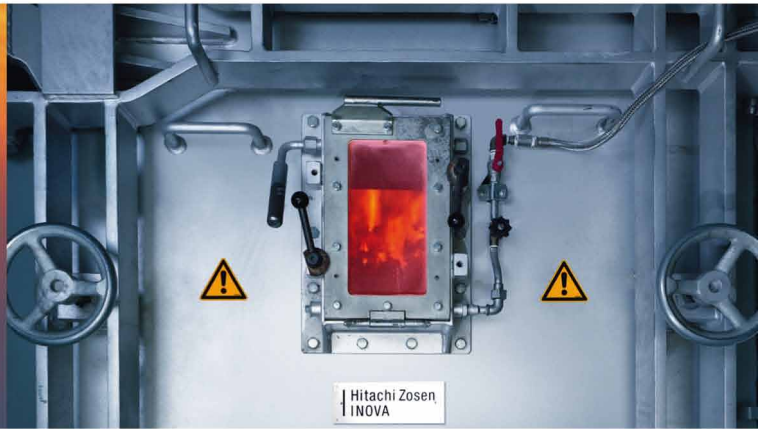


Waste is  
our Energy



Engineering is  
our Business



Sustainable  
Solutions are  
our Mission



## Kombinierte thermische und biologische Verfahren in der energetischen Abfallverwertung

Michael Keunecke und Franz-Josef Mengede

1.	Voraussetzung.....	62
2.	Energie aus Bioabfall.....	64
3.	Energie aus Abfall .....	66
4.	Zusammenfassung und Ausblick.....	68
5.	Literatur.....	68

Die EU-Abfallrichtlinie (AbfRRL) spricht bereits 2008 von einer Europäischen Recyclinggesellschaft. Wegen der großen Menge kommt den Bioabfällen eine besondere Bedeutung zu. Die Abfallrichtlinie fordert von den EU-Mitgliedsstaaten, die richtigen Maßnahmen zu ergreifen, um Bioabfälle zwecks Zufuhr zu einer Kompostierung und Vergärung getrennt erfassen zu können. Bislang werden biogene Abfälle nur in verschiedenen Bundesländern Deutschlands und in wenigen anderen EU-Staaten getrennt gesammelt. Die Erweiterung des §11 KrWG ab dem ersten Januar 2015 schreibt die getrennte Sammlung von biogenen Abfällen bundesweit rechtsverbindlich vor.

Im Zuge der Anpassung diverser EU-Richtlinien wird ein Deponieverbot für andere recycelbare Abfallstoffe bis 2025 mit einem vorgeschriebenen Recycling einhergehen.

Die Erweiterung des §11 KrWG, aber auch die zu erwartenden Anpassungen der Richtlinien 2008/98/EG, 94/62/EG und weiterer, erfordern ein Umdenken nicht nur bei der Sammlung, sondern auch bei der anschließenden Behandlung der Abfälle. Es ist sicher sinnvoll zu untersuchen, welcher Abfalltyp eher stofflich oder eher energetisch zu recyceln ist; sollte der energetische Aufwand für das stoffliche Recycling höher sein als der Energieinhalt des Abfalltyps selbst, kommt ein stoffliches Recycling nur in Frage, wenn der Abfalltyp eine schwer zu beschaffende Ressource ist und der Wertstoff nicht in einer komplexen Matrix eingebunden ist.

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich auch ein Umdenken bei der Auswahl der am besten geeigneten Technologien zur effizienten, ökonomisch vertretbaren und ökologisch nachhaltigen Behandlung der Abfallströme.

Eine Kombination aus thermischem und biologischem Verfahren bietet sich bei getrennt gesammelten Abfällen nicht nur an, um die Abfälle energetisch effizient zu verwerten, sondern auch um ein Recycling in Form von Wertstoffen aus der Schlacke und in Form von Kompost zu ermöglichen.

## 1. Voraussetzung

Neben der gesetzlichen Grundlage für die getrennte Erfassung der biogenen Abfallströme ist zu prüfen, welche Bioabfälle einer Überlassungspflicht nach § 11 Absatz 1 unterliegen. Es sind diese, die beispielweise besonders in städtischen Gebieten nicht durch Eigenkompostierung verwertet werden können. Inwieweit der Zugriff auf die biogenen Abfälle aus ländlichen Gebieten gesichert ist, kann nur vermutet werden, aber entscheidend ist sicher auch die Frage, wie gut die Disziplin der Abfallverursacher ist, die verschiedenen Abfallarten wirksam nach recycelbaren, biogenen und primär nicht recycelbaren zu trennen. Laut Bundesumweltministerium haben von den etwa 400 Stadt- und Landkreisen etwa sechzig Kreise noch keine Biotonne eingeführt, und es landen immer noch etwa siebzig Kilogramm pro Kopf und Jahr im Hausmüll.

Als Abfallverursacher sind hier nicht nur die Endverbraucher zu sehen, sondern auch die Kommunen, die nicht einheitlich hinter der Erweiterung des KrWG stehen. So möchte z.B. der Vogelsbergkreis mit einem Gutachten die getrennte Sammlung verhindern, da der Zweckverband höhere Kosten ohne ökologischen Nutzen befürchtet. Sicherlich ist zu prüfen, ob das Aufwand-Ertrags-Verhältnis günstig ist, aber in diesem Zusammenhang spielen wie im ganzen Abfallmanagement sicherlich zeitliche und gesellschaftliche Faktoren eine große Rolle.

Nachhaltigkeit steht leider immer wieder im Gegensatz zu kommerziell getriebenem und kurzfristigem Denken. Hier kann natürlich der Gesetzgeber wichtige Grundrichtungen vorgeben, aber deren Einhaltung ist zwingend für eine erfolgreiche Durchsetzung der Idee. Die Kontrolle ist sicherlich schwieriger als Geschwindigkeitsübertretungen im Straßenverkehr zu ermitteln, aber selbst da ist die Trefferquote eher gering, so dass hier an die Vernunft der Abfallverursacher appelliert werden muss.

*Not in my backyard* und ‚Aus den Augen, aus dem Sinn‘ sind sicherlich keine geeigneten Treiber für ein sinnvolles Abfallmanagement, genauso wenig wie kurzfristig gewinnorientiertes oder ideologisch gestütztes Handeln. Eine MBA-Anlage im Sinne von *Shreddern* Sieben und Kompostieren‘ zur Behandlung von gemischtem Siedlungsabfall löst die Aufgabe weder ökologisch noch ökonomisch nachhaltig.

Dies hat wohl auch die SGD Nord in Rheinlandpfalz erkannt und entschieden, dass der Bioabfall ab 2017 getrennt zu sammeln und zu behandeln ist, da die vorhandene MBA-Anlage in Trier die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes nicht erfüllt.

Unter Einsatz elektrischer Energie von bis zu 100 kWh pro Tonne behandeltem Abfall wird hier mit einigem technischem Aufwand aus Abfall ein anderer Abfall produziert, der entweder doch deponiert werden muss, oder ohne vorherige Behandlung in der MBA direkt der thermischen Verwertung hätte zugeführt werden können. In Deutschland werden derartige Anlagen vermehrt aus wirtschaftlichen Gründen geschlossen. Bedauerlicherweise wird besonders in den neuen EU-Mitgliedsstaaten im Osten Europas aus diesen Fehlern nicht gelernt, dort wird diese nicht nachhaltige Technologie immer wieder eingesetzt, gefördert von den wohlhabenderen EU-Staaten, nicht zuletzt um kurzfristig denkenden Investoren und Technologielieferanten für eine begrenzte Zeit satte Gewinne zu ermöglichen.

Die Entwicklungen in Deutschland scheinen in die richtige Richtung zu gehen. Mit der getrennten Sammlung der biogenen Abfälle landen diese Abfälle nicht mehr auf einer Deponie oder gar wegen ihres schlechteren Heizwertes in der dann weniger effizienten thermischen Verwertung.

Die reine Kompostierung der biogenen Abfälle ist der erste Schritt eines stofflichen Recyclings, die Fermentation hingegen kombiniert sowohl stoffliche als auch energetische Verwertung: Biogas liefert Strom oder kann eingespeist werden, der Kompost und flüssige Dünger können in der Landwirtschaft eingesetzt werden und so mit hohem technischem, rohstoffintensivem und energetischem Aufwand hergestellte Düngemittel weitgehend ersetzen.

Der Ansatz, dass die *Gelbe Tonne* in die *Graue Tonne* gehört, mag polemisch klingen, aber das angestrebte Recycling des Inhaltes der Gelben Tonne hat nachweislich nicht den gewünschten Erfolg gebracht. Häufig landet der Inhalt der Gelben Tonne doch als schön umschriebener RDF in einer Verbrennungsanlage oder auf menschenunwürdigen Separationseinrichtungen in Asien, nachdem Abfallverursacher und Abfallsammler mit hohem Aufwand versucht haben, diese komplexe Mischung aus verschiedensten Kunststoffen und Metallen zu trennen.

Vernünftig scheint hingegen die getrennte Erfassung von Glas, Metallen und Papier, da diese Stoffe typischerweise mehr als nur einmal recycelt werden können. Weitere nicht in komplexen Matrizen inkludierte Wertstoffe sollten ebenfalls recycelt werden, sofern eine getrennte Erfassung in einem sinnvollen Aufwand-Ertrags-Verhältnis zu einer stofflichen oder energetischen Verwertung steht.

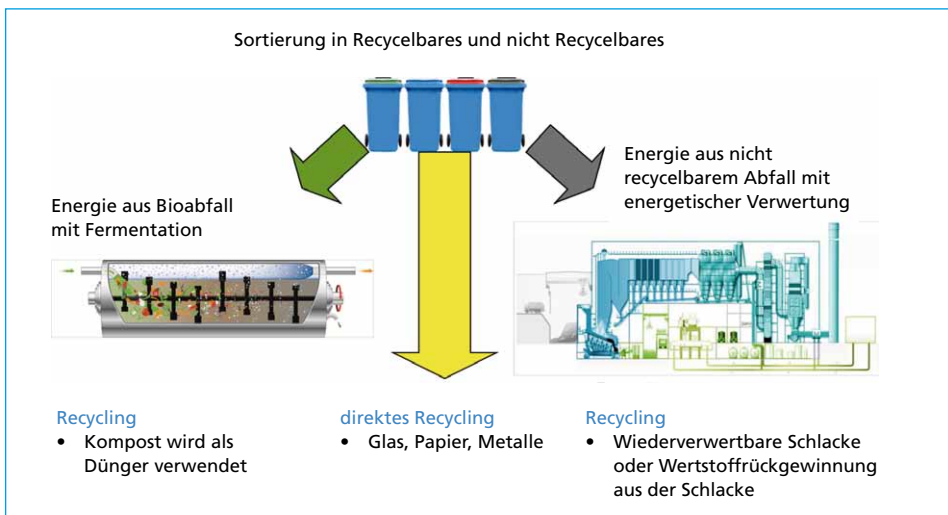


Bild 1: Die drei Hauptabfallströme und ihre optimale Verwertung

Die Erweiterung des KrWG bietet sehr gute Chancen auf eine stofflich und energetisch sinnvolle Verwertung biogener Abfälle, aber eine ebenso getrennte Erfassung von Wert- und Störstoffen ist die Grundlage für eine nachhaltige Behandlung von typischem

Siedlungsabfall. Ob diese Trennung an der Quelle oder kurz vor der Behandlung vorgenommen wird, hängt sowohl von der Güte der Technologien als auch von der Disziplin der Abfallverursacher ab. Einmal sinnvoll getrennter Abfall kann dann direkt stofflich und mit zwei verschiedenen Technologien sowohl energetisch als auch stofflich recycelt werden: Energie aus Abfall und Energie aus Bioabfall.

## 2. Energie aus Bioabfall

Das Kompogas-Verfahren läuft als thermophiler Trockenvergärungsprozess ab. Die aufbereiteten Bioabfälle durchströmen den liegenden, zylinderförmigen Pfropfenstrom-Fermenter. Der hohe TS-Gehalt von etwa dreißig Prozent im Fermenter verhindert eine Durchmischung des Materials in Längsrichtung. Damit ist die Verweilzeit der organischen Abfälle im Kompogas-Fermenter definiert. Verbunden mit der thermophilen Betriebsweise bei etwa 55 °C ermöglicht dies den Nachweis der Hygienisierung im Fermenter gemäß Bioabfallverordnung (BioAbfV).

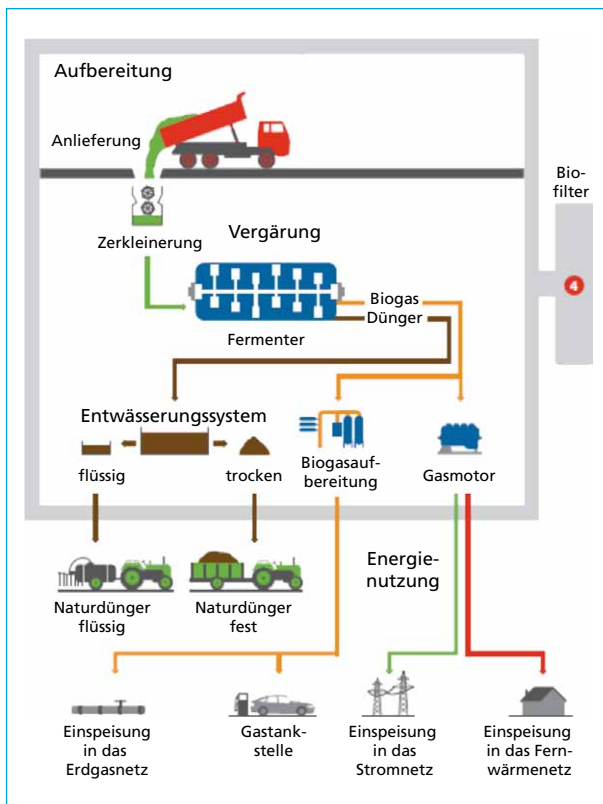


Bild 2:

Schematische Darstellung des Kompogas-Verfahrens

Vor der Fermentation werden die Bioabfälle zerkleinert und von Störstoffen befreit. Diese Aufbereitung dient einerseits dem mechanischen Schutz der nachfolgenden Anlagentechnik. Andererseits wird der Bioabfall durch die Zerkleinerung aufgeschlossen und das Material für die Vergärung besser verfügbar. Die Qualität des Düngers hängt natürlich ebenfalls entscheidend von der Aufbereitung ab.

Der Kompogas-Fermenter wird über einen Zwischenspeicher kontinuierlich mit aufbereiteten Bioabfällen beschickt. Der Prozessbiologie steht folglich eine stets konstante Menge an abbaubarer Masse zur Verfügung und der Prozess kann dadurch mit hoher Raumbelastung gefahren werden. Eine kontinuierliche Beschickung verhindert eine partielle Übersäuerung des Prozesses und garantiert einen gleichmäßig hohen Gasertrag.

Im liegenden zylindrischen Fermenter bildet sich durch den hohen TS-Gehalt von etwa dreißig Prozent eine pfropfenförmige Strömung. Die Durchmischung des Materials in Längsrichtung bleibt aus. Damit finden die Mikroorganismen das für die jeweiligen Abbaustufen (Hydrolyse, Säurebildung, Methanbildung) ideale Milieu vor. Die Prozessschritte finden hintereinander im Pfropfenstrom statt und lassen sich durch Probenahmen aus dem jeweiligen Fermenterbereich überwachen.



Bild 3: Schematische Darstellung des Kompogas-Pfropfenstrom-Fermenters

Das langsam laufende Rührwerk hat keine Förderwirkung. Es dient lediglich der radialen Substratumwälzung. So können Gasblasen aus dem Substrat gelöst und absinkende Schwerstoffe wieder aufgemischt werden. Der horizontale Pfropfenstrom gewährleistet eine definierte Verweilzeit im Fermenter.

Ein Elektromotor treibt mit Unterstützung eines Planetengetriebes das Rührwerk an. Er verfügt bei einem Anlagendurchsatz von 20.000 Tonnen pro Jahr lediglich über eine installierte Antriebsleistung von 11 kW. Schwerstoffe wie Sand oder Steine werden durch das Rührwerk in Suspension gehalten und mit der Austragspumpe aus dem Fermenter gebracht. Eine periodische Entleerung des Fermenters zur Entfernung von Sedimenten ist dadurch nicht notwendig.

Durch die seriell ablaufenden Prozessschritte werden am Austrag des Fermenters weitestgehend abgebaute Gärreste ausgetragen. Sie enthalten hoch aktive Mikroorganismen. Rund ein Drittel der Austragsmenge gelangt über eine interne Impffleitung zur Eintragsseite des Fermenters und wird dort dem frischen Bioabfall beigemischt. Die hoch aktiven Mikroorganismen starten in der Folge unmittelbar den biologischen Abbau.

Die Betriebsweise des Fermenters im thermophilen Bereich ermöglicht eine hohe Gasausbeute bei vergleichsweise kurzer Verweilzeit im Fermenter. Typischerweise beträgt die mittlere Verweilzeit 18 bis 21 Tage. Aufgrund der kleineren Population

der Mikroorganismen im thermophilen Bereich und des Risikos einer Inaktivierung durch zu hohe Temperaturen ist eine genaue und konstante Temperaturführung äußerst wichtig.

Durch die definierte Verweilzeit im Pfropfenstrom kann die Hygienisierung gemäß der Bioabfallverordnung im Fermenter nachgewiesen werden. Durch die thermophile Betriebsweise im Pfropfenstrom konnte auf allen getesteten Anlagen die Hygienisierung nach BioAbfV im ersten Anlauf nachgewiesen werden.

Für die Konditionierung der Gärreste bietet das Kompogas-System mehrere Möglichkeiten. Der klassische Weg stellt die Entwässerung mittels Schneckenpressen dar. Die feste Fraktion der Entwässerung wird in der Kompostierung aerob behandelt, während die flüssige Fraktion (Presswasser) in der Landwirtschaft Verwendung findet.

Für die erste aerobe Behandlung der Gärreste nach der Entwässerung respektive Mischung hat sich der Einsatz von belüfteten Rotteboxen bewährt. Mit diesem einfachen System kann der Gärrest in einer ersten Phase intensiv belüftet werden. Zur weiteren Kompostierung können dann unbelüftete Boxen angesetzt werden.

Das Biogas kann dadurch direkt ohne weitere Zwischenspeicherung der Verwertung zugeführt werden. Gängige Verfahren sind derzeit die Verwertung im Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeproduktion oder die Aufbereitung zu Biomethan, das ins öffentliche Erdgasnetz eingespeist werden kann.

Um die Emissionen von Lärm, Staub, Geruch und Treibhausgasen (THG) zu verhindern, werden Anlagen mit dem Kompogas-System weitestgehend geschlossen ausgeführt. Der Fermenter selbst ist ein geschlossenes System, das automatisch gefüttert respektive ausgetragen wird und damit keine Emissionen erzeugt. Die relevanten Emissionsquellen werden direkt erfasst und einem Biofilter mit vorgeschaltetem saurem Luftwäscher zugeführt. Lagertanks für Presswasser sind gasdicht abgedeckt und mit dem Gassystem verbunden. Diese Maßnahmen minimieren die THG-Emissionen wesentlich.

Eine Tonne Bioabfall enthält ein Energieäquivalent von etwa achtzig Kilogramm Treibstoff, was etwa 160 kWh elektrischer Leistung und 310 kWh thermischer Leistung im BHKW entspricht. Mit dem Kompogas-Verfahren werden etwa vierzig Prozent des Bioabfalls zu einem flüssigen Dünger und dreißig Prozent zu einem Kompost transformiert. Der Prozess kombiniert also in idealer Weise die energetische und stoffliche Verwertung des Bioabfalls, eines der drei Abfallströme aus gemischtem Siedlungsabfall.

### 3. Energie aus Abfall

Der dritte Abfallstrom wird als Restmüll bezeichnet, da er auf Grund seiner Zusammensetzung kein direktes stoffliches Recycling zulässt. Eine typische Energieaus-Abfall-Anlage behandelt diesen Restmüll thermisch und erreicht so primär ein energetisches Recycling mit der Option, die Reststoffe (Schlacke) entweder stofflich direkt wiederzuverwerten oder die in ihr enthaltenen Wertstoffe (Metalle) aus einer weniger komplexen Matrix abzuscheiden.

Thermische Abfallverwertung mit einer Rostfeuerung ist ein erprobtes Verfahren, ökonomisch und effizient und spielt die Schlüsselrolle, wenn es um CO<sub>2</sub>-neutrale Energieumwandlung und Recycling von Wertstoffen aus komplexen Matrizen geht. *State of the art* Energie-aus-Abfall-Anlagen bieten einen sicheren Betrieb, sind nachhaltig und erreichen die strengsten Emissionsgrenzwerte. Nicht recycelbarer Abfall wird so produktiv eingesetzt ohne negative Folgen für Mensch und Umwelt.

Die Energie der heißen Abgase in Form von Dampf oder Heisswasser wird zu einer marktfähigen Energie umgewandelt. Dabei wird ein thermischer Wirkungsgrad bis zu neunzig Prozent bzw. ein elektrischer Wirkungsgrad von dreißig Prozent erreicht. Die Energie kann in Form von Elektrizität und/oder Wärme und/oder Kälte von Industrie und Haushalten CO<sub>2</sub>-neutral genutzt werden. Unabhängig davon, in welcher Form die Energie genutzt wird, sie ist umweltverträglich, sicher, erprobt und ökonomisch vertretbar.

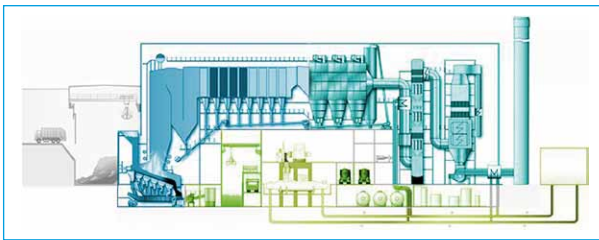


Bild 4:

Schematische Darstellung einer Energie-aus-Abfall-Anlage

Der Restmüll oder RDF wird auf dem Gelände der Energie-aus-Abfall-Anlage angeliefert und in einem Bunker gestapelt. Nach einer gründlichen Durchmischung zur Erreichung eines homogenen Heizwertes kann der Abfall auch in großen Stücken ohne weitere Vorbehandlung mittels eines Kranes in den Einfülltrichter gegeben werden. Von dort wird er mit einem Stößel auf den bewährten HZI-Rost geschoben. Ein integriertes Kontrollsystem stellt einen stabilen und effizienten Betrieb sicher, bei dem der Abfall optimal thermisch verwertet wird. Ist der Ausbrand vollständig, wird die Schlacke durch eine spezielle Vorrichtung ausgetragen und in einem Zwischenbunker gestapelt, wo ihre Weiterverwendung eingeleitet wird.

Die Abgase aus der Verbrennung des Abfalls werden mit Sekundärluft und zirkuliertem Abgas vom Kamin gemischt, um so einen vollständigen Ausbrand und niedrigste CO-Werte zu erreichen. Die Rezirkulation des Abgases erhöht nebenbei die Energieeffizienz der Anlage. Im nachgeschalteten Dampfkessel wird die Energie der Verbrennung in überhitzten Dampf umgewandelt, aus dem in der Dampfturbine und dem Generator Strom entsteht.

Die im Anschluss an den Dampferzeuger verbundene Abgasreinigung stellt auch im Vollastbetrieb sicher, dass die Emissionen immer den zulässigen Werten entsprechen. Hier können nasse, quasitrockene oder trockene Verfahren zur Abscheidung der sauren Schadstoffe und Schwermetalle zum Einsatz kommen, kombiniert mit nicht katalytischen (SNCR) oder katalytischen (SCR) zur Entfernung der Stickoxide. Nur hier entstehen nicht wiederverwertbare Reststoffe, die lediglich zwischen drei und fünf Prozent der eingebrachten Abfallmenge ausmachen.



Ein Tonne Abfall enthält ein elektrisches Energieäquivalent zwischen 650 und 750 kWh bei einem elektrischen Eigenverbrauch zwischen 70 und 120 kWh pro Tonne Abfall. Durch den thermischen Prozess lässt sich aber nicht nur Energie CO<sub>2</sub>-neutral auskoppeln, sondern der Massenverlust des Abfalls beträgt bis 95 Prozent, eine Weiterverwendung der Schlacke vorausgesetzt, und die hygienische Entsorgung ist sichergestellt.

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Erweiterung des KrWG birgt große Chancen für eine nachhaltige Entsorgung und Nutzung biogener Abfallstoffe, vorausgesetzt die Trenndisziplin in Deutschland verbessert sich weiter und die richtigen Technologien finden Anwendung. Nur wenn die biogenen Abfälle sortenrein vorliegen und diese nur wenige und leicht entfernbare Störstoffe enthalten, ist die Trockenfermentation das geeignete Verfahren zur energetischen Verwertung bei gleichzeitigem Recycling in Form eines Komposts, der als Dünger wieder eingesetzt werden kann.

Dass eine MBT-Anlage hingegen in der Regel keinen wiederverwertbaren Kompost liefert, sondern einen gemischten Abfall, der – verbunden mit gleichzeitigem Verbrauch an Strom – durch die Kompostierung lediglich etwa fünfzehn Massenprozent verloren hat, lässt diese Technologie nicht sinnvoll erscheinen.

Werden recycelbare Abfälle vorab von nicht recycelbaren getrennt, so ist eine stoffliche und energetische Verwertung gleichermaßen möglich: Recycelbare nicht biogene Abfallstoffe werden direkt der Wertstoffkette zugeführt, sortenreine biogene Abfälle werden mittels Fermentation in Biogas bzw. Strom und nutzbaren Kompost transformiert, und nicht direkt recycelbare Abfälle werden thermisch verwertet, wobei sie nicht nur elektrische Energie liefern, sondern auch ein Recycling von in komplexen Matrizen eingebundenen Wertstoffen aus der Schlacke ermöglichen.

Hitachi Zosen Inova blickt auf eine über achtzigjährige Erfahrung beim Bau von Energie-aus-Abfall-Anlagen zurück und hat ihr Portfolio mit der Technologie der Trockenfermentation zur Biogasherstellung ergänzt. Damit können wir als erster Anlagenbauer die beiden so wichtigen Technologien für die energetische, aber auch stoffliche Verwertung von vorab nicht recycelbaren Abfällen liefern.

## 5. Literatur

- [1] Getrennte Bioabfall-Erfassung: Stand in Bundesländern unterschiedlich, EUWID 12, 2014, Seite 31
- [2] SGD Nord ordnet getrennte Sammlung und Verwertung von Biomüll ab 2017 an, EUWID 45, 2014, Seite 7
- [3] Studie zur Umsetzung der Pflicht der Getrenntsammlung von Bioabfällen nach § 11KrWG, Dirk Henssen, 2012
- [4] Vogelsbergkreis will mit Gutachten getrennte Biosammlung verhindern, EUWID 35, 2014, Seite 19