

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 302

Klärschlammdesintegration

Dezember 2016



DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 302

Klärschlammdeintegration

Dezember 2016



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
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Siebengebirgsdruck, Bad Honnef

ISBN:

978-3-88721-422-7 (Print)
978-3-88721-423-4 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2016

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 Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Die Desintegration von Klärschlämmen wird inzwischen seit vielen Jahren wissenschaftlich untersucht, aber gleichwohl auch in der Praxis angewendet. Obwohl sie immer noch den innovativen Verfahren zugeordnet werden kann, liegen mittlerweile bereits umfangreiche Erfahrungen und Ergebnisse vor, sodass es dem DWA-Fachausschuss KEK-1 „Zukunftstechnologien und übergreifende Fragestellungen“ und seiner DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.6 „Klärschlamm-desintegration“ sinnvoll erschien, diese in einem Merkblatt zusammenzuführen.

Seit ihrer Gründung im Jahr 1996 hat die Arbeitsgruppe insgesamt 6 Arbeitsberichte erstellt. Die Inhalte dieser Arbeitsberichte wurden aktualisiert und bilden die Grundlage für das Merkblatt. Darüber hinaus wurden zahlreiche Inhalte ergänzt und erweitert. Insbesondere wurden die Analysemethoden und Messgrößen detailliert beschrieben, da diese für die Bewertung und den Vergleich von Desintegrationsverfahren von großer Bedeutung sind sowie die Umsetzung in die Praxis in allen Aspekten dargestellt.

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 beide Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.6 „Klärschlammdeintegration“ im DWA-Fachausschuss KEK-1 „Zukunftstechnologien und übergreifende Fragestellungen“ erstellt, der folgende Mitglieder angehören:

BORMANN, Hinnerk	Dipl.-Ing., Clausthal
HEINZMANN, Bernd	Dr.-Ing., Berlin
KOPFLOW, Ole	Dr.-Ing., Viersen
MÜLLER-SCHAPER, Johannes	Prof. Dr.-Ing., Hannover (Sprecher)
OLES, Jürgen	Dr.-Ing., Gladbeck
RAND, Wiebke	Dipl.-Ing., Herford
SCHMELZ, Karl-Georg	Prof. Dr.-Ing., Essen
SEILER, Kainan	Dr.-Ing., Darmstadt (stellv. Sprecher)
WAGENBACH, Anja	Dipl.-Ing., Hamburg

Mitglieder des DWA-Fachausschusses KEK-1:

BAUERFELD, Katrin	Dr.-Ing., Braunschweig
BEIER, Maike	Dr.-Ing., Hannover
DURTH, Anke	Dr.-Ing., Darmstadt
HARTMANN, Karl Heinz	Dr.-Ing., Vöhringen
HEINZMANN, Bernd	Dr.-Ing., Berlin
JARDIN, Norbert	Prof. Dr.-Ing., Essen (Obmann)
KRANERT, Martin	Prof. Dr.-Ing., Stuttgart
MÜLLER-SCHAPER, Johannes	Prof. Dr.-Ing., Hannover
OTTE-WITTE, Rolf	Dr., Elze
PINNEKAMP, Johannes	Univ.-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	8
Tabellenverzeichnis	9
Benutzerhinweis	10
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	10
2 Begriffe	11
2.1 Definitionen.....	11
2.1.1 Klärschlammesintegration.....	11
2.1.2 Desintegrat	11
2.1.3 Desintegrationsgrad	11
2.1.4 Zerkleinerungsgrad.....	11
2.1.5 Aufschlussgrad	11
2.1.6 Hydrolyse	11
2.1.7 Exopolymere Substanzen (EPS)	12
2.2 Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes	12
3 Wirkung und Einsatzbereiche	16
4 Analysemethoden und Messgrößen	19
4.1 Allgemeines	19
4.2 Zerkleinerungsgrad und Partikelgrößenverteilung	20
4.3 Schlammstruktur und Zusammensetzung	23
4.4 Rheologische Eigenschaften	25
4.5 Aufschlussgrad	28
4.5.1 Allgemeines	28
4.5.2 Aufschlussgrad (A_{CSB}) bestimmt auf Basis des chemischen Sauerstoffbedarfs	29
4.5.3 Aufschlussgrad (A_{OV}) bestimmt auf Basis der Sauerstoffverbrauchsrate	30
4.6 Energieeintrag und Energiebedarf.....	31
4.7 Entwässerungsverhalten.....	31
4.8 Feststoffgehalt und Glühverlust.....	32
4.9 Desinfektionswirkung.....	32
5 Verfahrensbeschreibung	32
5.1 Allgemeines	32
5.2 Verfahren mit physikalischem Wirkprinzip	34
5.2.1 Hydromechanik/Hydrokavitation	34
5.2.2 Akustisch induzierte Kavitation	35
5.2.3 Prall-/Scherkräfte	35
5.2.4 Thermische Behandlung	36
5.2.5 Veränderung von Oberflächenladungen durch elektrische Felder	37

5.2.6	Elektroporation.....	37
5.2.7	Wirkprinzip Ionisierung, Strahlung	37
5.3	Verfahren mit chemischem Wirkprinzip	38
5.3.1	Hydrolyse	38
5.3.2	Oxidation	38
5.3.3	Veränderung von Oberflächeneigenschaften durch chemische Substanzen	38
5.4	Verfahren mit biologischem Wirkprinzip.....	38
6	Erreichte Ergebnisse	39
6.1	Allgemeines	39
6.2	Physikalische Verfahren	40
6.2.1	Vorbemerkungen	40
6.2.2	Hydromechanik/Hydrokavitation	40
6.2.3	Akustisch induzierte Kavitation	41
6.2.4	Prall- und Scherkräfte.....	42
6.2.5	Thermische Verfahren.....	43
6.2.6	Elektrokinetische Desintegration.....	46
6.2.7	Elektroporation.....	47
6.2.8	Wirkprinzip Ionisierung, Strahlung	47
6.3	Chemische Desintegrationsverfahren.....	47
6.3.1	Hydrolyse	47
6.3.2	Oxidation	49
6.3.3	Veränderung von Oberflächeneigenschaften.....	50
6.4	Verfahren mit biologischem Wirkprinzip.....	51
6.5	Zusammenfassung der erreichten Ergebnisse.....	52
7	Anwendung der Desintegration	54
7.1	Allgemeines	54
7.2	Steigerung der Gasausbeute bei der Schlammfäulung	56
7.3	Verminderung der Klärschlammmenge	58
7.4	Verbesserung des Entwässerungsverhaltens	58
7.5	Bekämpfung von Blähschlamm, Schwimmschlamm und Schaum	59
7.6	Einsatz des Desintegrats bei der Denitrifikation.....	60
7.7	Freisetzung von Nährstoffen für deren Rückgewinnung.....	61
7.8	Desinfektion von Klärschlamm	61
8	Energiebilanz	62
8.1	Grundlagen	62
8.1.1	Vorbemerkungen	62
8.1.2	Energieverbrauch	62
8.1.2.1	Energieverbrauch für die Desintegration.....	62
8.1.2.2	Sekundäre Effekte	63
8.1.3	Energieertrag aus Faulgas	64
8.2	Beispielhafte Berechnung der Energiebilanz der Desintegration anhand einer Modellkläranlage	64
8.2.1	Vorbemerkungen	64
8.2.2	Energieverbrauch	65

8.2.3	Energiebilanz für die Modellkläranlage	66
8.2.4	Einfluss der Desintegration auf die Gesamt-Energiebilanz einer Kläranlage	67
9	Vorgehen bei der Umsetzung in die Praxis	67
9.1	Allgemeines	67
9.2	Vorüberlegungen für die Planung	67
9.3	Abschätzung der Auswirkungen der Desintegration	68
9.3.1	Vorbemerkungen	68
9.3.2	Abschätzung der Leistungssteigerung der Faulung	68
9.3.3	Abschätzung der Verbesserung der Denitrifikationsleistung	70
9.3.4	Abschätzung der Schlammverminderung in der Belebung	71
9.3.5	Abschätzung der Minderung von Betriebsproblemen	71
9.3.6	Abschätzung der Verbesserung des Konditionierungs- und Entwässerungsverhaltens	71
9.4	Abschätzung der sekundären Auswirkungen/Einbindung in die Gesamtanlage (aufgrund der Freisetzung von Nährstoffen).....	72
9.5	Methodik zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit	72
Anhang A	Ausgewählte Ergebnisse mechanischer Desintegrationsverfahren der anaeroben Schlammstabilisierung	80
Anhang B	Ausgewählte Ergebnisse thermischer Desintegrationsverfahren bei der anaeroben Schlammstabilisierung	82
Anhang C	Ausgewählte Ergebnisse chemischer Desintegrationsverfahren bei der anaeroben Schlammstabilisierung	84
Anhang D	Ausgewählte Ergebnisse zum Einsatz verschiedener Enzyme zur Schlammbehandlung	86
Anhang E	Laborversuche zur Abschätzung der Desintegrationswirkung im Hinblick auf eine Verbesserung der Denitrifikationsleistung	88
E.1	Allgemeines	88
E.2	Benötigte Laboreinrichtungen und Verbrauchsmaterialien für einen Versuchsdurchlauf.....	88
E.3	Versuchsdurchführung	88
E.4	Versuchsauswertung	89
Quellen und Literaturhinweise	90

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Mögliche Einsatzorte der Klärschlamm-Desintegration	18
Bild 2:	Beispielhafte Partikelgrößenverteilung (Dichteverteilung) von Überschussschlamm und Überschussschlamm-Hydrolysat	20
Bild 3:	Zusammenhang zwischen Energieeintrag und verschiedenen Schlammeigenschaften wie Partikelgröße und CSB-Freisetzung	21
Bild 4:	Summenkurve einer exemplarischen Partikelgrößenverteilung	22
Bild 5:	Beispiel für die Veränderung der Gesamtfädigkeit durch die Desintegration	24
Bild 6:	Beispiel der Veränderung der „India Ink Reverse“-Färbung durch die Desintegration	24
Bild 7:	Fließverhalten verschiedener Fluide.....	27
Bild 8:	Fließkurve eines Klärschlammes nach KLINKSIEG (2010) (Hinweis: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).....	27
Bild 9:	Viskosität von Überschussschlamm und Hydrolysat nach thermischer Desintegration (Cambi-Verfahren) als Funktion der Schergeschwindigkeit.....	28
Bild 10:	Gelöste CSB-Konzentrationen zweier unterschiedlicher Schlämme vor und nach dem Referenzaufschluss mit Lauge und Schwefelsäure.....	30
Bild 11:	Schematischer Aufbau eines Homogenisators	34
Bild 12:	Schematischer Aufbau einer einfachen Düse	34
Bild 13:	Beispielhafter Aufbau zweier Ultraschallanlagen	35
Bild 14:	Mechanismen der Elektroporation (schematisch).....	37
Bild 15:	Spezifischer Energieeintrag und Aufschlussgrad nach Sauerstoffbedarf (A_{OV} oder A_S) für die mechanische Desintegration von Überschussschlamm.....	40
Bild 16:	Überschussschlamm vor sowie nach der Ozonbehandlung mit $0,03 \text{ g O}_3/\text{g TS}$ (Mitte) bzw. $0,08 \text{ g O}_3/\text{g TS}$	50
Bild 17:	Ergebnisse einer Umfrage zur Dosierung von Zusatzstoff.....	52
Bild 18:	Übersicht über die empfohlene Vorgehensweise bei einer Untersuchung des Einsatzes einer Desintegrationsanlage	54
Bild 19:	Energieverbrauch und Energiegewinn verschiedener Desintegrationsverfahren	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einsatzorte und Ziele der Desintegration	18
Tabelle 2:	Abschätzung der Gesamtfädigkeit nach KNOOP (1997)	23
Tabelle 3:	Einteilung der EPS-Gehalte	24
Tabelle 4:	Nach Wirkprinzip unterteilte Zusammenstellung der in Deutschland und dem europäischen Ausland großtechnisch angewendeten Verfahren zur Klärschlamm-desintegration	33
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Thermo-Druck-Hydrolyse, Behandlung des Klärschlamm bei 150 °C – 30 min (Mittelwerte)	45
Tabelle 6:	Zusammenfassung der Ergebnisse zum PONDUS-Verfahren, Behandlung des Überschussschlamm bei 70 °C – 120 min + NaOH (Mittelwerte)	49
Tabelle 7:	Überblick zu üblichen Energieeinträgen, möglichen Ergebnissen und verfahrensspezifischen Besonderheiten verschiedener Desintegrationsverfahren	53
Tabelle 8:	Einteilung von Desintegrationsverfahren anhand des angestrebten Aufschlussgrads	55
Tabelle 9:	Energieverbrauch verschiedener Desintegrationsverfahren	63
Tabelle 10:	Kenndaten der Primär- und Überschussschlammströme der Modellkläranlage	64
Tabelle 11:	Kenndaten des Rohschlammstroms der Modellkläranlage	64
Tabelle 12:	Angenommener Energieverbrauch einzelner Aggregate	65
Tabelle 13:	Energieverbrauch der Peripheriegeräte der Desintegrationsanlagen für die Modellkläranlage	65
Tabelle 14:	Beispielhafte Abschätzung der maximalen Steigerung des Abbaugrads	69
Tabelle 15:	Kapital- und Betriebskosten	74
Tabelle 16:	Reduzierung der zu entsorgenden Feststoffmenge durch Desintegration	75
Tabelle 17:	Reduzierung der Entsorgungskosten	76
Tabelle 18:	Reduzierung der Stromkosten (Erhöhung BHKW-Stromerzeugung)	77
Tabelle 19:	Zusatzkosten durch den erhöhten O ₂ -Bedarf aufgrund N-Rückbelastung	77
Tabelle 20:	Zusatzkosten durch die Erhöhung des Bedarfs an polymeren Flockungsmitteln	78
Tabelle 21:	Kosten-Nutzen-Vergleich für die Schlammentsorgungskosten von 50 €/Mg Nassschlamm	79

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.

Einleitung

Das vorliegende Merkblatt soll einen Überblick und eine Orientierung über das Themengebiet der Klärschlamm-Desintegration ermöglichen. Neben der detaillierten und umfangreichen Darstellung aller Aspekte der Desintegration soll gleichzeitig eine schnelle und zielführende Bewertung möglich sein. Hierzu dient insbesondere Abschnitt 7 „Anwendung der Desintegration“, der für einen schnellen Einstieg ins Thema empfohlen wird.

In allen Teilen des Merkblattes wurde auf einen hohen Praxisbezug Wert gelegt, was sich vor allem im Abschnitt 9 „Vorgehen bei der Umsetzung in die Praxis“ zeigt, in dem auch die Durchführung einer umfassenden Wirtschaftlichkeitsberechnung demonstriert wird.

1 Anwendungsbereich

Die Klärschlamm-Desintegration wird als die Zerkleinerung von Klärschlämmen durch die Einwirkung äußerer Kräfte (physikalisch, chemisch, biologisch) definiert (DWA 2000a). Sie führt von der Auflösung der Flockenstruktur bis zum Aufschluss der im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen und Partikel.

Damit umfasst die Klärschlamm-Desintegration auch die Hydrolyse von Klärschlamm. Dieser Begriff wird in einigen Bereichen synonym zur Desintegration verwendet, beschreibt die tatsächlich stattfindenden Vorgänge aber weniger präzise.

Das Merkblatt gibt Empfehlungen und Informationen für den Einsatz von Desintegrationsanlagen auf Kläranlagen und deren wirtschaftlichen Betrieb.

Das Merkblatt bezieht sich generell auf alle Verfahren, die eine Desintegrationswirkung auf den Klärschlamm haben. Dabei wird insbesondere auf großtechnische Erfahrungen und Ergebnisse unterschiedlicher Desintegrationsverfahren eingegangen.

Es wird empfohlen, unabhängig von den hier gemachten Vorgaben, den Einsatz von Desintegrationsanlagen projekt- bzw. standortbezogen durch Versuche und Analysen zu überprüfen. Im Merkblatt werden dazu Handlungsempfehlungen gegeben.