

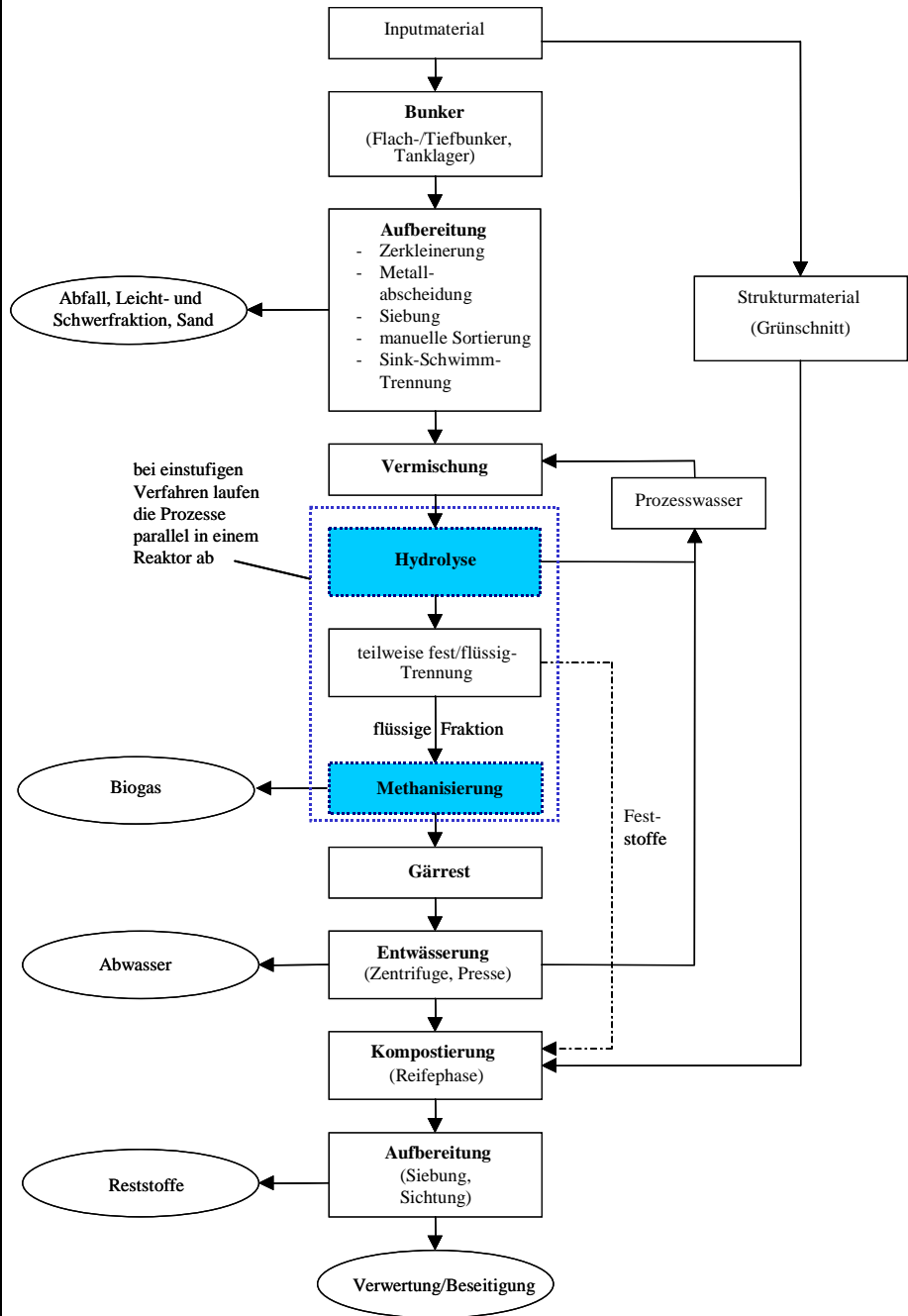
Datenblatt		Index-No.	WT/R-06_ADI			
Zur Beschreibung von:						
Verfahren	X	Technik		anderes		
Bezeichnung	Anaerobe Vergärung					
Einsatz- bzw. Anwendungsziele	Behandlung von Abfällen mit sehr hohem CSB-Gehalt und Klärschlamm aus der Abwasserbehandlung Energiegewinnung aus Abfällen					
Charakterisierung des allgemeinen Anwendungsrahmens (bitte auch Fußnoten beachten)						
Inbesondere anwendbar für folgende Abfallarten						
Gemischte Haushaltsabfälle	(X) ¹	Leichtverpackungen		Speise- und Grünabfälle		X
Papier/Pappe/Kartonagen		Altglas		Spermmüll einschließlich Elektro- und Haushaltsaltgeräte		
Altmetall		Altholz		Bau- und Abbruchabfälle		
Altöl		Altfarben/-lacke		Altreifen		
Gefährliche Abfälle						
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	getrennt erfasste Abfälle, z.B. Gastronomieabfälle, gewerbliche Speiseabfälle, Fettabscheiderabfälle, Abfälle aus der Landwirtschaft, Gülle, Schlachtabfälle, Tierkörperverwertungsabfälle (nach Drucksterilisation), Marktabfälle				
Andere Abfallarten	X	Klärschlamm, biologischer Schlamm aus aerober Behandlung, organische Stoffe				
Spezielle Charakteristika und Anforderungen der Anwendung						
Notwendigkeit einer Vorbehandlung: Der Abfall ist getrennt zu erfassen. Die Abfälle sind ggfs. auf ein notwendiges Korngrößenspektrum zu zerkleinern.						
Verwertungsmöglichkeiten des Outputmaterials: Der Gärrest ist zu entwässern und kann nach anschließender Kompostierung entsprechend dem Kompost aus der Kompostierung verwertet werden. Die direkte Verwendung auf Ackerland ist in einzelnen Ländern genehmigt (z.B. Schweden, Dänemark)						
Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten für Outputmaterial: Reste aus der Vergärung wie abgesiebte Folien sind mit anderen Verfahren (z.B. thermische Verfahren) zu behandeln.						
Erfordernisse der Nachsorge: keine						
Besondere Schutzanforderungen: Die Abluft aus der Vergärung (insbesondere Bereich der Annahme und mechanischen Aufbereitung) ist zu erfassen und zu behandeln bzw. es sind geeignete technische, organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung/Verminderung von Emissionen (insbesondere Geruch) zu treffen.						
Potenzielle Gesundheitsrisiken: Im Bereich der Annahme und mechanischen Aufbereitung der Abfälle besteht ein Risiko erhöhter Keim- und Sporenbelastungen in der Luft. Durch geeignete technische und persönliche Schutzmaßnahmen (Mundmasken) ist dieser Gefahr zu begegnen.						
geeignete Finanzierungsmechanismen: Die Finanzierung kann über eine direkte Gebühr bei Anlieferung des Abfalls oder für das dazu eingerichtete Sammelsystem (Biotonne) erfolgen. Die Kosten können alternativ auch in die Erfassungsgebühr oder Grundgebühr für die Restabfallsammlung eingeschlossen oder über pauschale Finanzierungsmodelle für die Abfallwirtschaft gedeckt werden.						
Einfluss äußerer Gegebenheiten auf die Art und den Umfang der Anwendbarkeit						
Infrastrukturelle Gegebenheiten: Anlagen zur Abfallvergärung sollten an Standorten errichtet werden die gut erschlossen sind, einen Zugang zum Stromnetz haben und vorzugsweise in der Nähe der Anfallstelle der entsprechenden Abfälle liegen. Größere Abstände zur nächsten Wohnbebauung wie bei den meisten Behandlungsanlagen für organische Abfälle sind normalerweise nicht notwendig						
Klimatische Gegebenheiten: keine Einschränkungen, allerdings sind in kalten Klimaten die Vergärungsreaktoren zu dämmen und zu beheizen (insbesondere bei thermophilen Prozessen) Für Standorte mit extremer Wasserknappheit ist diese Technologie nicht empfehlenswert !						
Beschäftigungspotenziale: Zum Betrieb von Vergärungsanlagen ist qualifiziertes Personal, speziell für die Bereiche der Betriebsleitung und Prozessüberwachung erforderlich.						

¹ insbesondere für die organikreiche Feinfraktion

Technische Details	
Allgemeiner Überblick	
Kurzbeschreibung	In Abwesenheit von Sauerstoff werden bei der anaeroben Vergärung organische Abfallbestandteile durch Bakterien über verschiedene Stufen zu Methan, Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Lignin als Hauptbestandteil von Holz kann nicht abgebaut werden, was eine wesentliche Einschränkung des Verfahrens ist. Ein grundsätzliches Ziel ist die Verringerung der biologischen Aktivität und des Reaktionspotenzials der Abfälle und die Erzeugung von Biogas zur Nutzung als Energiequelle.
grundlegende Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • ausgewogenes Nährstoffverhältnis der Abfälle zur Optimierung der Methanproduktion • hoher Feuchtegehalt • Abwesenheit von den Prozess und das Prozessmilieu beeinträchtigenden Stoffen
zu erwartende Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Biogas zur Energieerzeugung • Rückstände, welche eine weitere Behandlung erfordern, im Normalfall Kompostierung mit Erzeugung eines marktfähigen Endproduktes zur Nutzung in der Landwirtschaft (50-300 kg TS/t_{Input}) • geringe Mengen an Überschussschlamm, welcher entwässert als Flüssigdünger genutzt werden kann oder in einer Abwasserbehandlungsanlage zu behandeln ist. (100-600 l/t_{Input})
besondere Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Sowohl trockene als auch feuchte organische Abfälle können behandelt werden • Anaerobe Systeme erzeugen geringere Emissionen als aerobe Systeme, da die hauptsächliche Gasemission (Methan) das gewünschte Produkt ist. • Das Energiepotenzial des erzeugten Biogases kann zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. • Die fermentierten Substrate können in flüssiger oder fester Form verwertet werden. • Anlagen haben einen relativ geringen Platzbedarf. • Die geschlossene Kreislaufführung ermöglicht eine erhebliche Reduzierung von Gerüchen, so dass derartige Anlagen in der Nähe bebauter Flächen angesiedelt werden können. Dies senkt die Kosten für den Transport. • Die anaerobe Abfallbehandlung reduziert die Abfallmengen, welche zur Deponie bzw. Verbrennung gelangen und somit auch die Emissionen, die von diesen Anlagen zu erwarten sind.
spezifische Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Die Technologie ist relativ kompliziert, die Bau- und Betriebskosten differenzieren stark und können abhängig von der Art der Anlage sehr hoch sein. • Der Prozess ist relativ teuer (50-100 EUR/t für größere Anlagen), so dass trotz möglicher Einnahmen durch die Erzeugung von Energie und Dünger die Kostenbilanz meist nicht ausgeglichen ist. • Die Technologie ist relativ neu, so dass diese Technologie nur in hochentwickelten Industrieländern verbreitet ist. • Der effiziente Anlagenbetrieb (Erzeugung Energie, Kompost und anderer Nebenprodukte und deren Qualitätskontrolle) erfordert entsprechendes Know-how welches noch nicht im großen Maßstab verfügbar ist

Anwendungsdetails	
Technische Umsetzung	<p>Die wesentlichen Stellgrößen des Prozesses sind die Art des Kontaktes des Abfalls mit den Mikroorganismen, die Zusammensetzung und der Feuchtegehalt des Inputmaterials (flüssig, pastös, fest) und die Art/der Grad der Umwälzung. Die anaerobe Behandlung besteht allgemein aus folgenden Schritten:</p> <p><u>Vorbehandlung</u></p> <p>Allgemein lässt sich getrennt erfasster organischer Siedlungsabfall leichter handhaben. Allerdings ist selbst bei getrennt erfasstem Abfall normalerweise eine Abtrennung von unerwünschten Fremdstoffen (Kunststoffe, Metalle, Grobgut) erforderlich. Die Abtrennung kann unter nassen und trockenen Bedingungen durchgeführt werden. Anschließend wird durch eine Zerkleinerung das Material homogenisiert, was die Fermentation und die Betriebsführung verbessert. Für die Abtrennung und Zerkleinerung kommen die, z.B. auch bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (➤ siehe auch Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“, Datenblatt WT/S-01 MBT) üblichen Techniken und Aggregate zur Anwendung.</p> <p><u>Vergärung</u></p> <p>Es gibt verschiedene Techniken zur effektiven Vergärung. Bedeutende Unterschiede gibt es bei der Betriebstemperatur und dem Anteil an Trockensubstanz im Ausgangsmaterial.</p> <ul style="list-style-type: none"> - thermophile Anlagen arbeiten im Bereich um 55°C (50-65°C), mesophile Anlagen um 35°C (20-45°C) - der Trockensubstanzgehalt der Trockenvergärung liegt bei ca. 20-40 %, Nassvergärungsanlagen arbeiten bei einem Gehalt zwischen 5-20 % Trockensubstanz <p>Allgemein gilt, je höher die Temperatur, um so schneller läuft der Prozess ab. Thermophile Prozesse sind jedoch schwerer zu kontrollieren und benötigen einen höheren Energieinput (Eigenverbrauch an Biogas) zum Aufrechterhalten der erforderlichen Temperatur. Trockene Systeme sind generell einstufige Verfahren. Einstufige Verfahren sind nicht so anfällig für Störungen wie mehrstufige Systeme, jedoch ist die Biogasproduktion geringer.</p> <p>Das folgende Schema zeigt ein prinzipielles Verfahrensfließbild für ein- und zweistufige Systeme:</p>

Fortsetzg. technische Umsetzung



Nachfolgend werden die Spezifika verschiedener Prozessvarianten kurz dargestellt:

Einstufige Nassverfahren

Feste Abfälle werden mit Prozesswasser angemaischt (Suspension mit einem TS-Gehalt bis ca. 15 %) und in den Vergärungsreaktor eingespeist. Der Prozess ist für organikreiche Siedlungsabfallfraktionen als ausschließlichem Input geeignet, er bietet sich jedoch genauso für die Mitvergärung wässriger Suspensionen wie tierische Gülle und organische Industrieschlämme z.B. aus der Nahrungsmittelproduktion, an. Durch den hohen Flüssigkeitsanteil in der Suspension ergibt sich eine Schwimm-Sink-Trennung von Leichtstoffen und Schwergut. Die so um Störstoffe abgereicherte Suspension wird in einen einstufigen Reaktor bei mesophilen Bedingungen (37 - 40°C) aufgegeben. Die Verweilzeit liegt meist bei 15-20 Tagen. Es wird ein Biogas mit einem Methangehalt um 65 % erzeugt.

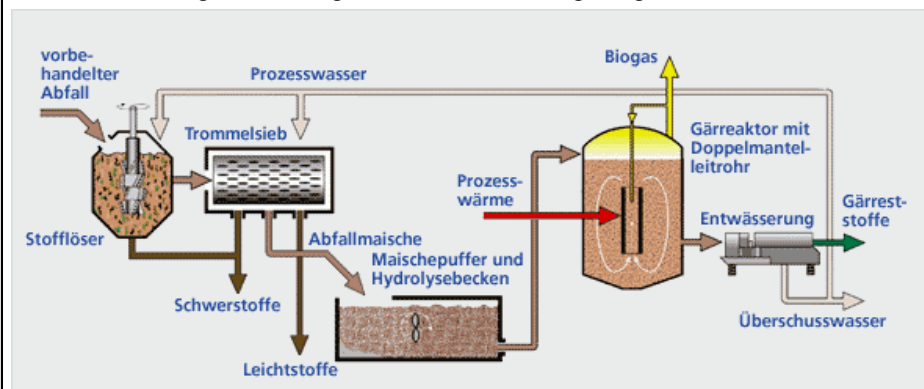
Fortsetz. technische Umsetzung

Das Substrat wird gründlich durch Biogaseindüsung oder aber durch Rührwerke gemischt. Der fermentierte Abfall wird ausgetragen, bei 70°C hygienisiert und auf einen Trockensubstanzgehalt von 50 % entwässert. Das Wasser wird intern als Prozesswasser genutzt.

Mehrstufige Nassverfahren

Der angemischt Abfall wird durch hydrolisierende und fermentierende Mikroorganismen fermentiert. Diese erzeugen flüchtige Fettsäuren, welche dann in großer Menge zu Biogas umgewandelt werden. Die Hydrolyse und die Methanisierung finden nacheinander in zwei verschiedenen Reaktoren statt. Dieses Prozessschema ist für organikreiche Siedlungsabfallfraktionen und feuchte organische Abfälle aus Großküchen oder der Nahrungsmittelproduktion geeignet. Mehrstufige Verfahren sind anfälliger für Störungen als einstufige Systeme, jedoch ist die Biogasproduktion höher. Eine mögliche Konfiguration für eine Nassvergärung zeigt folgende Abbildung:

Bild a: Mögliche Konfiguration einer Nassvergärung (Quelle: Linde-KCA)



Trockenvergärung

Vor der Vergärung wird der Abfall mit internem Prozesswasser oder Schlamm gemischt, um den gewünschten TS-Gehalt von 30-35 % zu erreichen. Die Fermentation kann bei mesophilen oder thermophilen Bedingungen stattfinden. Das Substrat wird gründlich durchmischt (z.B. durch Biogaseindüsung) und Biogas erzeugt. Die Verweilzeit liegt üblicherweise in einem Bereich von 12-20 Tagen. Der Gärrest wird ausgetragen und auf ca. 50 % TS-Gehalt entwässert. Das Wasser wird als internes Prozesswasser genutzt. Der Feststoff wird anschließend aerob nachbehandelt.

Kontinuierliche Trockenverfahren


Der Gärreaktor wird kontinuierlich mit Material (20-40 % TS) gespeist. Für beide Varianten, gemischte als auch Pfropfenströmung, ist die thermophile Vergärung auf Grund der Wärmebilanz zu favorisieren.

Diskontinuierliche Trockenverfahren (Batch)

Beim Batch-Verfahren wird der Abfall mit Inoculum aus einem anderen Reaktor geimpft und anschließend dem Ablauf der natürlichen Vergärung überlassen

Semikontinuierliche Trockenverfahren

Das Wesentliche dieser Variante ist, das Prozesswasser zwischen dem etablierten und dem neuen Batchreaktor zu Betriebsbeginn gewechselt wird und Impfstoff und volatiles Materialien aus dem aktiven Reaktor entnommen werden kann. Nach der Vergärung wird der aktive Reaktor aus dem Betrieb entkoppelt und steht als neuer Reaktor zur Verfügung.

Fortsetzg. technische Umsetzung	<p>Bild b: Anaerobe Vergärungsanlage mittlerer Größe in Deutschland</p> 
Stofffluss und -mengen	<ul style="list-style-type: none"> • Die anaerobe Vergärung führt zur Bildung von Methan mit einer theoretischen Methanproduktion von 348 Nm³/t CSB. Im Allgemeinen wird bei der anaerobe Vergärung 100-200 Nm³/t Bioabfall produziert. • Biogas hat eine Zusammensetzung von 55-70 % Methan, 30-45 % Kohlendioxid und 200-4.000 ppm Schwefelwasserstoff. • Die Gesamtmassebilanz kann z.B. wie folgt beschrieben werden: Input: 100% Bioabfall Output: 9 % Reststoffe aus der Vorbehandlung 20 % Reste nach der Vergärung 15 % Biogas 55 % Abwasser
Anwendungsbereich	Es existieren Anlagen mit einer Kapazität zwischen 500 und 210.000 t/a Anlageninput.
Zusammenhänge und Kombinierbarkeit mit anderen Techniken	Eine nachgeschaltete Kompostierungsanlage ist vorteilhaft zur Behandlung des Gärrestes. Außerdem ist eine Kopplung mit einer Abwasserbehandlungsanlage günstig.
Orientierungswerte für die Anwendung	
Ressourceneinsatz	
Energiebilanz	Die zum Anlagenbetrieb benötigte elektrische Energie und Wärme zur Beheizung der Reaktoren und Gebäude wird i.d.R. vor Ort erzeugt. Der Verbrauch an elektrischer Energie liegt bei ca. 50-55 kWh/t _{Abfall} . Dieser wird an der Anlage durch die Verbrennung von Biogas in einem Biogasmotor selbst erzeugt. Bis zu einem Drittel der Biogasproduktion wird zum Heizen der Reaktoren genutzt, wenn der Prozess im thermophilen Bereich stattfindet. Angaben über den Gesamtbedarf an elektrischer Energie zeigen, dass wenigstens 60 % der von der Anlage erzeugten Energiemenge für den eigenen Betrieb benötigt werden.
CO ₂ -Relevanz	Der Prozess ist geschlossen, Emissionen in die Atmosphäre sollten daher nicht auftreten, mit gelegentlichen Ausnahmen bei der Beschickung und Entleerung der Reaktoren. Bedeutende Klimaeffekte bei der anaeroben Vergärung ergeben sich aus der: <ul style="list-style-type: none"> - Vermeiden von Methanemissionen durch abgelagerte organische Abfälle - Reduzierung von Emissionen über Energiesubstitution - Verringerung des Bedarfes an fossilen Brennstoffen
Benötigte Hilfsmittel oder Zusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Wasser: 50-200l/t Abfall teilweise Zusatzstoffe • Flockungsmittel wie Eisenchlorid • Mittel gegen Schaumbildung • Mittel zur Regulierung des pH-Werts

Personalbedarf	<i>Anlagengröße</i>	5.000 t/a	10.000 t/a	> 20.000 t/a	
	Personal je 1.000 t _{Input}	0,4 - 1,6	0,3 - 0,8	0,2 - 0,6	
Flächenbedarf	<u>Flächenbedarf (m²/t_{Input})</u>				
	<i>Anlagengröße</i>	5.000 t/a	10.000 t/a	> 20.000 t/a	
	Anaerobe Vergärung	0,15 - 0,70	0,10 - 0,40	0,10 - 0,70	
	Anaerobe Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung	0,30 - 1,00	0,25 - 0,70	0,10 - 0,70	
Nachsorgeaufwand	Nachsorgeaufwendungen für abgelagerte Reste der Vergärung sind in den Deponiebetrieb zu integrieren. Reststoffe der Siebung und Vergärung können jedoch in der Regel in der Kompostierung genutzt oder in anderen Verfahren weiterbehandelt werden.				
Kosten					
Investitionskosten	<u>Investitionsbedarf (EUR/t_{Input})</u>				
	<i>Anlagengröße</i>	5.000 t/a	10.000 t/a	20.000 t/a	>25.000 t/a
	Anaerobe Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung (ohne mech. Vorbehandlung)	450 - 950	350 - 650	250 - 555	180 - 250
Betriebskosten	<u>Betriebskosten (EUR/t_{Input})</u>				
	<i>Anlagengröße</i>	10.000 t/a	20.000 t/a	30.000 t/a	50.000 t/a
	Anaerobe Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung (ohne mech. Vorbehandlung)	100 - 190	80 - 130	70 - 110	55 - 90
	<u>Reparatur und Wartung</u> 4-6 % der Investitionskosten jährlich				
Möglichkeit von Einnahmen	Der Energieertragswert liegt bei ca. 10-30 EUR/t Bioabfall. Damit können die Betriebskosten teilweise durch den Verkauf von erzeugter Energie und ggf. Kompost gedeckt werden. Bei günstigen Preisen sind Gewinne erzielbar.				
Massespezifische Gesamtkosten	<u>Massespezifischen Kosten inklusive Einnahmen aus der Energieerzeugung [EUR/t_{Input}]</u>				
	<i>Anlagengröße</i>	5.000 t/a	10.000 t/a	20.000 t/a	50.000 t/a
	Anaerobe Vergärung mit nachgeschalteter Kompostierung (ohne mech. Vorbehandlung) u. Energieverkauf	90 - 140	75 - 130	50 - 100	45 - 70
Andere relevante Aspekte					
	Die Co-Fermentation von organischen Abfallsubstraten in den Faultürmen von Schlammbehandlungsanlagen ist eine Option, welche in der Praxis aber bislang eher selten durchgeführt wird, da gewisse (vor allem rechtliche) Unsicherheiten bestehen. Sie ist jedoch technisch möglich und insbesondere aus logistischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten interessant.				
Sonstige Details					
Marktübersicht					
Referenzanwendungen	Die Behandlungsmethode findet weltweite Anwendung, neben unzähligen Anlagen zur Monovergärung von landwirtschaftlichen Substraten werden in Deutschland auch viele Anlagen zur Vergärung anderer Abfallstoffe betrieben, deren Zahl ist stark im wachsen. Beispielanlagen sind: <ul style="list-style-type: none"> ○ Biogasanlage Radeberg der Bioverwertungsgesellschaft Radeberg mbH ○ Biogasanlage der Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG in Bernau ○ Biogasanlage der Nabtaler Milchwerke in Schwarzenfeld 				

<p>Anerkannte Hersteller und Dienstleister</p> <p><i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i></p>	<p>Anerkannte Hersteller und Erbauer von Anlagenteilen oder Komplettanlagen zur Vergärung von organischen Abfällen sind z.B.:</p> <p>Strabag Umwelthanlagen GmbH (ehemals Linde-KCA), Dresden www.strabag-umwelthanlagen.com</p> <p>HAASE Energietechnik AG, Neumünster www.haase-energietechnik.de</p> <p>Schmack Biogas AG, Schwandorf www.schmack-biogas.com</p> <p>FARMATIC Anlagenbau GmbH, Nortorf www.farmatic.de</p> <p>Biotechnische Abfallverwertung GmbH & Co KG, München www.bta-technologie.de</p> <p>BEKON Energy, Unterföhring www.bekon-energy.de</p>
Anmerkungen und weitere Referenzdokumente	
<p>Relevante Organisationen und Anlaufstellen für weitere Informationen über die Vergärung von Siedlungsabfällen sind der:</p> <p>Fachverband Biogas e.V. http://biogas.org</p> <p>Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfälle www.ans-ev.de</p>	