

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 349

**Biologische Stickstoffelimination von Schlammwässern
der anaeroben Schlammstabilisierung**

Mai 2019



DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 349

Biologische Stickstoffelimination von Schlammwässern
der anaeroben Schlammstabilisierung

Mai 2019



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

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 2019

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-88721-824-9 (Print)

978-3-88721-825-6 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

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 Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Im Hinblick auf eine verbesserte Energiebilanz von Kläranlagen (KA) liegt ein besonderer Fokus auf der weitergehenden Optimierung der Biogasausbeute bei der anaeroben Schlammbehandlung, z. B. durch vermehrte Abtrennung der Feststoffe in der Vorklärung, Zuführung von Co-Substraten und/oder einen weitergehenden Aufschluss der Schlammphase. Die resultierende Komplexität der Schlammbehandlung führt dabei zu einer zunehmenden Konzentrierung der Behandlungsanlagen, wie z. B. der gemeinsamen Behandlung der Schlämme mehrerer Kläranlagen in einer zentralen Schlammbehandlung. Eine Tendenz, die durch die Einschränkungen der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung durch die neue Klärschlammverordnung (AbfKlärV 2017) und die dort geforderte Umsetzung der Phosphor-Rückgewinnung für größere Kläranlagen in Zukunft weiter verschärft werden wird. Nebeneffekte der vorbeschriebenen Kläranlagenkonzepte sind dabei die Erhöhung der bei der Schlammbehandlung anfallenden Stickstofffrachten (und -konzentrationen) für die einzelne Anlage ebenso wie eine zunehmende Konzentrierung der Frachten auf einzelne Standorte. Zur Entlastung des Hauptstroms und zur Verbesserung der Ablaufwerte kann sich in diesem Kontext eine Behandlung hochkonzentrierter Schlammwässer im Teilstrom anbieten, sodass diese an Bedeutung gewonnen hat. Gleichzeitig steht mit der Deammonifikation (Stickstoffelimination unter verringertem Sauerstoffverbrauch und ohne organischen Kohlenstoffbedarf) als „Weiterentwicklung“ der biologischen Stickstoffelimination inzwischen ein im Hinblick auf energieoptimierte Anlagenkonzepte wirkungsvolles Verfahren der Schlammwasserbehandlung im Teilstrom zur Verfügung.

Zurzeit werden in Deutschland ca. 70 Anlagen zur Behandlung des Schlammwassers im Teilstrom betrieben – aufgrund des überzeugenden Einsparungspotenzials liegt der aktuelle Schwerpunkt der Verfahrensumsetzung auf der Deammonifikation mit etwa 2 bis 3 neuen Anlagen jährlich. Dies zum Anlass nehmend hat sich die DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.3 die Aufgabe gestellt, den aktuellen Stand der biologischen Stickstoffelimination von Schlammwässern der anaeroben Schlammstabilisierung in einem Merkblatt zusammenzustellen. Auf diesem Weg sollen Planende und Betreiber unterstützt werden, die biologische Teilstrombehandlung in ihre Verfahrenskonzeptionen zu integrieren.

Die DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.3 „Rückbelastung aus anaeroben Behandlungsstufen“ wurde im Jahr 1997 unter dem Titel „Rückbelastung aus der Schlammbehandlung“ gegründet. Die Arbeitsgruppe hat in einem ersten Arbeitsbericht (ATV-DVWK 2000) die Menge und Beschaffenheit von Rückbelastungen aus der Schlammbehandlung charakterisiert. Darauf aufbauend wurden in einem zweiten Arbeitsbericht (DWA 2004) die verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Behandlungsansätze im Überblick beschrieben. Die beiden Arbeitsberichte bilden die Grundlage für die Erstellung des vorliegenden Merkblatts DWA-M 349. Im Zuge dieser Arbeiten wurde der thematische Fokus geschärft und die Arbeitsgruppe wird seit 2013 unter dem neuen Titel „Rückbelastung aus anaeroben Behandlungsstufen“ geführt. Im vorliegenden Merkblatt DWA-M 349 liegt der Schwerpunkt auf den verfahrenstechnischen Konzepten zur biologischen Stickstoffelimination aus Schlammwässern aus der anaeroben Schlammstabilisierung kommunaler Kläranlagen. Neben Verfahrenserläuterungen werden Hinweise zur Auslegung und zum Betrieb gegeben. Die Hinweise können auf andere hoch stickstoffhaltige Abwasser konzeptionell übertragen werden.

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.

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.3 „Rückbelastung aus anaeroben Behandlungsstufen“ im Auftrag des DWA-Hauptausschusses „Kreislaufwirtschaft, Energie und Klärschlamm“ (HA KEK) im DWA-Fachausschuss KEK-1 „Zukunftstechnologien und übergreifende Fragestellungen“ erstellt.

Der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.3 gehören folgende Mitglieder an:

BEIER, Maike	Dr.-Ing., Hannover (Sprecherin)
GRÖMPING, Markus	Prof. Dr.-Ing., Aachen
HENNERKES, Jörg	Dr.-Ing., Essen
JOSS, Adriano	Dr. sc. nat., Dübendorf
KÜHN, Volker	Dr.-Ing., Dresden
LACKNER, Susanne	Prof. Dr., Darmstadt
OSTHOFF, Thomas	Dipl.-Ing., Achim
PHAN, Linh-Con	Dr.-Ing., Essen
SCHÄPERS, Doris	Dipl.-Biol., Aachen

Dem DWA-Fachausschuss KEK-1 „Zukunftstechnologien und übergreifende Fragestellungen“ gehören folgende Mitglieder an:

BEIER, Maike	Dr.-Ing., Hannover (Obfrau)
BAUERFELD, Katrin	Dr.-Ing., Braunschweig
DURTH, Anke	Dr.-Ing., Darmstadt
HARTMANN, Karl Heinz	Dr.-Ing., Vöhringen
MÜLLER-SCHAPER, Johannes	Prof. Dr.-Ing., Hannover
OTTE-WITTE, Rolf	Dr., Elze
PINNEKAMP, Johannes	Prof. Dr.-Ing., Aachen
SIEKMANN, Klaus	Dr.-Ing., Thür

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

REIFENSTUHL, Reinhard	Dipl.-Ing., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
-----------------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	7
Hinweis für die Benutzung	8
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Verweisungen	9
3 Begriffe	10
3.1 Definitionen.....	10
3.2 Symbole und Abkürzungen.....	12
4 Biologische Prozesse der Stickstoffumsetzung	15
4.1 Allgemeines	15
4.2 Nitrifikation/Denitrifikation	15
4.3 Nitritation/Denitritation	16
4.4 Deammonifikation	17
4.5 Prozessgrößen.....	18
4.5.1 Kinetische Prozessgrößen.....	18
4.5.2 Hemmungen	20
4.6 Schlammsysteme	23
4.6.1 Allgemeines	23
4.6.2 Biofilme.....	23
4.6.3 Suspendierte Biomasse.....	24
4.6.4 Granula	25
5 Verfahrenstypen und ihre Auslegung	25
5.1 Nitritation.....	25
5.1.1 Verfahrensbeschreibung	25
5.1.2 Auslegung und Bemessungsgrößen	26
5.2 Denitritation	27
5.2.1 Verfahrensbeschreibung	27
5.2.2 Auslegung und Bemessungsgrößen	28
5.3 Zweistufige Deammonifikation.....	29
5.3.1 Verfahrensbeschreibung	29
5.3.2 Auslegung und Bemessungsgrößen	29
5.4 Einstufige Deammonifikation	30
5.4.1 Verfahrensbeschreibung	30
5.4.2 Auslegung und Bemessungsgrößen	33
5.5 Vergleichende Gegenüberstellung der Verfahren	34
5.6 Überblick großtechnischer Verfahrensumsetzung.....	35

6	Planung und Bau	36
6.1	Konzeptionelle Überlegung	36
6.2	Datenermittlung zur Anlagenauslegung	37
6.2.1	Datengrundlage	37
6.2.2	Theoretische Abschätzung der Schlammwasserbeschaffenheit.....	38
6.3	Einbindung in die Gesamtanlage	41
6.3.1	Allgemeines	41
6.3.2	Wärmeconcept	42
6.3.3	Reststoffentsorgung	42
6.3.4	Auswirkungen der Teilstrombehandlung auf Ablaufwerte der Gesamtanlage	42
6.4	Bau- und Anlagentechnik	43
6.4.1	Vorbemerkung	43
6.4.2	Speicherbehälter	43
6.4.3	Biologische Reaktoren.....	44
6.4.4	Belüftungseinrichtungen	45
6.4.5	Umwälzeinrichtung.....	46
6.4.6	Schlammabtrennung, Schlammrückhalt.....	47
6.4.7	Dosiereinrichtungen	47
6.4.8	Sicherheit (Ex-Schutz), Abluft, Geruchsemissionen	48
6.5	Kosten	48
7	Betrieb	51
7.1	Analytik und Analysenqualität	51
7.1.1	Online-Messtechnik.....	51
7.1.2	Chemische und physikalische Laboranalyse	52
7.1.3	Methode zur Aktivitätsmessung	53
7.1.4	Mikrobielle Analysen	53
7.2	Hinweise zur Inbetriebnahme	54
7.2.1	Inbetriebnahme Nitrifikation.....	54
7.2.2	Inbetriebnahme Denitrifikation	54
7.2.3	Inbetriebnahme Deammonifikation.....	55
7.2.3.1	Allgemeines	55
7.2.3.2	Einstufige Deammonifikation, suspendiert	55
7.2.3.3	Zweistufige Deammonifikation	56
7.2.3.4	Impfslamm.....	57
7.2.4	Inbetriebnahme Biofilmreaktoren.....	57
7.3	Hinweise zum Betrieb.....	58
7.3.1	Vorbemerkung	58
7.3.2	Betriebspausen.....	58
7.3.3	Betriebsstörungen	58
7.3.3.1	Allgemeines	58
7.3.3.2	Betriebsstörungen bei der einstufigen Deammonifikation.....	58
7.3.3.3	Betriebsstörungen bei der zweistufigen Deammonifikation	60

Anhang A Beispielanlagen	61
A.1 Beispielanlage Rheda-Wiedenbrück: Nitrifikation/Denitrifikation.....	62
A.2 Beispielanlage Hattingen: Zweistufige Deammonifikation (Biofilm).....	65
A.3 Beispielanlage Kamen: Einstufige Deammonifikation.....	68
A.4 Beispielanlage Plettenberg: Einstufige Deammonifikation.....	71
A.5 Beispielanlage Werdhölzli: Einstufige Deammonifikation.....	74
A.6 Beispielanlage KA Booser Au, Bad Sobernheim: Einstufige Deammonifikation.....	76
A.7 Beispielanlage KA Dirnau, Stadtwerke Landshut: Zweistufige Deammonifikation ..	79
Quellen und Literaturhinweise	83

Bilderverzeichnis

Bild 1: Prozessüberblick „Nitrifikation/Denitrifikation“	15
Bild 2: Prozessüberblick „Nitrifikation/Denitrifikation“	16
Bild 3: Prozessüberblick „Deammonifikation“	17
Bild 4: Hemmdreieck zur beispielhaften Beschreibung der Hemmung der Nitrifikanten gegenüber salpetriger Säure und Ammoniak	21
Bild 5: Schematische Darstellung der Ausbildung verschiedener Zonen im Biofilm in Abhängigkeit des Sauerstoffprofils	23
Bild 6: Einbindungsmöglichkeiten einer Schlammwasserbehandlung in die Gesamtanlage	41
Bild 7: Auswirkungen einer Schlammwasserbehandlung auf die Ablaufwerte der Gesamtanlage (Modellrechnungen).....	43
Bild A.1: Beispielanlage – Rheda-Wiedenbrück – Fließschema	62
Bild A.2: Beispielanlage Hattingen – Fließschema.....	65
Bild A.3: Beispielanlage Kamen – Fließschema	68
Bild A.4: Beispielanlage Plettenberg – Fließschema	71
Bild A.5: Beispielanlage Bad Sobernheim – Fließschema	76
Bild A.6: Beispielanlage Dirnau – Fließschema	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bandbreiten kinetischer Größen und Prozessparameter der bei den verschiedenen Stickstoffumsetzungen beteiligten Bakterien	20
Tabelle 2: Zusammenstellung spezifischer Verfahrensnamen zur Deammonifikation und Einordnung der Beispielanlagen in die Systematik.....	35
Tabelle 3: Qualitativer Vergleich einer Schlammwasserbehandlung im Teil- bzw. Hauptstrom	36
Tabelle 4: Benötigte Daten zur Anlagenauslegung	38
Tabelle 5: Beschaffenheit von Primärschlamm	40
Tabelle 6: Beschaffenheit von Überschussschlamm	40
Tabelle 7: Zusammenstellung eingesetzter Online-Messungen nach Verfahrenstyp	52
Tabelle 8: Zusammenstellung der Labormessungen	52
Tabelle A.1: Zusammensetzung/Konzentrationen der Zentratwasserströme aus den Faulbehältern 1 und 2	63