

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 386

Thermische Behandlung von Klärschlämmen – Monoverbrennung

Dezember 2011

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:

Druckhaus Köthen

ISBN:

978-3-942964-03-6

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011

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

Der DWA-Fachausschuss AK-3 „Energetische Verwertung und thermische Behandlung“ hat bisher in mehreren Arbeitsberichten spezielle Aspekte der Verbrennung von Klärschlämmen bearbeitet. Es wurden insbesondere Fragen zu Emissionen, aber auch rechtliche und wirtschaftliche Aspekte vertieft und im Rahmen der folgenden Arbeitsberichte in der *KA Abwasser Abfall* behandelt:

- „Klärschlammverbrennung – Emissionen“ (ATV 1995)
- „NO_x - und N₂O-Emissionen bei der Verbrennung von Klärschlämmen“ (ATV 1996)
- „Emissionen von Quecksilber aus Klärschlammverbrennungsanlagen“ (ATV 1997a)
- „Klärschlammverbrennung – Beseitigung oder Verwertung?“ (ATV 1997b)
- „Kostenstrukturen und Schnittstellen von Anlagen zur thermischen Klärschlammverwertung“ (ATV-DVWK 2001)

Die in den Arbeitsberichten dargestellten Grundlagen wurden nun für die Monoklärschlammverbrennung in Form des vorliegenden Merkblattes zusammengefasst, aktualisiert und um wichtige Inhalte ergänzt.

Die Mitverbrennung von Klärschlämmen in Kraftwerken wird in einem weiteren Merkblatt DWA-M 387 „Thermische Behandlung von Klärschlämmen – Mitverbrennung in Kraftwerken“ (in Vorbereitung) behandelt.

Verfasser

Das Merkblatt wurde vom DWA-Fachausschuss AK-3 „Energetische Verwertung und thermische Behandlung“ erarbeitet.

Dem DWA-Fachausschuss AK-3 „Energetische Verwertung und thermische Behandlung“ gehören folgende Mitglieder an:

BASSE, Stefan	Dr., Greppin
BUCK, Peter	Dipl.-Ing., Heilbronn
DOMSCHKE, Thomas	Dr.-Ing., Ludwigshafen
ELSTERMANN, Norbert	Dipl.-Ing., Meerbusch
ESSER, Richard	Dipl.-Ing., Bonn
HANßEN, Harald	Dipl.-Ing., Hamburg
HASELWIMMER, Thomas	Dipl.-Ing., Stuttgart
HILLER, Georg	Dipl.-Ing., Neu-Ulm
JASPER, Matthias	Dipl.-Ing., Hannover
KAPPA, Sven	Dipl.-Ing., Cottbus
KRISTKEITZ, Rainer	Dipl.-Ing., Wuppertal
LEHRMANN, Falko	Dipl.-Ing., Lünen (Obmann)
LUDWIG, Paul	Dipl.-Ing., Frankfurt am Main
MAURER, Martin	Dipl.-Ing., Karlsruhe
OSTERTAG, Michael	Dipl.-Ing., München
PETERS, Uwe	Dipl.-Ing., Frechen
PIETSCH, Bernhard	Dipl.-Ing., Berlin
SCHROTH, Herbert	Dipl.-Ing., Stuttgart (ehem.)
STEIER, Klaus	Dr.-Ing., München
WERTHER, Joachim	Prof. Dr.-Ing., Hamburg
WESSEL, Michael	Dipl.-Ing., Essen

Als Gast hat mitgewirkt:

KANEFKE, Rico	Dr., Leverkusen
---------------	-----------------

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

REIFENSTUHL, Reinhard	Dipl.-Ing., Hennef Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden
-----------------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	7
Benutzerhinweis.....	8
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Begriffe	9
2.1 Allgemeines	9
2.2 Definitionen	9
2.3 Abkürzungen und Symbole	10
3 Brennstoffeigenschaften von Klärschlämmen	11
4 Trocknung als Vorstufe der Monoverbrennung.....	12
5 Klärschlammtransport und Dosierung.....	12
5.1 Klärschlammannahme, -lagerung und -transport	12
5.1.1 Mechanisch entwässerter Klärschlamm	12
5.1.2 Teilgetrockneter Klärschlamm.....	13
5.1.3 Vollgetrockneter Klärschlamm	14
5.2 Dosiereinrichtungen und Zuleitung zum Verbrennungsöfen	16
5.3 Sicherheitsaspekte der Schlammlagerung	17
6 Feuerungssysteme	18
6.1 Wirbelschichtöfen	18
6.2 Etagenöfen.....	20
6.3 Etagenwirbler	21
6.4 Alternative Verfahren.....	21
6.4.1 Rostfeuerung.....	21
6.4.2 Drehrohröfen	21
6.4.3 Pyrolyse und Vergasung.....	22
6.4.4 Staub- und Zyklonfeuerungen.....	22
6.5 Sicherheitsaspekte zur Feuerungstechnik.....	22
7 Abwärmenutzung	23
7.1 Abwärmenutzung bei Etagenöfen	23
7.2 Abwärmenutzung bei Wirbelschichtöfen.....	23
7.3 Dampfturbinenprozess	25
7.4 Massen- und Energiebilanzen, Wirkungsgrade.....	25
7.4.1 Grundlagen.....	26
7.4.2 Verluste.....	26
7.4.3 Wirkungsgrade.....	26
7.4.4 Beispielrechnungen.....	27
7.4.5 Optimierungsmöglichkeiten	28
7.4.6 Energetische Verwertung nach Richtlinie 2008/98/EG (R1-Kriterium).....	28

8	Emissionen und Abgasreinigung	30
8.1	Kohlenmonoxid, Stickoxide, organische Verbindungen (CO, NO _x , org. C)	30
8.2	Dioxine und Furane	31
8.3	HCl, HF, SO ₂ , Staub, Schwermetalle	32
8.3.1	Nasse Verfahren	32
8.3.2	Trockene Verfahren.....	32
8.4	Praxisbeispiele zur Abgasreinigung	33
8.4.1	Mehrstufige Wäsche mit Natronlauge-Entschwefelung.....	33
8.4.2	Sprühabsorber mit Elektrofilter und Natronlauge-Entschwefelung.....	34
8.4.3	Sprühabsorber mit Gewebefilter, Kalkstein-Entschwefelung mit Gips- erzeugung	35
8.5	Quecksilber und seine Verbindungen in Verbrennungsanlagen	35
8.5.1	Oxidationsreaktionen des Quecksilbers	35
8.5.2	Abscheidung von Quecksilber	36
8.5.2.1	Abscheidung des Quecksilbers durch Oxidation und Adsorption	36
8.5.2.2	Abscheidung des Quecksilbers durch Adsorption	37
8.5.2.3	Abscheidung des Quecksilbers mit anderen Verfahren	37
8.6	Abgasableitung	37
9	Organisationsstruktur	38
9.1	Mitarbeiterqualifikation	38
9.1.1	Anlagenbetrieb.....	38
9.1.2	Instandhaltung.....	40
9.2	Schichtmodelle.....	40
10	Genehmigungsrechtliche Aspekte	41
11	Abfälle	42
11.1	Rückstände aus der Verbrennung.....	42
11.2	Phosphorrecycling aus Klärschlammaschen.....	43
11.3	Rückstände aus der Abgasreinigung.....	44
12	Kosten der Klärschlammmonoverbrennung	44
13	Praxisbeispiele für Klärschlammmonoverbrennungsanlagen	47
13.1	Hauptklärwerk Stuttgart Mühlhausen	47
13.2	VERA Hamburg	48
13.3	INNOVATHERM Lünen	50
13.4	Wuppertal Buchenhofen.....	51
13.5	Currenta Leverkusen	52
14	Standorte von Monoverbrennungsanlagen	54
EG- und Bundesrecht	55	
Technische Regeln	55	
DIN-Normen	55	
DWA-Regelwerk.....	55	
Literatur	56	

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Wirbelschichtofen	18
Bild 2:	Etagenofen.....	20
Bild 3:	Etagenwirbler	21
Bild 4:	Zwangsumlaufkessel	24
Bild 5:	Naturumlaufkessel	24
Bild 6:	Dampfturbinenprozess	25
Bild 7:	Clausius-Rankine-Prozess im T/s-Diagramm	27
Bild 8:	Verfahrensprinzip der gestuften Verbrennung zur Verringerung der Stickoxidemissionen	30
Bild 9:	Dioxin- und Furanbildung in Abhängigkeit vom S/Cl-Verhältnis.....	31
Bild 10:	Prinzip der trockenen Abgasreinigung	33
Bild 11:	Natronaugewäsche am Beispiel der Monoklärschlammverbrennungsanlage der BASF SE Kläranlage Ludwigshafen am Rhein, Standort Frankenthal Pfalz	34
Bild 12:	Quecksilber im Rohgas in Abhängigkeit vom Chlorgehalt im Klärschlamm	35
Bild 13:	Klärschlammverbrennungsanlage Karlsruhe.....	36
Bild 14:	Klärschlammverbrennungsanlage Ulm-Steinhäule	37
Bild 15:	Fachbezogene Organisation von Betrieb und Instandhaltung.....	39
Bild 16:	Anlagenorientierte Organisation von Betrieb und Instandhaltung.....	39
Bild 17:	Darstellung der Verfahrensschritte, Definition des Bilanzraumes	46
Bild 18:	Monoverbrennung Stuttgart Mühlhausen	47
Bild 19:	Monoverbrennungsanlage Hamburg	49
Bild 20:	Monoverbrennungsanlage INNOVATHERM Lünen.....	51
Bild 21:	Monoverbrennungsanlage Wuppertal Buchenhofen	52
Bild 22:	Monoverbrennungsanlage Currenta Leverkusen	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Techniken zur Klärschlammförderung und ihre Anwendungsbereiche	14
Tabelle 2:	Zusammensetzung von Klärschlammaschen.....	42
Tabelle 3:	Kapazität der Klärschlammmonoverbrennung in Deutschland	54

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

Die erste Monoverbrennungsanlage für Klärschlämme wurde in Deutschland 1975 in der Stadt Düren in Betrieb genommen. Bis zum Jahr 2010 wurden weitere 22 Anlagen für kommunale und industrielle Klärschlämme in Deutschland errichtet (siehe Abschnitt 14: Tabelle 3). Die gesamte Kapazität dieser Anlagen beträgt ca. 800.000 t Klärschlamm-Trockenmasse pro Jahr, davon etwa 500.000 t für kommunale Klärschlämme (Stand: Frühjahr 2011). Somit können etwa 25 % der in Deutschland jährlich anfallenden Klärschlamm-Trockenmasse von ca. 2,0 Mio. t in Monoverbrennungsanlagen thermisch behandelt werden. Es handelt sich bei diesen Anlagen überwiegend um Wirbelschichtverbrennungsanlagen, seltener um Etagenöfen, Etagenwirbler, Rostfeuerungen, Vergasungs- oder Pyrolyseanlagen.

Außer in Deutschland werden in Europa hauptsächlich in Belgien, den Niederlanden, Großbritannien, Österreich und der Schweiz Klärschlämme in Monoverbrennungsanlagen thermisch behandelt. Die meisten Anlagen wurden auf kommunalen Kläranlagen errichtet, andere an Standorten der Chemieindustrie, an Kraftwerksstandorten oder als zentrale Verbrennungsanlagen an sonstigen Standorten mit geeigneter Infrastruktur. Diese Anlagen leisten einen wichtigen Beitrag zur Entsorgungssicherheit und zum Umweltschutz. Durch die bei der Verbrennung gewonnene Energie, die in den meisten Fällen zur Dampf- und Stromproduktion genutzt wird, leisten sie auch einen Beitrag zur Stromversorgung des jeweiligen Standortes.

1 Anwendungsbereich

Ziel dieses Merkblattes ist es, grundlegende Hinweise zur technischen Ausführung sowie dem Betrieb von Klärschlammmonoverbrennungsanlagen zu geben. Darüber hinaus sollen die rechtlichen Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeitsaspekte dargestellt werden.

Planern und Betreibern von Monoverbrennungsanlagen soll eine Basis für:

- Entscheidungen über Investitionen beim Neubau sowie
- die Konzeptfindung und
- die Wahl einer unter den jeweiligen Randbedingungen sinnvollen Verfahrenstechnik

zur Verfügung gestellt werden. Auch Maschinen- und Anlagenbauern gibt das Merkblatt wichtige Hinweise; es beinhaltet jedoch keine detaillierten Bemessungsregeln für verfahrenstechnische Anlagen oder Anlagenteile.

Die besonderen Aspekte der Verbrennung von **Industrieschlämmen** (u. a. Schadstoffgehalte, Selbstentzündung, mechanische Eigenschaften) können sehr vielfältig sein und werden in diesem Merkblatt nicht behandelt.

Das Merkblatt erhebt keinen Anspruch auf eine vollständige Darstellung aller im Einzelfall anzuwendenden gesetzlichen Vorgaben und untergesetzlichen Regelwerke.