

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 389

**Trockenvergärung biogener Abfälle
und nachwachsender Rohstoffe**

September 2015

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 389

Trockenvergärung biogener Abfälle und nachwachsender Rohstoffe

September 2015



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 · Internet: 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

Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Siebengebirgsdruck Bad Honnef

ISBN:

978-3-88721-253-7

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2015

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/ANS-Fachausschuss KEK-14 (früher AK-14) „Behandlung biogener Abfälle“ hat seine Arbeitsgruppe KEK-14.2 (früher AK-14.2) „Vergärung“ damit beauftragt, das vorliegende Merkblatt DWA-M 389 „Trockenvergärung biogener Abfälle und nachwachsender Rohstoffe“ zu erstellen.

Als Trockenvergärung oder auch Trockenfermentation werden anaerobe Verfahren zur Ausfäulung biogener Substrate mit vergleichsweise geringem Wasseranteil bezeichnet, der jedoch bis zu 70 % erreichen kann. Mit diesen Verfahren sollen durch die mikrobielle Aktivität Biogas gewonnen und die anfallenden Restsubstrate in eine umweltverträgliche Beschaffenheit versetzt werden.

In den zurückliegenden 15 Jahren haben die verschiedenen Anlagevarianten in Deutschland sowohl im Bereich der Aufarbeitung kommunaler Siedlungsabfälle als auch bei der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen und landwirtschaftlichen Abfallstoffen eine breite Anwendung gefunden. Die jeweiligen Ausbaugrößen sind zwischen kleinvolumigen Garagenfermentern bis zu Großanlagen mit Jahresdurchsätzen bis zu 70.000 Mg/a Rohmaterial angesiedelt.

Da die feststoffreichen Substrate nicht wie Flüssigsubstrate umgewälzt bzw. gemischt werden können, haben sich im Batchbetrieb arbeitende Boxenverfahren bzw. sogenannte Pfropfenstromanlagen etabliert.

Die Anlagen müssen gasdicht sein und werden sowohl in mesophilen als auch thermophilen Temperaturbereichen betrieben.

Im vorliegenden Merkblatt werden der erreichte Stand der Technik und die technische Varianz der Verfahrenstechnik beschrieben und auf benachbarte Technologiegebiete hingewiesen.

Dieses Merkblatt richtet sich an Planer, Erbauer und Betreiber von Trockenvergärungsanlagen.

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

Dieses Merkblatt ist im Auftrag und unter Mitwirkung des DWA/ANS-Fachausschusses KEK-14 (früher AK-14)¹⁾ „Behandlung biogener Abfälle“ von dessen Arbeitsgruppe KEK-14.2 (früher AK-14.2) „Vergärung“ erstellt worden, denen folgende Mitglieder angehören:

Mitglieder der Arbeitsgruppe KEK-14.2 (früher AK-14.2):

GALLERT, Claudia	Prof. Dr. rer. nat., Emden
HÜTTNER, Axel	Dipl.-Ing., Rumelange, Luxemburg
KRAFT, Eckhard	Prof. Dr.-Ing., Weimar
KÜBLER, Hans	Dipl.-Chem.-Ing., München
LANGHANS, Gerhard	Dr.-Ing., Dresden
MÜLLER, Horst	Ing., Weibern, Österreich
SCHERER, Paul	Prof. Dr. rer. nat., Hamburg (stellv. Sprecher)
URBAN, Ingo	Dr.-Ing., Essen
WIESE, Jürgen	Dr.-Ing., Fulda (Sprecher)
WINTER, Josef	Prof. Dr. rer. nat., Karlsruhe

Mitglieder des Fachausschusses KEK-14 (früher AK-14):

GALLERT, Claudia	Prof. Dr. rer. nat., Emden
HÖLZLE, Ludwig	Prof. Dr. med. vet., Stuttgart
KÜBLER, Hans	Dipl.-Chem.-Ing., München
LANGHANS, Gerhard	Dr.-Ing., Dresden
LOLL, Ulrich	Dr.-Ing., Darmstadt (Obmann)
SCHAAF, Harald	Dr. agr., Kassel
SCHERER, Paul	Prof. Dr. rer. nat., Hamburg
VIELHABER, Beate	Dr. rer. nat., Hannover (stellv. Obfrau)
WIESE, Jürgen	Dr.-Ing., Fulda (stellv. Obmann)
WINTER, Josef	Prof. Dr. rer. nat., Karlsruhe

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

1) Der Fachausschuss KEK-14 „Behandlung biogener Abfälle“ gehört dem DWA-Hauptausschuss „Kreislaufwirtschaft, Energie und Klärschlamm“ (HA KEK) an. Die diesem Hauptausschuss zugehörigen Fachausschüsse werden mit dem Kürzel „KEK“ bezeichnet. Bis Ende 2012 lautete der Name des Hauptausschusses „Abfall/Klärschlamm“ (HA AK), weshalb der Fachausschuss vormals die Bezeichnung „AK-14“ trug.

Inhalt

Vorwort	.....	3
Verfasser	.....	4
Bilderverzeichnis	.....	6
Tabellenverzeichnis	.....	7
Benutzerhinweis	.....	8
Einleitung	.....	8
1 Anwendungsbereich	.....	9
2 Begriffe	.....	9
2.1 Definitionen	.....	9
2.2 Symbole und Abkürzungen	.....	14
3 Entwicklung und Verbreitung	.....	16
4 Grundsätzliches zur Trockenvergärung	.....	17
4.1 Biologische Grundlagen	.....	17
4.1.1 Vorbemerkung	.....	17
4.1.2 Biologische Parameter	.....	17
4.1.2.1 Exoenzyme und Hydrolyse	.....	17
4.1.2.2 Anaerobe Nahrungskette und Syntrophie	.....	17
4.1.2.3 Massenflüsse	.....	17
4.1.2.4 Nährstoffverhältnisse	.....	17
4.1.3 Physikalische Parameter	.....	17
4.1.3.1 Wasserstoffpartialdruck p_{H_2}	.....	17
4.1.3.2 Temperaturen	.....	18
4.1.3.3 pH-Wert	.....	18
4.1.3.4 Sauerstoffgehalt/Redoxpotenzial	.....	18
4.1.3.5 Wassergehalt/Wasseraktivität	.....	18
4.2 Verfahrenstechnische Grundlagen	.....	18
4.2.1 Biologischer und technischer Abbaugrad	.....	18
4.2.2 Bedeutung des technisch realisierten Abbaugrads	.....	19
4.2.3 Viskosität	.....	20
4.3 Substrate	.....	22
4.4 Prozessstörungen	.....	22
4.4.1 Mangelerscheinungen	.....	22
4.4.2 Hemmungen	.....	22
4.5 Gasaufbereitung und Gasspeicherung	.....	24
4.6 Mess- und Automationstechnik	.....	25
4.7 Arbeitssicherheit und Umweltschutz	.....	25
5 Verfahrensbeschreibung	.....	26
5.1 Anlagenkomponenten	.....	26
5.1.1 Diskontinuierliche Verfahren	.....	26
5.1.2 Kontinuierliche und quasi-kontinuierliche Verfahren	.....	28

5.2	Perkolationsverfahren	30
5.2.1	Verfahrensbeschreibung	30
5.2.2	Diskontinuierliche Perkolationsverfahren.....	31
5.2.3	Kontinuierliche Perkolationsverfahren	34
5.3	Haufwerkverfahren	35
5.4	Pfropfenstromprinzip	35
5.4.1	Verfahrensbeschreibung	35
5.4.2	Substrat- und Verfahrenscharakteristika von Pfropfenstrom-Trockenfermentern	40
5.5	Volldurchmischte Verfahren (Rührkesselreaktoren)	41
6	Betriebsdaten	41
6.1	Anlagencharakteristika.....	41
6.2	Betriebsergebnisse.....	42
7	Reststoffe und Emissionen.....	44
7.1	Einleitung	44
7.2	Abwasser/Prozesswasser.....	45
7.3	Gärrest.....	46
7.4	Geruchsemissionen, Staub und Emissionen klimarelevanter Gase.....	48
7.5	Geräuschemissionen.....	49
8	Wirtschaftlichkeit	49
9	Zusammenfassende Betrachtung.....	51
	Quellen und Literaturhinweise.....	52

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Einteilung von Trockenvergärungsverfahren nach der Art der möglichen Fermenter.....	8
Bild 2:	Eingesetzte Verfahrenstypen bei der Vergärung von kommunalen Bioabfällen (Bio- und Grüngut) in Deutschland.....	16
Bild 3:	Exemplarischer anaerober Abbau einer langsam abbaubaren Verbindung im Batch-Reaktor	19
Bild 4:	Mögliche Methanemissionen in CO ₂ -Äquivalenten bezogen auf den erzeugten Strom bei suboptimaler Behandlung der Gärreste und in Abhängigkeit des elektrischen Wirkungsgrads des BHKW	20
Bild 5:	Bereiche der gärrelevanten scheinbaren dynamischen Viskositäten für Bioabfälle und landwirtschaftliche Gärsubstrate.....	21
Bild 6:	Hemmung infolge organischer Säuren in Abhängigkeit vom pH-Wert.....	23
Bild 7:	Minderung der Methanbildung durch Ammoniak/Ammonium bei T = 37 °C und pH = 7.....	24
Bild 8:	Beispiel für technisch realisierbare Abbaugrade von volldurchmischten Reaktoren in Abhängigkeit der hydraulischen Verweilzeit.....	30
Bild 9:	Perkolationsverfahren nach WEILAND (2006)	31
Bild 10:	Zeitversetzter Batchbetrieb mehrerer diskontinuierlich betriebener Fermenter bei der Trockenvergärung	32
Bild 11:	Exemplarische Darstellung einer Boxenfermentation mit einer Einschubbox	33
Bild 12:	Boxen- bzw. Garagenfermenter mit Perkolation.....	34
Bild 13:	Schematische Darstellung des kontinuierlichen Perkolationsreaktors.....	34
Bild 14:	Verfahrensablauf des Haufwerkverfahrens.....	35
Bild 15:	Schematische Darstellung eines kontinuierlich betriebenen Pfropfenstromfermenters mit Längsrührwerk.....	36

Bild 16:	Kontinuierliche Trockenfermentation mit Pfpfenstrom-Fermenter mit Querrührwerken.....	37
Bild 17:	Beispiel für die Vergärung von Bioabfall in einem Pfpfenstrom-Trockenfermenter zur Verdeutlichung der prozess- und abfallrelevanten täglichen sowie saisonalen Änderungen des Betriebsergebnisses bei störungsfreiem stationärem Anlagenbetrieb.....	38
Bild 18:	Beispiel für die Betriebsstabilität eines mit NawaRo-Mischsubstraten betriebenen Pfpfenstrom-Trockenfermenters.....	39
Bild 19:	Schematische Darstellung eines Silofermenters.....	40
Bild 20:	Biogasausbeute verschiedener Trockenvergärungsverfahren bezogen auf die dem Fermenter zugeführte Substratmenge (Feuchtmasse)	44
Bild 21:	Schematische Darstellung der Emissionen einer Vergärungsanlage.....	45
Bild 22:	Spezifische Gesamtinvestitionskosten für die Nachrüstung einer Trockenfermentationsanlage in eine bestehende Kompostierung.....	50
Bild 23:	Spezifische Behandlungskosten unterschiedlicher Bioabfallvergärungsanlagen und Gasnutzungssysteme nach RAUSSEN & SPRICK (2012)	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Statistische Auswertung der Durchsatzleistung sowie der Substratmischungen von Anlagen zur Behandlung von Bioabfällen auf Basis der Daten von KERN & Raussen (2014) sowie eigenen Erhebungen der DWA-Arbeitsgruppe KEK-14.2.....	41
Tabelle 2:	Statistische Auswertung verschiedener Verfahren zur Behandlung von Bioabfällen auf Basis der Daten von KERN & RAUSSEN (2014) sowie eigenen Erhebungen der DWA-Arbeitsgruppe KEK-14.2.....	42
Tabelle 3:	Statistische Auswertung der Temperaturfahrweisen auf Basis der Daten von KERN & RAUSSEN (2014) sowie eigenen Erhebungen der DWA-Arbeitsgruppe KEK-14.2.....	42
Tabelle 4:	Statistische Auswertung verschiedener Vorbehandlungsmaßnahmen auf Basis von KERN & RAUSSEN (2014) sowie eigenen Erhebungen der DWA-Arbeitsgruppe KEK-14.2.....	42
Tabelle 5:	Statistische Auswertung verschiedener Gaserträge von Trockenfermentationsanlagen zur Behandlung von Bioabfällen auf Basis der Daten von KERN & RAUSSEN (2014) sowie eigenen Erhebungen der DWA-Arbeitsgruppe KEK-14.2.....	43
Tabelle 6:	Zusammensetzung von Prozesswässern aus anaeroben Behandlungsanlagen nach FRICKE et al. (2005) und TURK et al. (2009)	46
Tabelle 7:	Qualität von festen Gärprodukten aus Vergärungsanlagen für kommunalen Bioabfall.....	47
Tabelle 8:	Emissionen aus Abfallvergärungsanlagen in g/Mg Abfall nach KNAPPE et al. (2012)	49

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 anaerobe Vergärung von organischen Abfällen und nachwachsenden Rohstoffen kann entweder mit einem Nassfermentationsverfahren oder einem Trockenfermentationsverfahren erfolgen.

Von Nassfermentation oder Nassvergärung wird gesprochen, wenn der Fermenterinhalt einen Trockenmassegehalt von weniger als ca. 15 % besitzt. Verfahren, bei denen im Reaktor ein Trockenmassegehalt über 15 % vorliegt, werden als Trockenfermentation bezeichnet

Bei der Trockenvergärung oder auch Dickstoffvergärung liegen im Reaktor ähnlich wie bei der Kompostierung Fest-, Flüssig- und Gasphase nebeneinander vor. Um hohe Gasbildungsrate zu erreichen, müssen mehr als 30 % des Reaktorauflaufs (zum Teil bis zu 50 %) dem Rohmaterial wieder zugemischt werden. Zur Gewährleistung des erforderlichen Biogasaustrags aus der hochviskosen Masse

ist entweder die Zugabe von Strukturmaterial oder eine Durchmischung mit einem Rührwerk notwendig.

Die zur Trockenvergärung eingesetzten Verfahren wurden ursprünglich überwiegend für die Verwertung von Bio- und Restabfällen entwickelt und erst später an die spezifischen Anforderungen nachwachsender Rohstoffe angepasst. Der Ausdruck „Trockenvergärung“ geht auf die Wortschöpfung DRANCO aus den 1980er Jahren zurück, womit „*Dry Anaerobic Composting*“ gemeint war (SCHERER 1995), eine Bezeichnung die wissenschaftlich nicht korrekt ist, da die Kompostierung (*Composting*) einen aeroben Abbau bezeichnet.

Bei der Trockenvergärung laufen analoge Prozesse wie in bis 2005 in Deutschland noch gebräuchlichen Hausmülldeponien ab, nur dass bei letzteren durch Kompaktierung und Oberflächenabdichtung der Trockenmassegehalt auf über 50 % erhöht und der für die Mikrobiologie unbedingt notwendige Wassergehalt entsprechend kleiner und eventuell umsatzlimitierend ist.

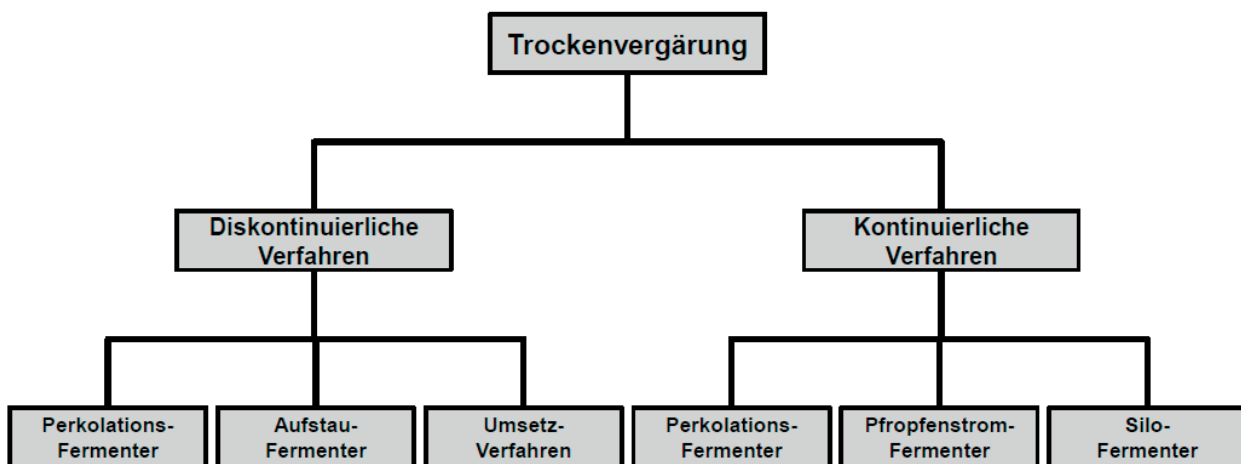


Bild 1: Einteilung von Trockenvergärungsverfahren nach der Art der möglichen Fermenter (Quelle: WEILAND 2006, modifiziert)