörden und dient als praxisorientierte, fundierte Arbeitshilfe zur Planung von Ozonanlagen. Unter Berücksichtigung der Auslegungshinweise ist es möglich, mit einer Ozonung gut bis sehr gut oxidierbare Stoffe mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu einem hohen Prozentsatz aus dem Abwasser zu entfernen.

ISBN: 978-3-96862-746-5 (Print)
978-3-96862-747-2 (E-Book)

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