

# Optimale Aufbereitung von Gärresten aus der Bioabfallbehandlung



Ein Leitfaden



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



## Impressum

### HERAUSGEBER

Ministerium für Umwelt, Klima  
und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart  
[www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de)

### AUTOREN

Thomas Raussen, Michael Kern  
(Witzenhausen-Institut)

### GESTALTUNG

Layoutlounge – Büro für Gestaltung  
Brandmair & Bausch GbR, Filderstadt

Der Leitfaden „Optimale Aufbereitung  
von Gärresten aus der Bioabfallbehandlung“  
wurde erstellt in Zusammenarbeit mit:



Witzenhausen-Institut  
für Abfall, Umwelt und Energie GmbH  
Werner-Eisenberg-Weg 1, 37213 Witzenhausen

### STAND

September 2016  
2. Auflage

# Inhalt

1	ZUSAMMENFASSUNG	6
2	GÄRRESTE: HAUPTERZEUGNIS VON BIOABFALLVERGÄRUNGSANLAGEN	8
2.1	Hintergrund	8
2.2	Bio- und Grüngutvergärung	10
2.3	Kompostierung von Gärresten	12
2.4	Flüssige Gärreste	12
2.5	Wassermanagement für eine optimierte Gärrestbehandlung	13
3	RAHMENBEDINGUNGEN	14
3.1	Anlagenbestand und eingesetzte Technik	14
3.2	Wesentliche rechtliche Rahmenbedingungen	15
3.3	Verwertungswege für Gärprodukte	16
3.4	Qualitätsanforderungen	17
4	TECHNIKEN UND KONZEPTE FÜR OPTIMIERTE GÄRPRODUKTE	18
4.1	Analyse des Markts für Gärprodukte	18
4.2	Auswahl des Vergärungsverfahrens	19
4.3	Gärrestbehandlung	20
4.4	Kompostierung / Rotte	21
4.4.1	Intensivrotte	21
4.4.2	Nachrotte	21
4.5	Kompost-Konfektionierung	22
4.5.1	Vertiefende Aufbereitungsschritte	23
4.6	Flüssigdünger	25
5	TECHNISCHE ANSÄTZE ZUR REDUKTION FLÜSSIGER GÄRPRODUKTE	26
5.1	Prozessoptimierung – Allgemeines Wassermanagement	26
5.1.1	Brauchwasser	27
5.1.2	Teilstromvergärung	28
5.2	Mechanische Verfahren	29
5.2.1	Schneckenpressen	29
5.2.2	Dekanter / Bandfilterpressen	30
5.3	Thermische Verfahren	31
5.3.1	Bandtrockner	32
5.3.2	Trommeltrockner	32
5.3.3	Solare Trockner	33
5.3.4	Eindampfung	33
5.4	Abwassertechnik	34
5.5	Wirtschaftliche Aspekte	34
5.6	Fazit: Technische Ansätze	35

6	ANLAGE	38
6.1	Anlage1: Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal	38
6.1.1	Optimierung der Gärprodukte	39
6.1.2	Mechanische Verfahren	40
6.1.3	Thermische Verfahren	41
6.1.4	Abwassertechnik	42
6.1.5	Wirtschaftlicher Vergleich der Ansätze	42
6.1.6	Ökologische Bewertung	44
6.1.7	Empfehlung	46
6.2	Bioabfallvergärungsanlage Leonberg	46
6.2.1	Optimierung der Gärprodukte	46
6.2.2	Konzept A: Stoffstrom-Splitting	47
6.2.3	Konzept B: Teilstromvergärung	48
6.2.4	Kombination mit flexibler Stromeinspeisung	48
6.2.5	Wirtschaftlicher Vergleich der Konzepte	48
6.2.6	Gesamtbewertung und Fazit	49
7	ANHANG	50
7.1	Literatur	50
NACHWEIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN, BILDERNACHWEIS		51

# 1. Zusammenfassung

Die Kaskadennutzung von Bioabfällen, d.h. die kombinierte energetische und stoffliche Verwertung, ist ökologisch die hochwertigste Form der Bioabfallverwertung. Allerdings wird oftmals bei der Planung von integrierten Vergärungsanlagen für kommunale Bioabfälle der Fokus auf das Produkt Biogas gelegt. Eine Betrachtung der Outputströme aus der Vergärung zeigt, dass aus der Inputmasse zu ca. 90 % Gärreste und ca. 10 % Biogas entstehen. Vor diesem Hintergrund hat die sinnvolle Nutzung der entstehenden Gärreste sowohl ökonomisch als auch ökologisch einen hohen Stellenwert. Gerade flüssige Gärreste, die in manchen viehreichen Regionen wirtschaftlich kaum zu verwerten sind, können somit zu einer Herausforderung im Anlagenbetrieb werden.

Vor diesem Hintergrund stellt der Leitfaden „Optimale Aufbereitung von Gärresten aus der Bioabfallbehandlung“ den Themenkomplex umfassend dar und zeigt verschiedene Lösungsansätze auf. Die aufgezeigten Handlungsempfehlungen zur optimierten Bewirtschaftung und Reduzierung des Aufkommens flüssiger Gärreste wurden in der Praxis an zwei baden-württembergischen Biogutvergärungsanlagen,

- der Anlage in Backnang-Neuschöntal der AWG des Rems-Murr-Kreises und
- der Anlage in Leonberg der Abfallwirtschaft Landkreis Böblingen, erarbeitet.

Aufkommen, Qualität und Nutzungsoptionen für Gärreste sind neben dem Inputmaterial vor allem von der eingesetzten Vergärungs- und Aufbereitungstechnik abhängig. Während bei den diskontinuierlichen Boxenvergärungsverfahren (Perkolationsverfahren) in der Regel keine oder nur geringe Mengen an flüssigen Gärresten anfallen, entstehen bei den Pfropfenstromver-

fahren als Folge der Fest-Flüssigtrennung große Mengen flüssigen Gärrests. Bei der Nassvergärung ist naheliegend, dass der gesamte Gärrest zunächst als flüssiger Gärrest anfällt.

Für die Gärrestaufbereitung und -konfektionierung gibt es eine Vielzahl verschiedener technischer und organisatorischer Möglichkeiten, um insbesondere flüssige Gärreste zu minimieren. Hierzu werden im Leitfaden sowohl verschiedene Optionen der Prozessoptimierung als auch unterschiedliche mechanische und thermische Verfahren betrachtet. Zudem wird der Bereich der Abwassertechnik untersucht.

Bei der Prozessoptimierung stehen das Brauchwassermanagement sowie eine Teilstromvergärung im Vordergrund. Bei den mechanischen Verfahren werden Pressschnecken, Dekanter und Bandfilterpressen betrachtet. Bei den thermischen Verfahren werden sowohl Band- und Trommeltrockner als auch solar unterstützte Trockner sowie die Eindampfung dargestellt. Bei der Abwassertechnik werden das Membranverfahren sowie die Integration von vorhandenen Kläranlagen in das Anlagenkonzept berücksichtigt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in jüngster Vergangenheit vermehrt Anlagen zur Teilstromvergärung errichtet wurden, unter anderem mit dem Ziel, flüssige Gärreste zu minimieren oder zu vermeiden. Die Erfahrungen sind bislang grundsätzlich positiv. Der Ersatz von Brauchwasser durch Fugat aus der Dekantierung flüssiger Gärreste beinhaltet einen überschaubaren technischen Aufwand und kann auch in bestehenden Anlagen vergleichsweise einfach nachgerüstet werden. Ebenso ist eine Behandlung von Fugat in einer bestehenden Kläranlage – sofern die Anlagensollwerte erreicht werden – eine Option, ggf. auch, um zur landwirtschaftlichen Verwertung eine Alternative zu besitzen.

Langjährige Erfahrung mit einem Bandtrockner im Betrieb einer Bioabfallvergärungsanlage besteht am Standort Leonberg. Sie bestätigt sowohl die Funktionalität als auch die Erkenntnis, dass neben der BHKW-Wärme zusätzliche externe Wärmequellen für den Trocknungsprozess erforderlich sind (z.B. Heizöl). Eine nicht zu unterschätzende Herausforderung liegt im gleichmäßigen Aufbringen und Durchschleusen des Materials durch den Trocknungsprozess. Letzteres spricht ggf. für den Einsatz eines Trommeltrockners.

Solar unterstützte Trockner werden in Deutschland vorwiegend für Klärschlamm eingesetzt. Dies ist wesentlich in wirtschaftlichen Faktoren begründet, die für den hohen Stromverbrauch (Zu- und Abluft) einen adäquaten Gegenwert benötigen. An vielen Standorten dürfte auch der große Platzbedarf limitierend wirken.

Von den anderen genannten Verfahren sind kaum langjährige Erfahrungen bei der Behandlung abfallstämmiger Gärreste vorhanden. Zum einen ist die dauerhafte Funktionalität unter Praxisbedingungen zu hinterfragen und zum anderen entstehen bei diesen Verfahren weitere belastete Teilströme, die dann einer weiteren Behandlung bedürfen.

Unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten ist immer die direkte Verwertung flüssiger Gärreste in der Landwirtschaft als erste Priorität zu sehen. Nur dort, wo die Verwertung flüssiger Gärreste in der Landwirtschaft nicht gegeben ist oder die wirtschaftlichen Erwartungen der Landwirte zu hoch sind, sollten technische Alternativen geprüft werden. Wie die untersuchten zwei Praxisbeispiele in Backnang-Neuschöntal und Leonberg zeigen, gibt es nicht die Lösungen, sondern Lösungsansätze sind immer standort- und anlagenspezifisch zu entwickeln.

## 2. Gärreste: Haupterzeugnis von Bioabfallvergärungsanlagen

### 2.1 HINTERGRUND

Was wir unter einer gelebten Kreislaufwirtschaft verstehen, lässt sich gerade am Beispiel von Bioabfall eindrücklich zeigen. Die in dieser beständig „wachsenden“ Ressource enthaltene Energie gilt es zu nutzen sowie die darin vorhandenen lebenswichtigen Nährstoffe als Düngemittel in den Kreislauf zurückzuführen. Die entscheidende Voraussetzung für eine ressourceneffiziente Kreislaufführung von Bioabfällen sind eine möglichst störstoffarme getrennte Sammlung und eine hochwertige Verwertung, die neben einer umfassenden Energiegewinnung auch zu Qualitätskomposten und ggf. Flüssigdüngern führt.

Neben der regenerativen Energieproduktion durch die Vergärung von Bioabfällen ist die Erzeugung hochwertiger Dünge- und Bodenverbesserungsmittel aus den Gärresten wesentliches Ziel. Die Absatzmärkte und auch der Gesetzgeber stellen hohe Anforderungen an die Qualität der erzeugten Komposte und Flüssigdünger. Dies erfordert sorgfältige Arbeit in der Planung und im Betrieb solcher Anlagen. Dazu möchte dieser Leitfaden Anregungen und Hinweise geben.

Der vom Umweltministerium Baden-Württemberg und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg 2015 herausgegebenen Leitfaden „Hochwertige Verwertung von Bioabfällen“ behandelt umfassend die gesamte Kette von der Erfassung über die Behandlung bis hin zur Verwertung kommunaler Bioabfälle.

Der vorliegende Leitfaden beleuchtet vertiefend den Aspekt der Aufbereitung von Gärresten, um Wege zur Behandlung und Vermarktung der flüssigen Gärreste aufzuzeigen. Er wurde aus den Erkenntnissen grundlegender Untersuchungen zur Optimierung der Gärresteverwertung am Beispiel der Bioabfallver-

gärungsanlagen Backnang und Leonberg entwickelt. Allen Betreibern und Interessenten von Bioabfallvergärungsanlagen soll der Leitfaden als Basis für die weitergehende Informationsbeschaffung und künftige Entscheidungen sowie zur Unterstützung bei der praktischen Umsetzung dienen.

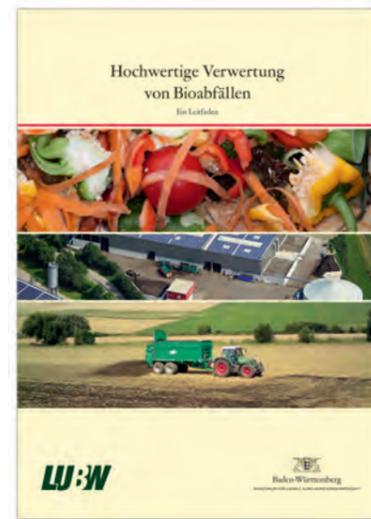


Abb. 1: Leitfaden „Hochwertige Verwertung von Bioabfällen“ [2].

Zu den Bioabfällen gehören alle Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft. Im Allgemeinen werden Bioabfälle unterschieden nach (siehe auch Abb. 1)

- **Häusliche Bioabfälle oder Biogut**  
Biologisch abbaubare Abfälle aus privaten Haushalten, die über eine Biotonne oder einen Biobehälter erfasst werden. Dazu gehören Nahrungs- und Küchenabfälle (z.B. Gemüse- und Obstreste, Küchenpapier) sowie Gartenabfälle (z.B. Rasenschnitt).
- **Grünabfälle oder Grüngut**  
Separat erfasste Gartenabfälle aus privaten Haushalten (z.B. Baum- und Heckenschnitt), Park- und Landschaftspflegeabfälle aus dem kommunalen Bereich.

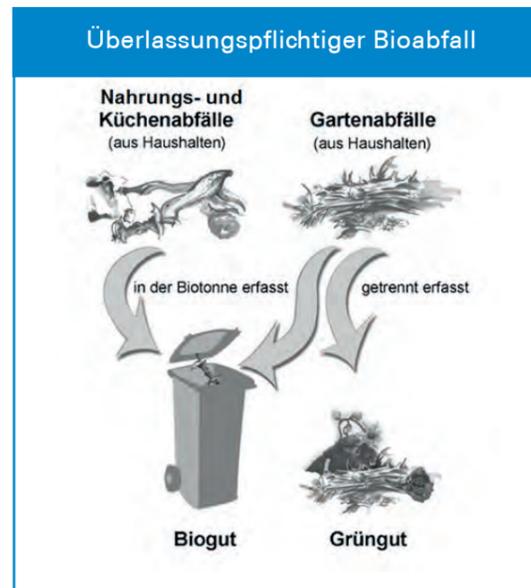


Abb. 2: Bioabfälle aus privaten Haushalten: Biogut und Grüngut

Seit den Anfängen der großtechnischen Kompostierung Mitte der 1980er Jahre werden aus dem separat erfassten Biogut der Haushalte Komposte hergestellt. Wurden ursprünglich meist einfache, kleinere Mietkompostierungen eingesetzt, so sind heute viele großtechnische, gekapselte Kompostierungen im Einsatz. Seit Anfang dieses Jahrhunderts wird ein zunehmender Anteil des Bioguts – meist zusammen mit Strukturmaterial (Grüngut) – zuerst zur Biogasgewinnung vergoren und dann zu Kompost (und zum Teil auch zu flüssigen Gärresten) weiter verarbeitet (Abb. 2). Diese Doppelnutzung, die oft auch als „Kaskadennutzung“

bezeichnet wird, ist ökologisch vorteilhaft. Während reine Kompostanlagen Strom aus dem öffentlichen Netz beziehen, speisen Bioabfallvergärungsanlagen wesentlich mehr Strom in die Netze ein, als sie selbst verbrauchen. Sie leisten damit auch einen wichtigen Betrag zur Versorgung mit erneuerbaren Energien.

Kaskadenanlagen zur Vergärung und Kompostierung von Biogut erzeugen zwei wesentliche Produkte:

1. Biogas zur weiteren energetischen Verwertung
2. Gärprodukte, die zu Düngemitteln aufbereitet in der Landwirtschaft und anderen Bereichen (Gartenbau, Erdenwerke usw.) Verwendung finden

Etwa 10 Masseprozent der Inputmasse (Bioabfall) wird in der Vergärung in Biogas umgewandelt, während ca. 90 Masseprozent nach der Vergärung noch vorhanden sind und als Gärreste bezeichnet werden. Die entstandenen Gärreste werden anschließend mit unterschiedlichen Verfahren weiter behandelt (vgl. Kap. 5), damit sie als Düngemittel und/oder Bodenverbesserungsmittel verwendet werden können. Der Einsatz dieser als Gärprodukte bezeichneten Stoffe unterliegt hinsichtlich der Qualität und weiterer Parameter strengen gesetzlichen Vorschriften, die bei den meisten Bioabfallvergärungsanlagen durch eine freiwillige Gütesicherung ergänzt werden.



Abb. 3: Kompost (links) und flüssiger Gärrest (rechts) aus der Vergärung von Bioabfall

Gärreste als Nebenprodukte der Bioabfallvergärung zu bezeichnen, würde ihrer Bedeutung daher nicht gerecht. Sowohl der große Mengenanteil der Gärprodukte am Gesamtoutput der Anlagen als auch ihre ökologische Bedeutung für das Phosphatrecycling und die Humusreproduktion unterstreichen ihre Bedeutung. Nicht zuletzt fordert auch die in der europäischen und deutschen Gesetzgebung festgeschriebene Abfallhierarchie (Abb. 3), Abfälle möglichst wiederzuverwenden oder zu recyceln, also in diesem Falle Komposte und Gärprodukte für Landwirtschaft, Erdenerwerke, Hobbygartenbau und andere Bereiche zu erzeugen. Dass dies oft mit der Erzeugung von Energie verknüpft werden kann, ist eine der Stärken der biologischen Bioabfallbehandlung.

## 2.2 BIO- UND GRÜNGUTVERGÄRUNG

Vergärungsanlagen für Bioabfall können im Gegensatz zu Kompostierungsanlagen als Inputmaterial auch flüssige und pastöse Stoffe verwerten. Grüngut wird in der Vergärung wegen des i. d. R. deutlich niedrigeren Biogaspotenzials im Vergleich zum Biogut meist nur zu geringen Anteilen eingesetzt. Anders als bei der Kom-

postierung finden die biologischen Abbauprozesse unter Sauerstoffabschluss, also anaerob, statt.

Ligninreiche Materialien, wie zum Beispiel Holz und Stroh, sind für diesen Verwertungsweg ungeeignet, da die anaeroben Mikroorganismen sie in den Vergärungsanlagen kaum abbauen. Getrennt erfasstes Biogut, einschließlich Nahrungs- und Küchenabfälle, sowie der frische, krautige Anteil des Grünguts wie Rasenschnitt eignen sich hingegen gut für die Vergärung.

Bundesweit existieren mehrere tausend Vergärungsanlagen. Doch sind die meisten als landwirtschaftliche Anlagen, die in erster Linie Gülle und Energiepflanzen einsetzen, konzipiert. Eine ausreichende Infrastruktur zur Vergärung des Bioguts ist noch im Aufbau. So waren Anfang 2014 in Deutschland etwa 80 Anlagen für die Vergärung von Biogut in Betrieb. Wesentliches Merkmal zur Einteilung der Vergärungsverfahren ist die Betriebsweise, wobei grundsätzlich zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Verfahren unterschieden werden kann (Abb. 4).



Abb. 4: Abfallhierarchie gemäß § 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz

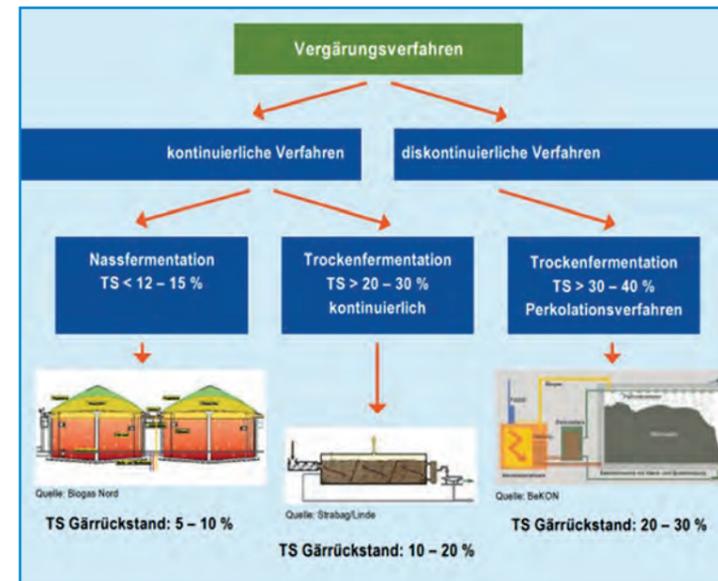


Abb. 5: Unterschiedliche Vergärungsverfahren für Biogut und die Trockensubstanzgehalte der dabei entstehenden Gärreste

Bei den kontinuierlichen Verfahren wird Bioabfall automatisch gleichmäßig in den Gärreaktor (Fermenter) gegeben. Dies fördert eine kontinuierliche Biogasproduktion mit konstanter Qualität. Dabei wird in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des eingebrachten Substrats zwischen Nassfermentierungsanlagen (zumeist mit Rührkesselfermenter) und Trockenfermentationsanlagen (zumeist mit Pfropfenstromfermenter) unterschieden.

Bei diskontinuierlichen Verfahren werden die Fermenter (Boxen/Garagen) zumeist mit Radladern befüllt und gasdicht verschlossen. Nach mehreren Wochen werden die Fermenter entleert und erneut befüllt (Batchbetrieb). Die Biogasproduktion ist nicht kontinuierlich, eine Parallelschaltung mehrerer zeitversetzt arbeitender Fermenter kann dies aber weitgehend kompensieren. Diskontinuierliche Verfahren weisen durch ihre technisch einfacheren Reaktorsysteme Vorteile gegenüber kontinuierlichen Verfahren auf. Dem gegenüber benötigen kontinuierlich arbeitende Anlagen durch ihre höhere spezifische Gasausbeute ein geringeres Reaktorvolumen und sind in der Regel besser zu automatisieren als diskontinuierliche Prozesse.

Eine ausführliche Beschreibung der unterschiedlichen Verfahren zur Vergärung von Biogut ist im Leitfaden „Hochwertige Verwertung von Bioabfällen“ (Kapitel 5) [1] zu finden. Pro Tonne Bioabfall entstehen in Abhängigkeit von Inputqualität und Verfahren zwischen 80 und 140 Normkubikmeter ( $m_N^3$ ) Biogas (Methangehalt 50 bis 65 Prozent). Dessen Energie entspricht dem Energiegehalt von 50 bis 80  $m^3$  Erdgas.

Meist wird das Biogas über ein Blockheizkraftwerk direkt in Strom (200 bis 300 Kilowattstunden pro Tonne  $[kWh/t]$  Input) und Wärme (ebenfalls circa 200 bis 300  $kWh/t$  Input) umgewandelt. Bei einem Anfall von beispielsweise 20.000 Tonnen Bioabfall pro Jahr könnte ein Blockheizkraftwerk mit einer Leistungsklasse von 600 kW (elektrisch) betrieben werden, das genügend Strom für 1.000 bis 1.500 Haushalte liefert. Möglich ist auch die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und die Einspeisung in das Erdgasnetz. Von dort kann es direkt zur Erzeugung von Strom und/oder Wärme oder zur Nutzung als Kraftstoff entnommen werden. Die entstehenden flüssigen Gärückstände können in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen, während feste Gärreste nach einer Kompostierung als Kompost in unterschiedliche Bereiche vermarktet werden.

### 2.3 KOMPOSTIERUNG VON GÄRRESTEN

Die Kompostierung ist ein biologisches Abbauprozess für organische Abfälle, bei dem unter Zufuhr von Sauerstoff die Zersetzung des Materials durch Kleintiere und Mikroorganismen erfolgt. Als Endprodukt entsteht ein organischer Pflanzennährstoff und Humuslieferant: der Kompost.

Ursprünglich von Hobbygärtnern im Hausgarten praktiziert, wird die Kompostierung als Methode zur biologischen Abfallbehandlung in Deutschland seit Mitte der 1980er Jahre in großtechnischem Maßstab betrieben.

Die angewandten technischen Kompostierungsverfahren lassen sich in verschiedene Kategorien einteilen:

- Mietenkompostierung (Dreiecks-, Trapez- oder Tafelmieten)
- Boxen-/Containerkompostierung
- Zeilen-/Tunnelkompostierung
- sonstige Systeme

Die Verfahren unterscheiden sich durch die Bauweise (offen, überdacht, gekapselt), die Art der Belüftung sowie letztendlich auch in der Zeitdauer der Intensivrotte sowie der damit angestrebten Kompostreife. Einer Kompostierung zugeführt werden entweder die unbehandelten Bioabfälle (nach entsprechender Aufbereitung) oder die Gärreste einer Bioabfallvergärung.

Bei der Bioabfallvergärung entstehen

- (1) flüssige Gärreste (Nassfermentation)
- (2) pastöse / breiartige Gärreste (Pfropfenstromfermentation)
- (3) stapelfähige Gärreste (Boxenfermentation)

Während der Gärrest aus (3) unmittelbar für eine nachfolgende Kompostierung geeignet ist, erfolgt bei den Anlagentypen nach (1) und (2) in der Regel eine Separation des Gärrests in eine flüssige und feste Phase. Dazu werden verschiedene Techniken eingesetzt, die in Kapitel 5.2 näher beschrieben werden.

Die Kompostierung der festen Gärreste erfolgt ähnlich wie zuvor für die direkte Kompostierung des Bioabfalls beschrieben. Allerdings ist für die Kompostierung der festen Gärreste noch sorgfältigeres Arbeiten als bei der direkten Kompostierung erforderlich. Wesentliche Ursache dafür ist, dass bereits ein Teil der organischen Substanz in der Vergärung abgebaut wurde und daher für die Kompostierung weniger abbaubares (und dabei wärmeerzeugendes) Material zur Verfügung steht. Sofern die Gärreste als Ausgangsmaterial für die Kompostierung, aufgrund der eingesetzten Verfahren, auch noch feuchter sind, erschwert sich die Kompostierung. Ein wesentliches verfahrenstechnisches Ziel ist es, den Kompost für eine nachfolgende Konfektionierung (vor allem für eine Siebung) ausreichend zu trocknen. Der Wassergehalt sollte dazu kleiner als 40 % sein. Unter diesen Bedingungen lässt sich der Kompost in der Regel gut absieben und die noch im Material enthaltenen Störstoffe abtrennen.

Die Qualität der Komposte aus festem Gärrest unterscheidet sich kaum von einem Kompost, der durch eine ausschließlich aerobe Behandlung erzeugt wurde. Positiv ist der nach einer Abpressung niedrigere Salzgehalt der Komposte.

### 2.4 FLÜSSIGE GÄRRESTE

Bei allen Verfahren zur Vergärung von Biogas entstehen flüssige Gärreste oder Prozesswasser. Allerdings in sehr unterschiedlichem Ausmaß (Anteil am gesamten Gärrest):

- bei Boxenvergärung < 10 %
- bei Pfropfenstromvergärung 50 %
- bei Nassvergärung 70 %

Bei der Boxenvergärung wird Flüssigkeit im Kreis geführt, um das Gärgut immer wieder zu befeuchten, mit anaeroben Mikroorganismen anzuimpfen und um Wärme einzutragen. Am Boden der Fermenterboxen wird diese Flüssigkeit, das sogenannte Perkolat, abgezogen und in einen Perkolatfermenter geleitet. Mit dem Perkolat werden auch lösliche organische Stoffe,

insbesondere organische Säuren, in den Perkolatfermenter gebracht, sodass auch in diesem Biogas entsteht. Mit der Zeit reichern sich ebenfalls Salze und Nährstoffe im Perkolat an (u. a. Ammonium und Ammoniak), sodass es ausgetauscht werden muss. Außerdem entsteht Überschussperkolat, wenn das zur Vergärung eingesetzte Inputmaterial (insbesondere Biogas) relativ feucht ist (was im Jahresverlauf immer wieder auftritt). Hygienisiertes Perkolat kann ackerbaulich verwertet werden.

Der pastöse (breiartige) Gärrest aus der Pfropfenstromvergärung wird meistens mechanisch entwässert (siehe Kapitel 5.2), wodurch ein fester Gärrest zur weiteren Kompostierung und ein flüssiger Gärrest, der als Flüssigdünger ackerbaulich eingesetzt werden kann, entstehen. Bedingt durch das Abpressen mit feinen Siebblechen ist der Flüssigdünger nahezu störstofffrei.

Bis zur Ausbringung auf die Ackerflächen (meist im Frühjahr und Spätsommer) wird der Flüssigdünger in Speicherbehältern vorgehalten. Zukünftig (Entwurf AwSV § 23) wird ein Lagervolumen für neun Monate vorzuhalten sein (vorgesehene Übergangsfrist für bestehende Anlagen: 5 Jahre). In den Lagern kann eine gewisse Sedimentation von Sand und Schluff nicht unterbunden werden. Deshalb ist in regelmäßigen (meist einjährigen) Abständen ein Austrag des Sediments erforderlich.

Der flüssige Gärrest ist in der Regel ein für den Ackerbau geeigneter Flüssigdünger mit gut pflanzenverfügbaren Nährstoffen (typische Werte je m<sup>3</sup>: 5–10 kg N, 1–2 kg P, 4–6 kg K). Dies kann insbesondere für biologisch wirtschaftende Betriebe, die sonst kaum über schnell pflanzenverfügbare organische Düngemittel verfügen, interessant sein. Flüssiger Gärrest wird auf ackerbaulich genutzten Flächen im Rahmen der erforderlichen Nährstoffversorgung eingesetzt.

Bei **Nassvergärungen** kommen meist mehrere Verfahrensschritte zur Abtrennung des festen Gärrests zum Einsatz. Die Lagerung und Verwertung des Flüssigdüngers erfolgt ähnlich, wie dies zuvor für den Flüssigdünger aus der Pfropfenstromvergärung beschrieben wurde.

### 2.5 WASSERMANAGEMENT FÜR EINE OPTIMIERTE GÄRRESTBEHANDLUNG

Aus den zuvor dargestellten Zusammenhängen lassen sich folgende Schlussfolgerungen für das Wassermanagement zur Erzielung qualitativ hochwertiger Gärprodukte ziehen:

- (1) Die festen Gärreste sollten zu Beginn des Kompostierungsprozesses einen Wassergehalt von 65 % aufweisen.
- (2) Bei den Boxenfermentationen ist ein gutes Perkolationsmanagement und eine gute Drainierung der Fermenter erforderlich.
- (3) Bei den Pfropfenstrom- und Nassfermentationen ist eine gute Entwässerung des Gärrests erforderlich. Bei mechanischer Entwässerung ist dazu meist ein ausreichender Strukturanteil im Gärrest erforderlich.
- (4) Wegen der hohen Aufwendungen für Lagerung und Transport, sollte die Menge an flüssigem Gärrest oder Prozesswasser möglichst niedrig gehalten werden. Auch schmälert eine Verdünnung mit anderem auf den Anlagen anfallendem Wasser seinen Düngewert.



### 3. Rahmenbedingungen

#### 3.1 ANLAGENBESTAND UND EINGESETZTE TECHNIK

Für 2014 kann in Deutschland von knapp 1.000 genehmigten Anlagen zur Behandlung von Bio- und Grünut ausgegangen werden (vgl. Abb. 5 und Tab. 1). Wie diesen Daten zu entnehmen ist, sind mehr als die Hälfte dieser Anlagen (nämlich 540) ausschließlich für die Behandlung von Grünut vorgesehen. Insgesamt 83 Anlagen zur Vergärung und Kompostierung von Biogut (und in geringen Anteilen Grünut und anderen organischen Stoffen) waren im Jahr 2014 dokumentiert.

Von den 314 Anlagen zur Kompostierung von Bio- und Grünut sind 44 % nur für Durchsatzmengen von weniger als 10.000 Mg/a zugelassen und daher ohne Erhöhung der Durchsatzkapazitäten nicht für eine wirtschaftlich interessante Ergänzung um eine Vergärungs-Vorschaltanlage geeignet.

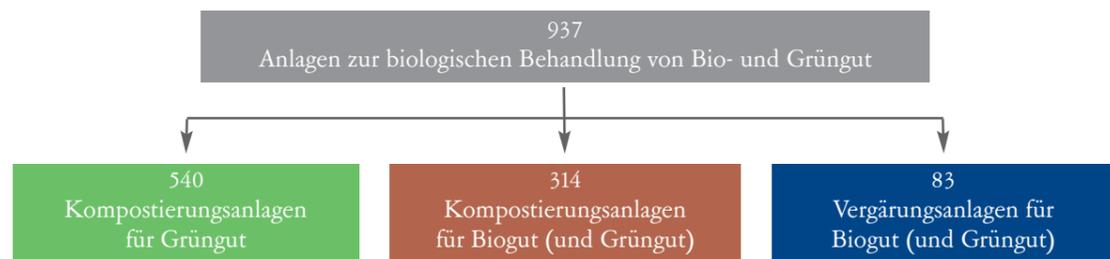


Abb. 6: Übersicht zum Anlagenbestand zur Behandlung von Bio- und Grünut in Deutschland (Stand 2012 für Kompostierungsanlagen bzw. 2014 für Vergärungsanlagen)

Tab. 1: Bestand an Anlagen zur Behandlung von Bio- und Grünut in Deutschland nach Durchsatzkapazitäten (eigene Auswertung Witzenhausen-Institut)

		Durchsatzkapazität der Anlagen [Mg/a]						
		< 10.000	10-20.000	20-30.000	30-40.000	40-50.000	> 50.000	∑
Kompostierung Grünut	Anzahl	435	59	19	14	5	8	540
		81%	11%	4%	3%	1%	1%	
Kompostierung Bio- und Grünut	Anzahl	137	68	48	33	10	18	314
		44%	22%	15%	11%	3%	6%	
Vergärung und Kompostierung	Anzahl	0	41	18	12	9	3	83
		0%	49%	22%	15%	10%	4%	
	∑ Anzahl	572	168	85	59	24	29	937
		61%	18%	9%	6%	2%	3%	



2014 gab es 83 Bioabfallvergärungsanlagen in Deutschland, die überwiegend mit dem Inputstoff „Bio- und Grünut aus dem kommunalen Bereich“ betrieben wurden [1]. Abb. 6 zeigt, dass zur Vergärung von Bioabfall, anders als bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, nur zu einem geringen Teil (19 %) Nassvergärungsverfahren zum Einsatz kommen. Diese ursprünglich vorherrschende Vergärungstechnik hat sich für die Behandlung gewerblicher Bioabfälle wie Speiseabfälle aus der Gastronomie bewährt, weist aber bei der Behandlung von Bio- und Grünut, insbesondere wegen der hohen mineralischen Anteile im Substrat, Nachteile auf (Verschleiß etc.). Im letzten Jahrzehnt wurden für die Vergärung von Bio- und Grünut nahezu ausschließlich Anlagen nach dem Pfropfenstromverfahren und nach dem diskontinuierlichen Boxen- bzw. Batchverfahren errichtet. Aktuell erleben Nassvergärungsverfahren auch für Biogut, insbesondere vor dem Hintergrund der Fremdstoffabtrennung, eine gewisse Renaissance.

Von den vorhandenen Vergärungsanlagen verfügen 91 % über eine Kompostierung für die festen Gärreste, wovon wiederum etwa die Hälfte den Gärrest unmittelbar einer Nachrotte zuführen, während die anderen Anlagen davor eine Intensivrottestufe betreiben (Abb. 7).

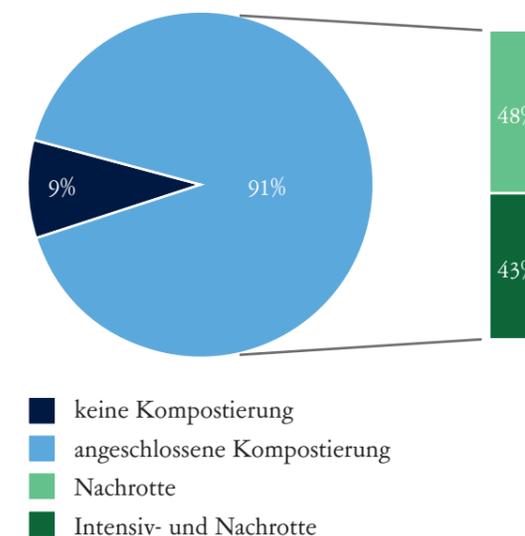
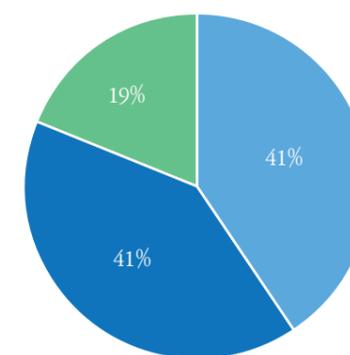


Abb. 8: Nachgeschaltete Kompostierung bei den Vergärungsanlagen für Bio- und Grünut



- Boxenverfahren
- Pfropfenstromverfahren
- Nassfermentation

Abb. 7: Anzahl Bioabfallvergärungsanlagen unterteilt nach Vergärungsverfahren

Mittel- bis langfristig wird ein deutlicher Ausbau der Vergärungskapazität für Bio- und Grünut erwartet. Von den knapp eintausend in Deutschland betriebenen biologischen Behandlungsanlagen sind 177 Kompostierungsanlagen für Bio- und Grünut mit einer Kapazität von über 10.000 Mg/a genehmigt. Insgesamt beträgt die genehmigte Kapazität dieser Standorte fast 4 Mio. Mg/a und bietet gute Chancen für die Ergänzung (Vorschaltung) einer Vergärungsstufe.

Alle betrachteten Bioabfallvergärungsanlagen vertreiben ihre festen und flüssigen Gärprodukte mit RAL-Gütesicherung.

#### 3.2 WESENTLICHE RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Errichtung und Betrieb von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen für Bio- und Grünut werden durch viele Rechtsbereiche bestimmt und beeinflusst. Insbesondere

- das Immissionsschutzrecht,
- das Abfallrecht,
- das Düngerecht und
- das Energierecht

sind hierbei maßgeblich. Die vollständige Behandlung der rechtlichen Fragen würde einen eigenen Leitfaden füllen. Aus diesem Grund werden hier lediglich die wesentlichen Rechtsbereiche im Hinblick auf die Gärrestverwertung benannt.

### 3.3 VERWERTUNGSWEGE FÜR GÄRPRODUKTE

Knapp zwei Drittel der RAL-gütesicherten Komposte und ein noch größerer Anteil der flüssigen Gärprodukte werden in der Landwirtschaft eingesetzt (Abb. 8).

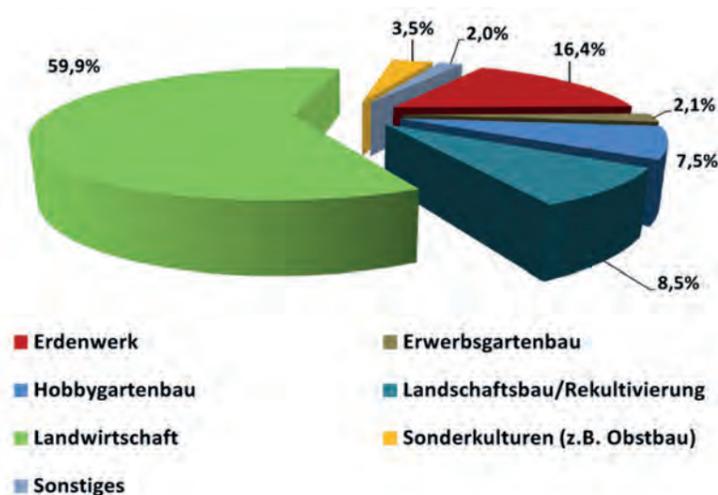


Abb. 9: Vermarktungswege von RAL-gütesichertem Kompost im Jahr 2014 (Quelle: BGK)

Dort wird Kompost als Bodenverbesserungs- und Düngemittel eingesetzt. Insbesondere Marktfruchtbetriebe (d.h. Betriebe ohne Tierhaltung), deren intensive Fruchtfolgen zu einem hohen Humusverbrauch im Boden führen, setzen Kompost zur Humusproduktion ein. Darüber hinaus enthält Kompost alle wesentlichen Pflanzennährstoffe.

Rascher verfügbar sind die Nährstoffe in der Regel im flüssigen Gärrest, der allerdings weniger zur Humusbildung beiträgt als Kompost.

Die entsprechende Transport- und Ausbringtechnik ist im landwirtschaftlichen Umfeld vorhanden. Allerdings

- ist die Ausbringung von Düngemitteln aus Biogut auf Grünland nicht gestattet (BioAbfV § 7 i. V. mit Anhang 1 Nr. 1 Spalte 3),

- ist zukünftig (Entwurf AwSV § 23) ein Lagervolumen für 9 Monate vorzuhalten (vorgesehene Übergangsfrist für bestehende Anlagen: 5 Jahre),
- müssen die Lager regelmäßig von Sinkschichten befreit werden,
- wird der Wert des flüssigen Gärrests seitens der Landwirtschaft im Vergleich zu Alternativprodukten (Wirtschaftsdünger, Gärreste aus NawaRo-Vergärungsanlagen) als sehr gering bewertet. Landwirte sind sich bei den Verhandlungen mit Betreibern von Bioabfallvergärungsanlagen ihrer Monopolstellung für die Verwertung flüssiger Gärreste durchaus bewusst,
- sind flüssige Gärreste (mit hohem Wasseranteil), anders als Komposte, nur über kurze Wege transportwürdig,
- sind die verfügbaren Flächen in Regionen mit dichter Besiedlung, hohem Grünlandanteil und/oder hohen Tierbesatzdichten begrenzt.

Neben der Landwirtschaft sind Erdenwerke ein wichtiger Absatzweg vor allem für Fertig- und Substratkomposte. Die Tendenz ist hier steigend, was gerade aus ökologischen Gesichtspunkten positiv zu bewerten ist. Denn Kompost wird hier zu hochwertigen Erden veredelt, die Primärrohstoffe wie Torf ersetzen können und so weniger Treibhausgase aus dem Torfabbau freigesetzt sowie Naturräume (Moore) geschont werden.

### 3.4 QUALITÄTSANFORDERUNGEN

An die Komposte und Gärprodukte werden hohe Qualitätsanforderungen hinsichtlich ihrer Fremd- und Schadstoffgehalte gestellt.

Den rechtlichen Rahmen hierfür liefert insbesondere die Bioabfallverordnung sowie die Düngemittelverordnung, in der die Verwertung von Bioabfällen als Düngemittel auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden hinsichtlich ihrer Behandlung und Ausbringung geregelt ist. Dort finden sich beispielsweise Festlegungen geeigneter Bioabfälle zur stofflichen Verwertung, Hygienisierungsvorgaben sowie Grenzwerte für Fremd- und Schadstoffgehalte.

RAL-gütesicherte Komposte und Gärprodukte müssen zusätzlich auch Anforderungen zum Verunreinigungsgrad, ermittelt über die Flächensumme, erfüllen. Hierbei liegt der Grenzwert aktuell bei 25 cm<sup>2</sup>/l Prüfsubstrat; dieser Wert wird zum 30.06.2018 auf den Grenzwert 15 cm<sup>2</sup>/l Prüfsubstrat abgesenkt.

Durch die Bioabfallverordnung wird auch gewährleistet, dass Komposte oder Gärrückstände aus vermischten Siedlungsabfällen nicht zur Düngung oder Bodenverbesserung verwertet werden. Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass Bioabfallkomposte, die aus getrennt erfassten Bioabfällen hergestellt wurden, den Komposten auf der Basis von vermischten Siedlungsabfällen (also mit Restabfällen vermischte Bioabfälle) qualitativ weit überlegen sind.

Um den Abnehmern der Produkte gleichbleibende Qualitäten zu sichern, schließen sich die meisten Kompostierungsanlagen und zunehmend auch Vergärungsanlagen den regelmäßigen und unabhängigen Qualitätsüberwachungen durch eine Gütegemeinschaft an.

Gütegemeinschaften sollen sicherstellen, dass nur geeignete und unbedenkliche Ausgangsstoffe in die Verwertung gelangen und die Anforderungen an die Behandlung, die Qualität der erzeugten Düngemittel sowie deren sachgerechte Verwendung erfüllt werden.

Gerade für Produkte aus der Verwertung von Bio- und Grünabfällen sind der Nachweis einer neutralen Qualitätskontrolle sowie die Kennzeichnung als Qualitätsprodukt für die Akzeptanz beim Kunden und die Stärkung der regionalen Absatzstrukturen von besonderer Bedeutung.

Aktuell werden vielfach die Fremdstoffgehalte, insbesondere die optisch gut wahrnehmbaren Kunststoffteile, in Bioabfall-Komposten diskutiert. Neben vielen anderen Stellschrauben spielt hinsichtlich der Fremdstoffentfrachtung des Komposts auch das Wassermanagement eine wesentliche Rolle. Bei allen Verfahren ist am Ende der Kompostierung eine Konfektionierung erforderlich. Dabei ist vor allem die Absiebung von Bedeutung. Ein gutes Siebergebnis mit Abtrennung einer möglichst reinen Störstofffraktion – hier insbesondere Kunststoffanteile – setzt einen ausreichend trockenen Kompost ( $\approx TS \geq 60\%$ ) voraus. Bei gutem Management und entsprechender technischer sowie flächenmäßiger Ausstattung der Anlagen kann dieser Wert erreicht und folglich ein hochwertiges möglichst störstoffreies Produkt (Kompost) erzeugt werden.

## 4. Techniken und Konzepte für optimierte Gärprodukte

Qualitativ hochwertige Gärprodukte sind das Ergebnis vieler Einzelmaßnahmen von der Erfassung des Bio- und Grünguts bis hin zur Konfektionierung des Komposts bzw. der Verwertung des flüssigen Gärrests. Zur Ausgestaltung der Sammlung gibt Kapitel 6 des Leitfadens „Hochwertige Verwertung von Bioabfällen“ [2] umfassende Hinweise. Zur allgemeinen Anlagentechnik von Vergärungsanlagen finden sich umfassende Darstellungen im Kapitel 5 des gleichen Leitfadens.

Nachfolgend stehen die Fragen des Wassermanagements im Vordergrund, die sowohl auf die Menge bzw. Massen an Gärprodukten als auch auf deren Qualität einen Einfluss haben. Die wesentlichen Ziele sind dabei:

- (1) Kompost muss am Ende der Behandlung so trocken ( $\approx TS \geq 60\%$ ) sein, dass eine gute Absiebung / Konfektionierung möglich ist.
- (2) Flüssige Gärreste sollen in ihrem Aufkommen minimiert und ihre Nährstoffkonzentration nicht verdünnt werden.

### 4.1 ANALYSE DES MARKTS FÜR GÄRPRODUKTE

Unabhängig davon ob

- die Massenbilanz,
- die Ökobilanz
- oder die Wirtschaftlichkeit

einer Bioabfall-Vergärungs- und -kompostierungsanlage betrachtet wird, zeigt sich im Ergebnis: Die energetische Seite der Anlage ist wichtig, wird aber in ihrer Bedeutung von der stofflichen Seite, d.h. der Erzeugung hochwertiger Gärprodukte bzw. Komposte übertroffen.

Mit „Am Ende anfangen“ [3] lassen sich die grundsätzlichen Überlegungen für die ersten standortspezifischen Konzepte einer Vergärungsanlage beschreiben. Wie jeder Kaufmann muss sich der zukünftige Betreiber fragen, ob für seine Produkte ein Markt besteht. Für den Strom ist dieser Markt derzeit garantiert und ein beachtlicher Teil der Wärme wird auf der Anlage selbst benötigt (siehe auch Kapitel 5.3). Für die Gärprodukte ist allerdings frühzeitig zu prüfen, ob und in welcher Qualität sie Märkte finden. Abhängig davon ist dann die Auswahl der Vergärungstechnik, die, wie in Kap. 2.4 beschrieben, einen großen Einfluss auf die Anteile an flüssigem und festem Gärrest hat.

Grundsätzlich sind aufgrund der Gesetzeslage Produkte aus Biogut nur ackerbaulich und nicht auf Grünland zu verwerten. Qualitätskomposte sind in der Regel gut vermarktbar und sie sind auch transportwürdig. Anders sieht es mit flüssigen Gärprodukten in Regionen mit hohem Grünlandanteil, intensiver Viehhaltung und einer großen Zahl anderer Biogasanlagen aus. Dort ist die Vermarktung flüssigen Gärrests wegen der vielen Alternativprodukte (Wirtschaftsdünger, NawaRo-Gärreste etc.) häufig schwieriger.

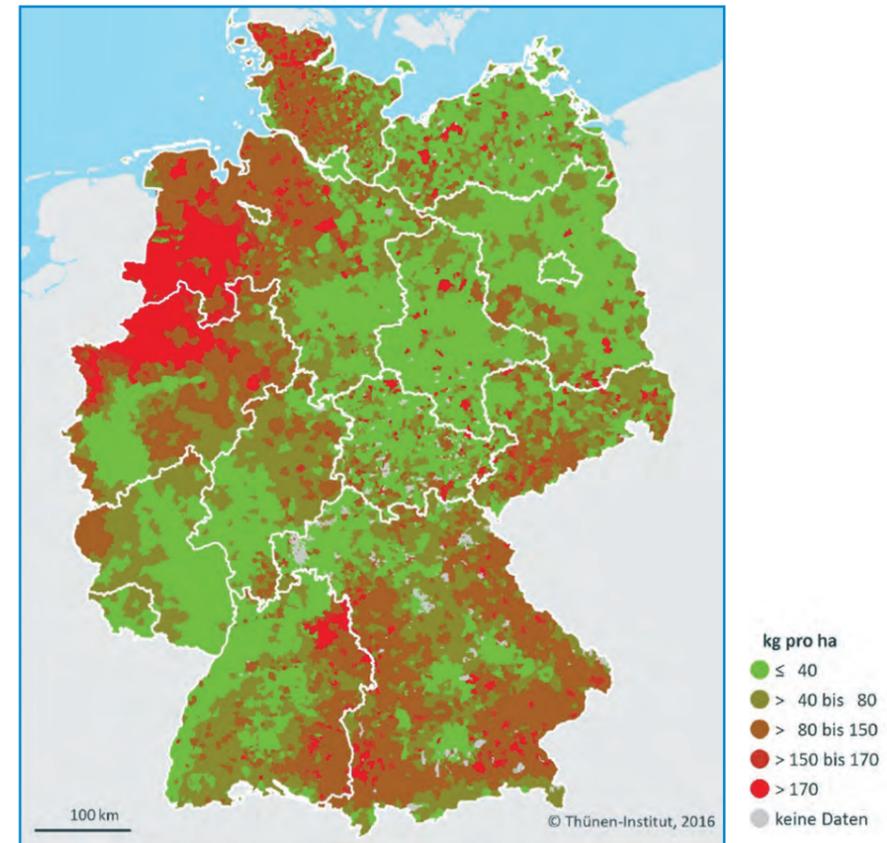


Abb. 10: Stickstoff (N) aus Wirtschaftsdünger einschließlich Gärresten pflanzlicher Herkunft nach Abzug von Stall- und Lagerverlusten in kg pro Hektar LF (ohne Export von Wirtschaftsdünger, ohne Geflügeldung) [3]

### 4.2 AUSWAHL DES VERGÄRUNGSVERFAHRENS

Ausführliche Beschreibungen der für die Vergärung von Bio- und Grüngut geeigneten Verfahren sind in [2], Seiten 82-89 zu finden.

Ausreichende Verwertungsmöglichkeiten, insbesondere für die flüssigen Gärreste, müssen in der Umgebung der Anlagen langfristig gewährleistet sein. Zudem sollte möglichst eine große Anzahl potenzieller Abnehmer für die Gärreste existieren. Abb. 10 zeigt, dass der Anfall flüssiger Gärreste vom Vergärungsverfahren abhängig ist. Dort, wo ackerbaulich ein guter Absatz flüssiger Gärreste möglich ist, sprechen die höheren Biogaserträge und höheren Automatisierungsgrade häufig für die kontinuierlichen Verfahren.

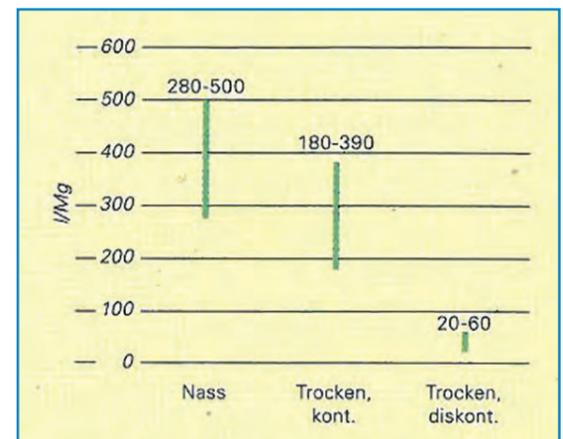


Abb. 11: Überschusswasser bei der Vergärung von Bio- und Grüngut differenziert nach Verfahrens- und Prozessarten bezogen auf den Materialinput [2]

Eine verfahrensoffene Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen für die Bioabfallvergärung ist also nur dort zu empfehlen, wo die Verwertung flüssiger und fester Gärprodukte gesichert ist.

Zusätzliche Überschusswässer fallen in allen Anlagen als Sickerwässer, Kondensate aus dem Biogas und der Abluft der Rotten sowie ggf. als Ammoniumsulfat aus der Ammoniakentfrachtung der Abluft an. Insbesondere die Kondensate aus der Abluft können durch gutes Anlagen-Layout, wie optimierte Leitungsführung oder ggf. auch Isolation der Abluftleitungen im Außenbereich, minimiert, jedoch nicht vermieden werden. Andere Stoffe, wie das Ammoniumsulfat, weisen eine Düngewirkung auf und können separat als Düngemittel oder mit den flüssigen Gärresten verwertet werden.

Die Weiterverarbeitung von Gärresten aus der Bioabfallvergärung zu hochwertigen Komposten wird sowohl von den Anlagenbetreibern als auch vom Gesetzgeber gewünscht. Kompost ist leichter zu lagern und zu vermarkten als flüssige Gärprodukte. Flüssige Gärprodukte stehen in vielen Regionen in direkter Konkurrenz zu Gülle und Gärresten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Darüber hinaus wird die bodenverbessernde, humusaufbauende Wirkung des Komposts von vielen Abnehmern geschätzt.

Grundsätzlich sind Biogas-Vergärungsanlagen mit ausschließlich flüssigen und bereits hygienisierten Gärprodukten umsetzbar. Allerdings ist in der Regel eine Feststoffsiebung zum Austrag von Fremdstoffen und grobstückigen / faserigen organischen Stoffen notwendig.

### 4.3 GÄRRESTBEHANDLUNG

Voraussetzung für eine optimale Rotte ist ein, nach der Vergärung stapelfähiges, lockeres Material mit ausreichenden Gehalten an abbaubarer organischer Substanz. Zur Orientierung sind folgende Gärresteigenschaften für die Kompostierung anzustreben:

- Trockensubstanz-Gehalt:  $\geq 35\%$
- Dichte:  $\leq 0,7$
- Rottegrad  $\leq 3$

Zur Erreichung dieser Bedingungen werden bei den Vergärungsverfahren unterschiedliche Maßnahmen ergriffen:

- **Boxenvergärungen**  
Beendigung der Perkolation einige Tage vor Ende des Fermentationsprozesses. Gleichzeitig wird bereits bei der Planung und baulichen Ausführung der Boxenfermenter auf eine optimale Drainierung des Gärmaterials geachtet.
- **Pfropfenstromvergärungen**  
Abpressung des rohen Gärrests zur Erzeugung von festem Gärprodukt und Flüssigdünger (Abb. 11). Die Aufteilung in die beiden Stoffströme ist von vielen Faktoren abhängig und schwankt zwischen 1/3 zu 2/3 und umgekehrt.
- **Nassvergärungen**  
Ähnlich wie bei Pfropfenstromfermentern erfolgt eine mechanische Separation des rohen Gärrests mittels Dekanter, Bandfilterpresse oder Ähnlichem.

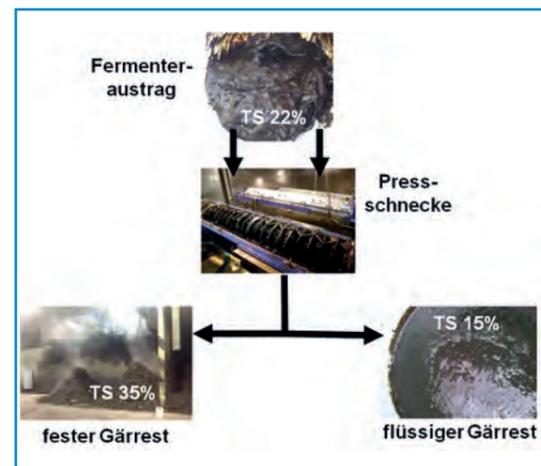


Abb. 12: Schematische Darstellung der Separation rohen Gärrests aus der Pfropfenstromfermentation von Bioabfall in flüssigen und festen Gärrest

Unabhängig vom Verfahren wird dem festen Gärrest zur Verbesserung der Kompostierungseigenschaften häufig Strukturmaterial, beispielsweise frisches Bio- oder Grüngut, sowie mitunter auch Kompost oder Siebüberlauf aus der Kompostkonfektionierung zugemischt. Je nach Verfahren sind die Auswirkungen auf die Hygienisierung des festen Gärrests zu beachten.

Die flüssigen Gärreste werden nach der mechanischen Separation häufig einem Absetzbecken und/oder weiteren Aufbereitungsschritten (siehe Abschnitte 5.2.2 und 5.4) zugeführt, ehe sie bis zur Verwertung als Flüssigdünger oder, in einigen wenigen Fällen, zur Behandlung als Abwasser in Speicherbehältern gelagert werden.

### 4.4 KOMPOSTIERUNG / ROTTE

Für die Rotte der festen Gärreste kommen verschiedene aus der direkten Kompostierung von Bio- und Grüngut bekannte Verfahren zum Einsatz. Werden Vergärungsstufen in bestehende Kompostwerke integriert, so bietet sich die Weiternutzung einer bestehenden Kompostierungstechnik an, wenn diese noch in einem technisch guten Zustand ist und für die Kompostierung der tendenziell feuchteren Gärreste geeignet ist. U.a. können folgende Kompostierungstechniken hierfür eingesetzt werden:

- offene Mietenkompostierung
- überdachte Mietenkompostierung
- belüftete Mietenkompostierung unter semipermeablen Membranen
- belüftete Rottetunnel mit Umsetzung zwischen den Tunneln
- belüftete Rottetunnel mit anschließender überdachter Mietenkompostierung
- Zeilenkompostierungen

Der feste Gärrest aus der Vergärung besitzt anders als Frischkompost aus der Intensivrotte ein höheres Emissionspotenzial. Ziel der ersten Behandlungsschritte ist daher die rasche Überführung in einen aeroben Zustand. Neben klimarelevanten Emissionen ist dabei

Ammoniak, dessen Entstehen durch Mineralisierung organischer Stickstoffverbindungen durch die höhere Temperatur (insbesondere bei thermophilen Verfahren) und einen hohen pH-Wert besonders gefördert wird, besonders relevant. Intensive Belüftung des Materials und Fassung der Abluft zur Reinigung über Wäscher und Biofilter sind geeignete Maßnahmen, die insbesondere in den ersten Tagen der Gärrest-Kompostierung wichtig sind.

#### 4.4.1 INTENSIVROTTE

Eine intensive Rotte ist für den Übergang aus der anaeroben in die aerobe Phase aus emissionsmindernden Gründen sehr sinnvoll. Zusätzlich kommen im Kontext der erforderlichen Fremdstoffausschleusung zwei weitere Argumente hinzu:

- (1) Durch intensive Belüftung und gegebenenfalls den Eintrag von (BHKW-) Wärme werden der Start des biologischen Umsetzungsprozesses und der Wasseraustrag beschleunigt. Wie in Abschnitt 4.5 dargestellt, ist ein ausreichender Wasseraustrag wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Konfektionierung der Komposte.
- (2) Nachfolgend wird dargestellt, dass Umsetzungsaggregate in der Nachrotte wesentlich zur Zerkleinerung von Kunststoffen und Glas im Kompost beitragen. Wenn der Kompostierungsprozess länger ohne Umsetzen in der Intensivrotte stattfindet, reduziert sich die Gefahr der Zerkleinerung dieser Fremdstoffe durch Umsetzungsaggregate.

#### 4.4.2 NACHROTTE

Nach einer intensiven, belüfteten Phase der Kompostierung (meist 7 bis 14 Tage) folgt häufig eine Nachrotte. Neben dem weiteren Abbau der Organik (Erhöhung des Rottegrads) ist die zentrale Aufgabe der Nachrotte die Reduktion des Wassergehalts, sodass die nachgelagerte Konfektionierung effektiv durchgeführt werden kann. Bei einigen Anlagenkonzepten ist in der Nachrotte noch die Hygienisierung gemäß Bio-AbfV sicherzustellen.



Die Nachrotte erfolgt sowohl in Hallen mit Abluftfassung als auch in unbelüfteten Dreiecksmieten auf überdachten oder teilweise auch offenen Flächen. Diese werden in regelmäßigen Intervallen mittels Umsetzaggregate umgeschichtet. Das Umsetzen verfolgt das Ziel, eine optimierte Rottesteuerung (Belüftbarkeit, Feuchtemanagement, gegebenenfalls Hygienisierung) sicherzustellen und die Rottezeiten zu verkürzen. Durch schnell laufende Umsetzwalzen, die oftmals mit scharfkantigen Werkzeugen wie Schlegeln verbunden sind, können noch enthaltene Fremdstoffe zerkleinert werden.

Die Gewährleistung einer optimalen Steuerung des Rotteprozesses und eines ausreichenden Wasseraustrags durch regelmäßiges Umsetzen steht damit dem Ziel der Fremdstoffauslese teilweise entgegen. Für die Anlagenbetreiber bestehen verschiedene Optionen, dem entgegenzuwirken.

Einen gewissen Einfluss haben die Wahl des Umsetzaggregate und der technischen (z. B. Walzenform, Ausführung der Schlegel) sowie betrieblichen (z. B. Umdrehungsgeschwindigkeiten) Eigenschaften der Umsetzwalze. Alternativ kann auch ein schonenderes Umsetzen mittels Radlader erfolgen. Für die Kontrolle der Rottesteuerung bringt dies allerdings aufgrund der schlechteren Durchmischung Nachteile. Darüber hinaus ist es zeit- und arbeitsintensiv, sodass insbesondere in Anlagen mit hohen Durchsatzleistungen das Umsetzen mit Radladern wenig verbreitet ist.

Durch eine Belüftung in der Nachrotte kann der Wasseraustrag deutlich verbessert und beschleunigt werden. Die Umsetzintervalle können somit verlängert werden und dienen hauptsächlich dazu, Setzungen in der Miete mit einer Materialverdichtung in bestimmten Bereichen (Mietenfuß) zu beheben, die Struktur in der Miete zu verbessern und dadurch die Voraussetzungen für eine wirksame Belüftung aufrechtzuerhalten.

Günstige Bedingungen bietet die Durchführung in geschlossenen, belüfteten Rottetunneln. Die Nachrotte

erfolgt hier statisch und somit ohne Umsetzen. Eine weitere Fremdstoffzerkleinerung findet nicht statt. Allerdings ist der erforderliche Investitions- und Betriebsaufwand (z. B. Strom, Abluftreinigung) hoch.

#### 4.5 KOMPOST-KONFEKTIONIERUNG

Im Zuge der Konfektionierung des Komposts werden unterschiedliche Qualitäten für verschiedene Anwendungsbereiche (Landwirtschaft, GaLa-Bau, Hobbygartenbau, Substratherstellung, Erdenwerke), z. B. hinsichtlich der Korngröße, erzeugt. Zentrale Voraussetzung für die Vermarktung insbesondere höherer Qualitäten ist die weitgehende Abscheidung der enthaltenen Fremdstoffe. Dies gelingt am besten bei möglichst großen Korngrößen der Fremdstoffe und bei niedrigem Feuchtegehalt im Kompost.

Oft reichen zur Konfektionierung ein oder zwei Siebschnitte aus. Bei erhöhten Fremdstoffanteilen im Kompostmaterial können die Anforderungen an die Produkte hinsichtlich noch enthaltener Fremdstoffanteile (DüMV, Gütesicherung der BGK e. V.), vor allem im Bereich der weichen Kunststoffe, teilweise nicht erfüllt werden. In diesen Fällen sind Verfahrensmodifikationen oder der Einsatz weiterer technischer Lösungen zu erwägen.

Um auch bei hohen Fremdstoffanteilen ein hochwertiges Kompostprodukt zu erzeugen, können die Siebschnitte weiter reduziert werden (z. B. 8 mm oder 10 mm). Dies geht allerdings zulasten der Überkornmenge, welche anderweitig kostenintensiv verwertet oder entsorgt werden muss. Auch aus ökologischen Gründen sollte der nicht stofflich genutzte Stoffstrom möglichst klein gehalten werden. Für die landwirtschaftliche Verwertung, die den Regelfall darstellt, können, bei niedrigen Störstoffgehalten, obere Korngrößen von 20 mm ausreichen.

#### Zentraler Faktor: Materialfeuchte im Kompost

Die Effektivität der Siebung steht und fällt mit der Materialfeuchte. Der Kompost sollte einen Trocken-

substanzgehalt von etwa 60 % haben. In diesem Fall ist das Material ausreichend locker, sodass die Fremdstoffe gut abgetrennt werden können. Eine Klumpenbildung bei der Siebung wird vermieden und der Kompost ist noch so feucht, dass eine übermäßige Staubentwicklung unterbleibt.

Der Wasseraustrag muss in der Rotte sichergestellt werden, die hierfür entsprechend baulich und technisch ausgestattet sein sowie fachlich kompetent betrieben werden muss (vgl. 4.4.1 und 4.4.2). Bei Bioabfallvergärungsanlagen startet die nachgeschaltete Kompostierung – trotz Vermischung des Gärrests mit Strukturmaterialien – oftmals mit höheren Wassergehalten als bei reinen Bioabfallkompostierungsanlagen. Daher ist auf die effiziente Absenkung der Materialfeuchte in der Nachrotte von Vergärungsanlagen besonderes Augenmerk zu legen. Dies stellt Anlagenbetreiber immer wieder vor Herausforderungen, sei es grundsätzlich oder zu bestimmten Jahreszeiten bzw. bei hohen Materialdurchsätzen.

In der betrieblichen Praxis wird bei der Rotte und Nachrotte von Gärrest am Ende des Prozesses oft nur ein deutlich geringerer Trockensubstanzgehalt im Kompost erreicht. Statt bei 60 % TS liegt dieser oftmals zwischen 50 % und 55 % TS. Die Gründe dafür sind vielfältig. Eine Ursache kann beispielsweise in unzureichender Aerobisierung liegen oder dass im gesamten Rottebereich die Anlagenkapazitäten, wie z. B. die Größe der Nachrotteflächen, nicht ausreichend bemessen sind. In diesem Fall unterliegt der Rotteprozess zeitlichen Beschränkungen, die durch den Jahresgang des Anlageninputs noch verstärkt werden. Des Weiteren kann insgesamt oder auch zeitweilig ein Mangel an strukturgebendem Material, wie z. B. Grüngut, den Rotteprozess erschweren.

Idealerweise erlaubt die installierte Anlagentechnik und -ausführung sowie die Verfügbarkeit an Strukturmaterial eine flexible Betriebsweise, mit der insbesondere auch auf die jahreszeitlich bedingten schwankenden Anforderungen reagiert werden kann.

#### 4.5.1 VERTIEFENDE AUFBEREITUNGSSCHRITTE

Zur Sicherung der Kompostqualität und Einhaltung der Gütesicherungskriterien werden, neben der Siebung, zunehmend zusätzliche Aggregate zur Abscheidung der Leichtfraktion (→ Windsichter, Folienabsaugung) und der Schwerfraktion (→ Hartstoffscheider) eingesetzt. Die Abscheidung von Leichtstoffen über eine Windsichtung erfolgt meistens in Kombination mit der Siebung. Hartstoffscheider sind bislang wenig verbreitet.

#### Option: Erweiterte Konfektionierung durch Fremdstoffentfrachtung der Überkornfraktion bei Einfachsiebung

Häufig wird noch die gesamte Überkornfraktion aus der Kompostsiebung als Abfallstoff entsorgt, was im Regelfall zulasten der Wirtschaftlichkeit der Anlage geht. Insbesondere bei einem hohen Wassergehalt im Kompost haften an den Fremdstoffen relevante Anteile organischen Materials, das bei der Konfektionierung gemeinsam mit den Fremdstoffen abgeschieden wird. Das Ergebnis ist eine größere Menge zu entsorgendes Material. Hinzu kommt, dass Teilmengen humus- und nährstoffreicher Fraktionen nicht in den stofflichen Kreislauf zurückgeführt werden.

In diesem Fall kann die Überkornfraktion nochmals zur Rotte aufgesetzt und danach erneut abgesiebt sowie bei Bedarf mittels Windsichtung und Hartstoffscheider gereinigt werden. Eine beispielhafte Darstellung des Konfektionierungsprozesses zeigt Abb. 12. Bei einer ausreichenden Aufbereitungstiefe kann das Material entweder als Brennstoff zur energetischen Verwertung in Biomasseheizkraftwerken vermarktet werden oder als Strukturmaterial in den Rotteprozess zurückgeführt werden. Bedingung für die Rückführung ist, dass der Fremdstoffgehalt so niedrig ist, dass eine Fremdstoffanreicherung im Behandlungsprozess unterbunden wird.

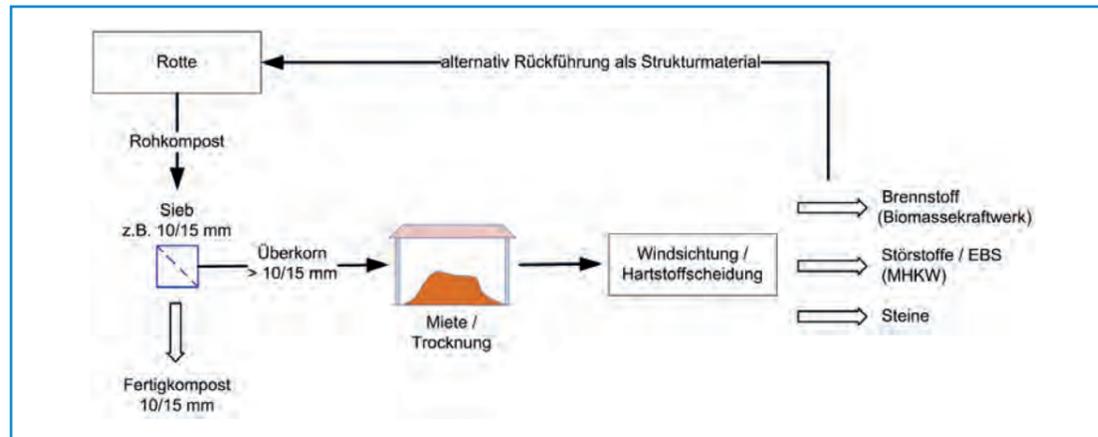


Abb. 13: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Einfachsiebung

Die Rückführung eröffnet dem Anlagenbetreiber die Möglichkeit, flexibel auf jahreszeitlich schwankende Inputqualitäten und Betriebszustände zu reagieren. In Phasen der mangelnden Verfügbarkeit anderer strukturgebender Inputstoffe (Grüngut) ergibt sich hieraus eine betriebsinterne Lösung. Ob sich die weitergehende Aufbereitung und Aufreinigung der Überkornfraktion auch wirtschaftlich lohnt, ist im Einzelfall zu betrachten.

#### Option: Erweiterte Konfektionierung durch Fremdstoffentfrachtung der Mittelkornfraktion bei Mehrfachsiebung

Alternativ kann auch eine Mehrfachsiebung mit unterschiedlichen Sieblochgrößen (auch in einem Aggregat bei Trommel- und Sternsieben möglich) sinnvoll sein. Eine beispielhafte Darstellung des Konfektionierungsprozesses zeigt Abb. 13.

Hierbei kann beispielsweise zunächst in einer Grobsiebung die Überkornfraktion abgetrennt werden, welche anschließend einer weitergehenden Aufbereitung unterzogen wird.

Aus dem Siebdurchlauf erhält man nach einer zweiten Siebung mit einer geringeren Sieblochgröße die Kompostfraktion. Der dabei anfallende Siebüberlauf, bezeichnet als Mittelkornfraktion, kann zunächst erneut dem Rotteprozess zugeführt werden. Dadurch erfolgt eine Trocknung des Materials und somit eine wesentliche Verbesserung der Siebfähigkeit. Durch diese Maßnahme können aus dem Mittelkorn noch zusätzlich bis zu 50 % Feinfraktion (Kompost) abgetrennt werden. Der Siebüberlauf aus dieser Siebung kann beispielsweise als Biomassebrennstoff vermarktet werden.

Es besteht die Möglichkeit sowohl aus der Überkornfraktion > 40 mm als auch der Mittelkornfraktion (10 bis 40 mm) einen Materialstrom zu erzeugen, welcher in den Rotteprozess als Strukturmaterial zurückgeführt werden kann. Entscheidend für die Eignung sind die Aufbereitungstiefe und ein niedriger Fremdstoffgehalt, sodass eine Fremdstoffanreicherung im Behandlungsprozess unterbunden wird.

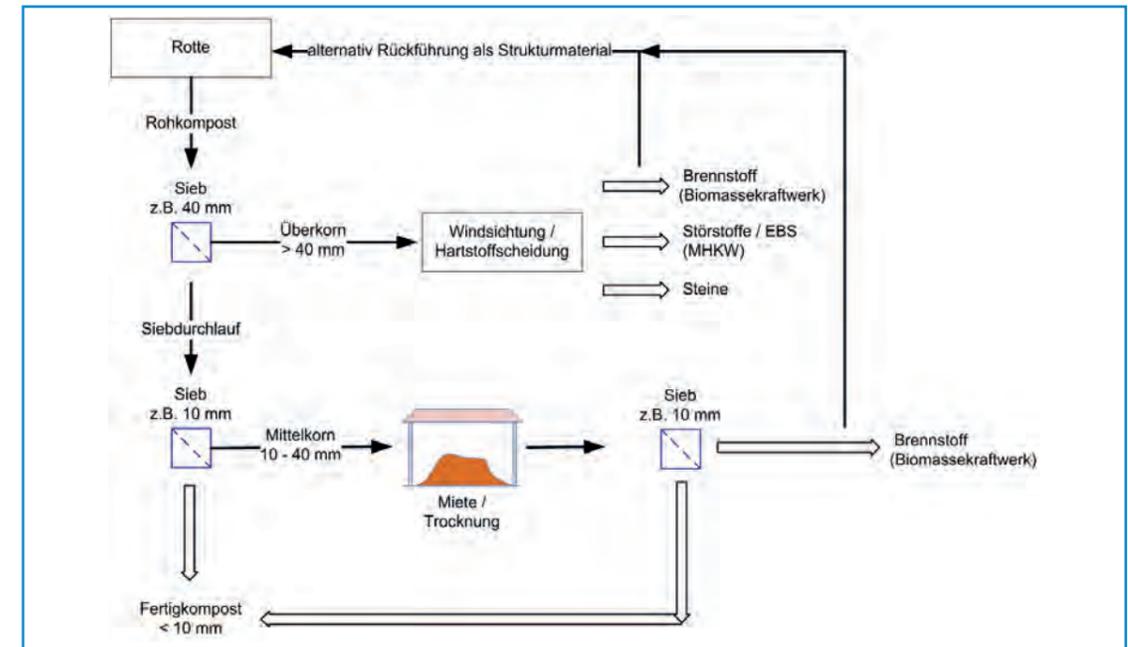


Abb. 14: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung mit Mehrfachsiebung

#### 4.6 FLÜSSIGDÜNGER

Die flüssigen Gärreste aus der Pfropfenstrom- und der Nassvergärung von Bio- und Grüngut sind aufgrund der vorgelagerten Separationsschritte nahezu frei von Fremdstoffen. Der TS-Gehalt im flüssigen Gärrest schwankt im Jahresverlauf (siehe Abb. 14). Bei der Lagerung und Ausbringung führt der hohe Sandanteil häufig zu Störungen.

Der Flüssigdünger ist bis zur landwirtschaftlichen Ausbringung in Flüssigdüngerspeichern zwischenzulagern.

Mitunter sind in den Gärrestlagern keine Rührwerke installiert. Bei mehrmonatigen Lagerzeiten setzen sich feine mineralische Bestandteile am Boden ab und es kommt zu einer schleichenden Versandung der Behälter und damit zur Einschränkung des Netto-Lagerolumens.

In regelmäßigen Intervallen, circa einmal jährlich, sind die Flüssigdüngerspeicher zu beräumen. Dazu sind die Lagerbehälter mit Toren auszustatten, die eine leichte Beräumung ermöglichen.

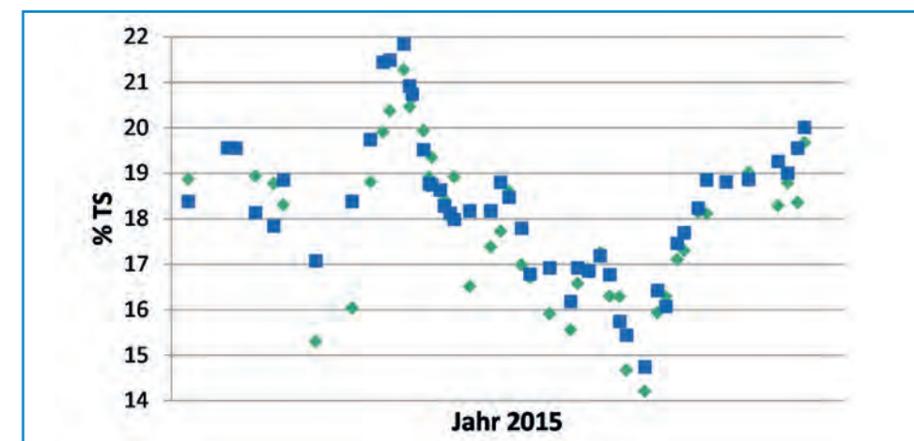


Abb. 15: Analysen von flüssigem Gärrest (Presswasser) aus der Entwässerung von Biogut-Gärrest mittels Schneckenpresse in zwei Linien einer Praxisanlage (grüne bzw. blaue Markierung)

## 5. Technische Ansätze zur Reduktion flüssiger Gärprodukte

An vielen Standorten ist die Verwertung flüssiger Gärreste schwierig. Der grundlegende Einfluss der Vergärungsverfahren auf die Menge anfallender flüssiger Gärreste wurde bereits erläutert (siehe insbesondere Abb. 10) und ist vor allem in frühen Planungsphasen von Vergärungsanlagen für Bio- und Grüngut zu beachten. Daneben müssen die erzeugten festen Gärreste in Kapitel 4.3 dargestellten Anforderungen für die nachfolgende Kompostierung entsprechen.

Bei vorhandener oder bereits ausgewählter Vergärungstechnik bestehen unterschiedliche Optionen zur Reduktion bzw. Vermeidung flüssiger Gärreste (vgl. Abb. 15) und zur Bereitstellung gut kompostierbarer fester Gärreste. Die Techniken können einzeln oder in Kombination angewendet werden.

### 5.1 PROZESSOPTIMIERUNG – ALLGEMEINES WASSERMANAGEMENT

Bei der Planung von Erweiterungen oder Neubauten biologischer Behandlungsanlagen muss dem Abwassermanagement besondere Beachtung geschenkt werden. Grundsätzlich sind unbelastete Abwässer (z. B. von Dachflächen) von belasteten Abwässern (Verkehrsflächen, Kondensate, Sickerwasser etc.) getrennt zu halten, um ggf. eine direkte Einleitung oder Versickerung dieser unbelasteten Abwässer zu ermöglichen. Im Folgenden ist zu prüfen, welche der belasteten Abwässer sinnvollerweise im Vergärungsprozess einzusetzen sind, wobei beachtet werden muss, dass die zusätzlich eingebrachten Mengen den Output an flüssigem Gärrest erhöhen und verdünnen sowie Kosten für Lagerung und Ausbringung verursachen.

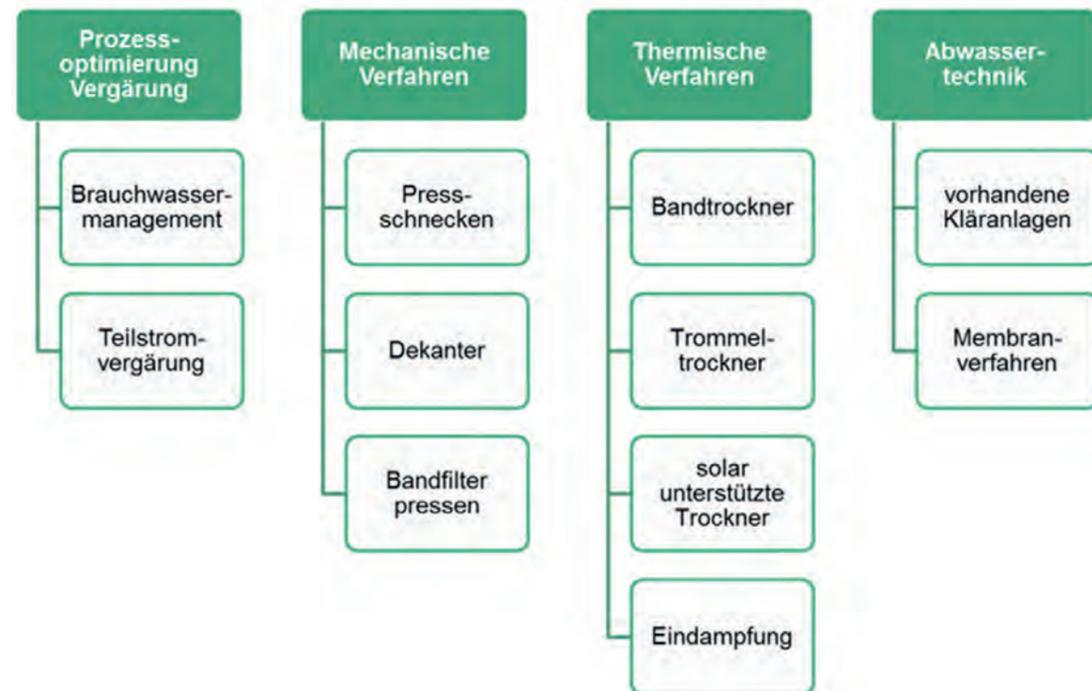


Abb. 16: Technische Ansätze zur Reduktion flüssiger Gärreste

### 5.1.1 BRAUCHWASSER

Letztendlich muss jeder Kubikmeter Wasser, der dem Vergärungsprozess von außen zugegeben wird, mitbehandelt werden und steht der Erreichung der formulierten wesentlichen Ziele (ausreichend trockener Kompost und Minimierung flüssiger Gärreste) im Wege. Daher ist immer zu prüfen, ob eine Brauchwasserzugabe von außen notwendig ist und/oder ob eine Kreislaufführung von Wasser möglich ist.

Bei Boxenvergärungen findet dies exemplarisch mit dem im Kreislauf geführten Perkolat statt, das nur bei Aufkonzentration von Salzen oder bei Mengensteigerungen (z. B. wegen sehr feuchtem Inputmaterial) als Flüssigdünger ausgeschleust wird. Bei Pfropfenstromfermentern wird der Trockensubstanzgehalt des Gärrests üblicherweise im Eintragsbereich in den Fermenter eingestellt und das Material mit Mikroorganismen angeimpft. Hierfür können roher Gärrest,

flüssiger Gärrest oder Brauchwasser zum Einsatz kommen. Ziel muss es sein, den Einsatz von Brauchwasser und rohem Gärrest zu minimieren oder zu eliminieren. Die naheliegende Option dabei ist, flüssigen Gärrest einzusetzen. Wenn dadurch nur Teile des Brauchwassers ersetzt werden können, bietet es sich an, Prozesswasser aus der Dekantierung des flüssigen Gärrests (ohne Flockungshilfsmittel) zu gewinnen. Der Ablauf aus der Dekanterzentrifuge (~ 6 % TS) wird dann anstelle des Brauchwassers zur Einstellung des TS-Gehalts im Fermenter genutzt. Dadurch ist eine Volumenreduzierung des flüssigen Gärrests in einer Größenordnung von ca. 5 bis 10 % erreichbar. Der anfallende Dekanterkuchen wird dem festen Gärrest untergemischt und kompostiert. Dies ist bis zu einem Verhältnis von mindestens 1:5 (Dekanterkuchen zu festem Gärrest) ohne zusätzliche Maßnahmen möglich. Abb. 16 skizziert die Optionen.

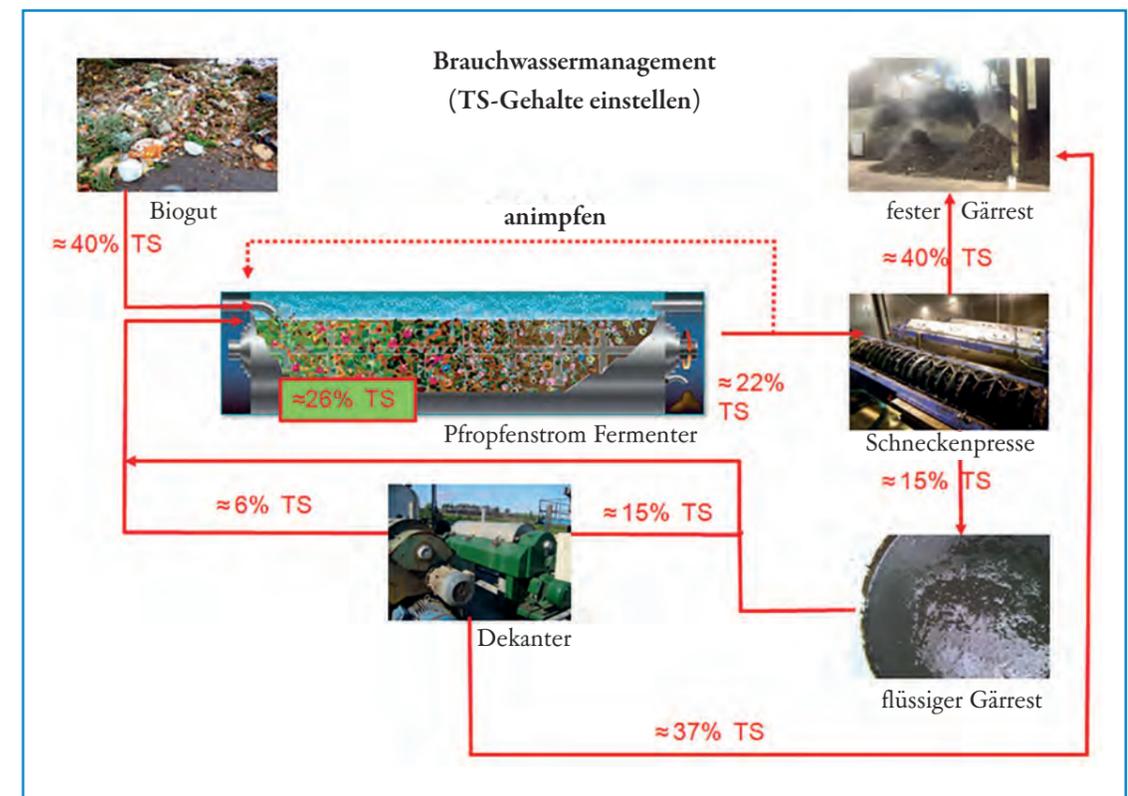


Abb. 17: Beispiel für die Reduktion bzw. Vermeidung der Zugabe von Brauchwasser bei Pfropfenstromfermentern

Außerhalb des Vergärungs- und Kompostierungsprozesses anfallende Abwässer sollten entsprechend verwendet werden:

- Unbelastetes Wasser (z. B. von Dachflächen) kann in der Regel der Vorflut zugeführt oder versickert werden.
- Verkehrsflächenwasser muss einer Kläranlage zugeführt werden.

Oft unterschätzt werden die Mengen an Kondensaten, die insbesondere in den Abluftleitungen und am Biofilter anfallen können. Entsprechend optimierte Leitungsführung und -isolierung helfen, die Mengen zu reduzieren. Auch bei der Trocknung des Biogases fällt Kondensat an.

Diese anfallenden Wassermengen müssen frühzeitig bei der Planung berücksichtigt werden, damit eine optimierte Entsorgung geplant wird. In jedem Fall stellt das Abwassermanagement einen z. T. erheblichen Kostenfaktor dar.

### 5.1.2 TEILSTROMVERGÄRUNG

Eine weitere wichtige Frage betrifft die Auslegung der Vergärung und der nachfolgenden Kompostierung. Es kann sinnvoll sein, den breiartigen rohen Gärrest nach der Fermentation mit ausreichend anderem organischen Material so zu mischen, dass ein belüft- und kompostierbares Substrat entsteht. Dabei wird ein Teilstrom (ca. ein Drittel) des Bioguts nicht vergoren und mit dem Gärrest vermischt. Zusätzlich wird Struktur in Form von Mittelkorn aus der Kompostkonfektionierung oder Grüngut zugegeben (siehe Abb. 17).

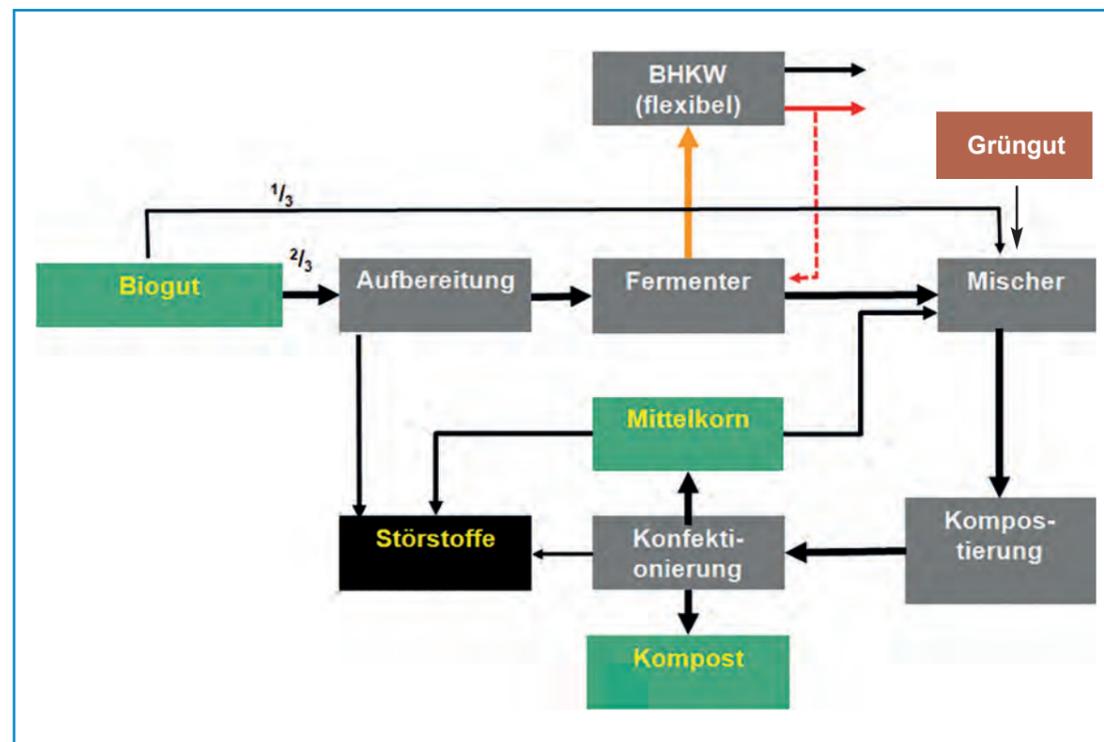


Abb. 18: Konzeptionelle Darstellung der Teilstromvergärung bei Pflanzstromanlagen

In der Kompostierung muss dann die Hygienisierung des gesamten Materials sicher erreicht werden. Untersuchungsbedarf besteht hinsichtlich geeigneter Mischaggregate für das Herstellen eines kompostierbaren Gemisches aus Gärrest, Biogut und Strukturmaterial. Im einfachsten Fall wird dies per Radlader oder durch Dosieren auf Förderbänder durchgeführt. Es stehen aber auch spezielle Mischaggregate für diese Aufgabe zur Verfügung. Somit fallen bei der Teilstromvergärung gar keinen flüssigen Gärreste an, wenn die Mischungsverhältnisse hinreichend eingestellt werden.

Weitere Vorteile von Teilstromvergärungen bestehen darin, dass aufgrund des jahreszeitlich unterschiedlichen Aufkommens von Bio- und Grüngut die Fermenter in den aufkommensschwachen Wintermonaten besser ausgelastet werden können. Insgesamt sind diese Anlagen flexibler zu betreiben. Der Nachteil dieser Konzepte besteht aber ganz offensichtlich in den gegenüber den Vollstromvergärungen geringeren Biogas- und damit Energieerträgen.

### 5.2.1 SCHNECKENPRESSEN

Der erste Schritt zur Gärrestbehandlung bei den Pflanzstromvergärungsanlagen ist, wie oben beschrieben, die mechanische Entwässerung mittels einer Schneckenpresse (Grobauerteilung 50 : 50 in fest : flüssig), wodurch erst der flüssige Gärrest entsteht (Abb. 18).

In den Pressen wird der rohe Gärrest mittels einer Schnecke gegen einen Siebkorb gepresst. Am Ende des Kanals ist eine Klappe angebracht, deren Gegendruck einstellbar ist. Typische Druckstufen für die Pressen liegen bei 30 bis 50 bar. Wichtig für ein gutes Abpressergebnis ist neben dem technischen Zustand der Pressen ein gewisser Anteil Strukturmaterial im Fermenteroutput, der einen Pfropfen bildet und das Abpressergebnis deutlich verbessert.

Aufgrund der hohen Druckstufen und der im Gärrest enthaltenen mineralischen Anteile unterliegen die Schneckenpressen einem relativ hohen Verschleiß. Sie werden in der Regel daher redundant eingesetzt.



Abb. 19: Pressschnecken zur Entwässerung von Bioabfallgärrest (Foto: W-I 2015)

### 5.2 MECHANISCHE VERFAHREN

Analog zum Vorgehen in jedem Haushalt bei der Trocknung der Wäsche wird auch in der Verfahrenstechnik in der Regel zunächst mechanisch entwässert (Analogie: Schleudern der Wäsche), bevor thermische Verfahren (Analogie: Wäschetrockner) zum Einsatz kommen.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass bei diesem Verfahrensschritt unmittelbar nach der Fermentation aufgrund der höheren Temperatur und des pH-Werts des Gärrests die Bedingungen für die Ammoniakfreisetzung begünstigt werden. Eine entsprechende Abluft erfassung und -behandlung über Saure Wäscher und Biofilter ist vorzusehen.

Bei gut arbeitender Abpressung werden für den festen Gärrest Trockensubstrat-Gehalte (TS) von bis zu 40 % erreicht, während der flüssige Gärrest TS-Gehalte von 10 bis 20 % aufweist. Neben der Qualität der Pressen und des Inputmaterials beeinflusst auch die jahreszeitabhängige Zusammensetzung des Inputs und die Verfügbarkeit von Strukturmaterial das Pressergebnis (vgl. Abb. 14).

### 5.2.2 DEKANTER / BANDFILTERPRESSEN

Dekanter und auch Bandfilterpressen kommen zur Separation von Gärresten aus Nassfermentationsanlagen sowie auch zur weiteren mechanischen Entwässerung des flüssigen Gärrests aus Pfropfenstromanlagen nach der Pressschnecke zum Einsatz (Abb. 19).

Dekanter arbeiten nach dem Prinzip der Zentrifuge. Voraussetzung für die Trennung eines Gemisches ist, dass die Feststoffe einen großen Dichteunterschied zur flüssigen Phase haben. Zusätzlich kommen häufig Flockungshilfsmittel zum Einsatz, welche die Sedimentation oder Flotation der suspendierten Feststoffteilchen beschleunigen und so das Entwässerungsverhalten verbessern. Bei den Flockungshilfsmitteln handelt es sich um organische, synthetische, hochmolekulare und wasserlösliche Polyelektrolyte auf der

Basis von Polyacrylamid. Auch andere organische Polyelektrolyte synthetischen oder natürlichen Ursprungs werden als Flockungshilfsmittel verwendet. Im allgemeinen resultiert das Dekantieren, bezogen auf den gesamten flüssigen Gärrest, in einer Grobaufteilung von 15 % (fest) bis zu 85 % (flüssig).

Der Dekanterkuchen weist häufig eine hohe Dichte (von größer 1) auf. Er ist in diesem Zustand nicht belüft- und kompostierbar, kann aber durch Mischung mit Strukturmaterial kompostierfähig gemacht werden. Bandfilterpressen sind kontinuierliche Druckfilter mit umlaufenden Siebgeweben als Filtermittel, bei denen sich der Prozessablauf in zwei Stufen vollzieht. Die erste Phase ist eine Schwerkraftfiltration, der zweite Schritt ein Auspressen des vorentwässerten Schlammes zwischen zwei Sieben, welche um Walzen geführt werden.

Dekanter oder Bandfilterpressen werden bei der Gärrestaufbereitung von Bioabfallgärrest einer Schneckenpresse o. Ä. nachgeschaltet mit dem Hauptziel, die flüssige Phase für ein nachgeschaltetes Verfahren aufzubereiten (z. B. eine Abwasseraufbereitung oder eine Aufkonzentrierung mittels Eindampfung oder Umkehrosmose). Durch diese Aufbereitungskette wird angestrebt, flüssige Gärreste ganz zu vermeiden.



Abb. 20: Dekanter (l), Bandfilterpresse (r) – für die weitere Entwässerung von Presswasser aus abgepresstem Bioabfall-Gärrest (Fotos: W-I 2016)

Im Hinblick auf die Regelung in der Düngemittelverordnung (siehe Kasten) ist die Verwendung von Flockungshilfsmitteln, wie sie bei Dekantern und Bandfilterpressen häufig eingesetzt werden, nur bei ausreichend nachgewiesener Abbaubarkeit praktikabel. Daneben spielen die Kosten für diese Hilfsmittel eine entscheidende Rolle.

Düngemittelverordnung (DüMV) 2012, Tab. 8 „Nebenbestandteile“ Nummer 8.1.3 „Synthetische Polymere“ „Ab dem 1.1.2017 Verwendung nur, soweit sämtliche Bestandteile und das Endprodukt sich mindestens um 20 % in zwei Jahren abbauen [...]“

In Abhängigkeit von der Zugabe von Flockungshilfsmitteln und der Qualität des flüssigen Gärrests werden für den flüssigen Ablauf („Fugat“) TS-Gehalte von 1 % bis 10 % erreicht, während der Dekanterkuchen im Bereich von 25 % bis 40 % schwankt (aber auch bei 40 % wegen mangelnder Struktur nicht belüftbar ist).

### 5.3 THERMISCHE VERFAHREN

Für die Verdampfung von Wasser muss Wärmeenergie zugeführt werden. Unter idealen Standardbedingungen sind etwa 0,7 kWh<sub>th</sub> zur Verdampfung von 1 Liter Wasser erforderlich. Dabei spielt insbesondere der Umgebungsdruck eine wichtige Rolle. Bei hohem Druck (praktisches Beispiel: Schnellkochtopf) verdampft Wasser erst bei erhöhten Temperaturen und bei niedrigem Druck (Vakuum) bereits bei niedrigeren Temperaturen. Letzteres macht man sich bei der Eindampfung von Gärresten (5.3.4) zunutze.

In der Praxis sind unter Normalbedingungen für die Trocknung von Gärresten mindestens 1 bis 1,6 kWh<sub>th</sub> je Liter auszutragendes Wasser (H<sub>2</sub>O) zu veranschlagen. Nur Vakuumverdampfer erzielen spezifische Werte von deutlich unter 1 kWh<sub>th</sub>/l H<sub>2</sub>O, benötigen andererseits aber Strom zur Aufrechterhaltung des Vakuums.

Thermische Verfahren können generell an sehr verschiedenen Stellen der Gärrestbehandlung zum Einsatz kommen. So werden sie beispielsweise für folgende Zwecke eingesetzt:

- zur unmittelbaren Trocknung des gesamten Gärrests (ohne Separation)
- zur Eindickung des flüssigen Gärrests nach einer mechanischen Separation
- zur weiteren Trocknung des abgetrennten festen Gärrests

Folgende Techniken werden für die (Teil-) Trocknung eingesetzt:

- Bandtrockner
- Trommeltrockner
- solare Trockner
- Eindampfungsverfahren

In der Praxis wird zunächst soweit wie möglich mechanisch entwässert, da die thermische Trocknung sehr energieintensiv ist. Eine gewisse Schüttfähigkeit des Gärrests ist vor allem bei Bandtrocknern für die Trocknung erforderlich, damit das Material in die Trockner aufgegeben werden kann und überhaupt belüftbar ist. Ist diese Schüttfähigkeit nicht gegeben, kann ein Teil des getrockneten Materials wieder zurückgeführt und mit frischem Inputmaterial vermischt werden.



Abb. 21: Bandrockner für Gärreste der Bioabfallvergärungsanlage Leonberg



Abb. 22: Trommelrockner für Gärreste

### 5.3.1 BANDTROCKNER

Bandrockner bestehen aus einem Trockenraum, in dem das rieselfähige Transportgut auf i.d.R. mehreren gegenläufigen Transportbändern bewegt wird (Abb. 20). Die Transportbänder bestehen aus Drahtgewebe oder perforierten Stahlplatten und werden von erwärmter Luft durchströmt. Bei der Übergabe auf nachfolgende bzw. tiefer liegende Bänder wird das Material durchmischt und homogenisiert.

Das Temperaturniveau der Bandrockner liegt bei 80 bis 120 °C und ist daher zur Nutzung der Abwärme aus dem BHKW (Wasser- und Abgaswärmetauscher) geeignet. Als Größenordnung zeigt sich häufig, dass bei Bioabfallvergärungsanlagen die frei verfügbare Wärme der BHKW ausreicht, um etwa die Hälfte des Gärrests zu trocknen. Die Abluft muss behandelt werden. Dabei anfallende Kondensate sind im Stoffstromkonzept zu berücksichtigen.

### 5.3.2 TROMMELTROCKNER

Ein Trommelrockner besteht aus einem schwach geneigten Drehrohr mit Heißluftgebläse (Abb. 21). Der mechanisch entwässerte Gärrest wird am erhöhten Rohrende aufgegeben und durchläuft das rotierende Drehrohr auf einer langen Spiralbahn. Es kommen auch mehrzügige Trommelrockner zum Einsatz. Heiße Trockenluft (> 200 °C) wird im Gleich- oder Gegenstrom durch diese Trommel bzw. die Züge geblasen. Wegen des erforderlichen hohen Temperaturniveaus kann nur die Abgaswärme der BHKW verwendet werden. Diese steht für den Trocknungsprozess auch potenziell zur Verfügung, da der erforderliche Wärmebedarf für die Beheizung des Fermenters (ca. 30 % der Wärme des BHKW) aus dem Wasserkreislauf mit einem geringeren Temperaturniveau gedeckt werden kann.



Abb. 23: Solare Trocknung (Foto WI 2015)

### 5.3.3 SOLARE TROCKNER

Die solar unterstützte Trocknung, bisher vor allem in der Klärschlamm-trocknung eingesetzt, ist ein Verfahren, bei dem in großflächigen, gewächshausähnlichen Hallen mit solarer Unterstützung getrocknet wird (Abb. 22). Hiermit ist grundsätzlich auch die Trocknung von Gärresten möglich. Dabei wird der Schlamm chargenweise großflächig am Boden ausgebracht und solar sowie durch vorewärmte Luft bzw. optional auch durch eine Bodenheizung erwärmt und getrocknet. Das Material wird dabei automatisch bewegt (meist durch ein selbstfahrendes Aggregat). Eine Abluftbehandlung (insbesondere für Ammoniak und Gerüche) dürfte zur Einhaltung der geforderten Werte (TA Luft) erforderlich sein.

Unter mitteleuropäischen Bedingungen werden etwa 20 % des Wärmebedarfs solar bereitgestellt. Der Flächenbedarf ist stark abhängig von den TS-Gehalten des flüssigen Gärrests und dem Zielwert der Trocknung sowie von der eingesetzten Wärmeübertragung. Als Größenordnung können 0,2 bis 1 m<sup>2</sup>/Mg\*a zu trocknender Schlamm angesetzt werden. Das gleiche gilt für den Strombedarf, der insbesondere für die Lüfter in einer Größenordnung von 25 bis 45 kWh/Mg liegt. Das System zeichnet sich durch seine Robustheit aus.



Abb. 24: Großtechnische Anlage zur Eindampfung von Biogasgülle in Spanien (Foto W-I 2009)

### 5.3.4 EINDAMPFUNG

Die Eindampfung setzt eine vorgeschaltete mechanische Entwässerung des flüssigen Gärrests (durch Dekanter oder Bandfilterpresse) voraus und erfordert erhebliche Mengen an thermischer Energie. Diese kann durch Verdampfung unter Vakuum, was allerdings elektrische Energie erfordert, deutlich reduziert werden. Auch sind Temperaturen um 80°C im Vakuum schon ausreichend. Meist werden die Verdampfer mehrstufig ausgeführt, um dadurch Energie und Kosten zu sparen (Abb. 23).

Bei der Eindampfung flüssiger Gärreste wird eine Reduzierung der Masse auf die Hälfte bzw. unter günstigen Bedingungen auf bis zu einem Viertel angestrebt. Das entstehende Kondensat kann bei entsprechender Auslegung über Kühltürme verdampft werden. Wegen des flüchtigen Ammoniaks wird das Substrat zunächst angesäuert, um ein Ausgasen über den Kondensatstrom zu vermeiden.

Das Konzentrat weist in der Regel Trockensubstanzgehalte von über 20 % auf und kann grundsätzlich dann mit trockenem und strukturgebendem organischen Material zur weiteren Trocknung (z. B. Bandrockner – siehe: 5.3.1) gemischt werden.

Als Größenordnungen zum Energiebedarf mehrstufiger Vakuumverdampfer werden genannt:

- 0,7 kWh<sub>th</sub> / l H<sub>2</sub>O
- 0,02 kWh<sub>th</sub> / l H<sub>2</sub>O

#### 5.4 ABWASSERTECHNIK

Häufig stehen an Standorten der Abfallwirtschaft Kläranlagen zur Verfügung. Diese können zur Behandlung aufbereiteter flüssiger Gärreste verwendet werden.

Durch Dekantierung oder Filtration (meist mit Flockungshilfsmitteln) kann flüssiger Gärrest soweit von Feststoffen befreit werden, dass das Fugat/Filtrat über eine kommunale Kläranlage oder auch eine Deponie-Sickerwasseraufbereitungsanlage geführt werden kann. Dies hängt wesentlich von den örtlichen Gegebenheiten und Kapazitäten ab.

Sickerwasserkläranlagen beinhalten häufig Membranverfahren. Hierzu gehören die Mikrofiltration, die Ultrafiltration und die Umkehrosmose. Diese Verfahren dienen dazu, feinste Partikel bis hin zu gelösten Stoffen aus dem Abwasser "herauszufiltern". Mit Hilfe von Membranen können höhermolekulare von niedermolekularen Stoffen getrennt werden. Dazu sind neben einer effizienten Vorabtrennung von Grobteilen auch Drücke zwischen 1 und 10 bar notwendig.

Bei diesen Verfahren der Aufbereitung des Flüssiganteils entstehen einleitfähiges Prozesswasser und ein flüssiges Konzentrat, das als Flüssigdünger zertifiziert und eingesetzt werden kann. Aus dem Inputmaterial flüssiger Gärreste entstehen so neben einem festen Anteil (aus Dekantierung oder Filtration) ca. 60 % Prozesswasser und 20 % Konzentrat.

#### 5.5 WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Grundsätzlich müssen bei der wirtschaftlichen Bewertung von Verfahren zur Aufbereitung flüssiger Gärreste immer sowohl die investiven Kosten, meist als Kapitalkosten [in €/Jahr], als auch die Kosten des Betriebs [in €/Mg oder €/m<sup>3</sup>] gemeinsam betrachtet werden. Aus verschiedenen Untersuchungen und auch den nachfolgend dargestellten Praxisbeispielen wird deutlich, dass diese Kosten sehr von den Rahmenbedingungen des Standorts abhängig sind. Flächen-

ausstattung, verfügbare Energie, bestehende Anlagen, Inputmaterialien sowie viele weitere Faktoren beeinflussen die Wirtschaftlichkeit der Ergebnisse. So ist beispielsweise die Teilstromvergärung im ersten Praxisbeispiel (6.1) wirtschaftlich unattraktiv und technisch kaum umsetzbar, während sie im zweiten Praxisbeispiel (6.2) eine robuste und wirtschaftlich attraktive Alternative darstellt.

Neben den verfahrenstechnisch bedingten Kosten für den Kapitaleinsatz und den Betrieb kann dem Verwertungspreis für den anfallenden flüssigen Gärrest entscheidende Bedeutung zukommen. Der realisierbare Verwertungspreis für die flüssigen Gärreste hängt stark von den regionalen Bedingungen für die flächenbezogene Ausbringung als Flüssigdünger ab. Hinlänglich bekannt ist, dass sich der bepreisbare Nährstoffwert des Flüssigdüngers am Markt nicht adäquat als Erlös erzielen lässt. Im Gegenteil sind Zuzahlungen die Regel, welche mit der erforderlichen Logistik für Transport und Ausbringung begründet werden.

Die Transportwürdigkeit von Flüssigdünger ist massenbedingt in der Regel auf eine Entfernung von 20 bis 30 km rund um die Vergärungsanlage begrenzt. Damit spielt die Verfügbarkeit an ackerbaulich genutzten und vor allem für die Ausbringung geeigneten Flächen eine große Rolle. Die Ausbringung auf Grünland ist gemäß der Bioabfallverordnung für Gärreste aus der Behandlung häuslicher Bioabfälle nicht möglich. Darüber hinaus ist die regionale Konkurrenzsituation mit Wirtschaftsdüngern aus der Viehhaltung bzw. mit flüssigen Reststoffen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu beachten. Die Kostenspanne für die Verwertung von flüssigen Gärresten aus der Bioabfallvergärung kann auf einen engeren Bereich von 5 €/Mg bis 15 €/Mg frei Anlage taxiert werden.

Wird ein Verwertungspreis in der genannten Größenordnung in die Wirtschaftlichkeitsberechnung eingestellt, ergeben sich für die Variante „Lagerung und

landwirtschaftliche Ausbringung“ als Benchmark Gesamtkosten in Höhe von 10 €/Mg bis zu 20 €/Mg flüssigen Gärrests.

Sensitivitätsbetrachtungen zufolge (s. Praxisbeispiel 1) können bei höheren Verwertungspreisen alternative Behandlungsverfahren wirtschaftlich konkurrenzfähig werden. Nicht berücksichtigt dabei ist allerdings der Wagnisfaktor. Dieser bestimmt sich durch die Beurteilung der technischen Funktionalität und Betriebssicherheit sowie insbesondere auch durch die sichere Erreichbarkeit der erforderlichen und geplanten Durchsatzleistungen. Der Wagnisfaktor wird als hoch eingeschätzt, wenn für ein bestimmtes Verfahren geringe Praxiserfahrungen existieren oder es sich noch um ein „junges“ Verfahren mit eingeschränkter Marktreife handelt. Wenn am Markt eine bestimmte technische Lösung nur durch einen oder sehr wenige Anlagenbauer angeboten wird, besteht ein zusätzlich erhöhtes Betriebsrisiko, da für den Fall, dass sich ein Aggregat eines Herstellers als technisch nicht oder wenig geeignet erweist, nicht auf ein alternatives Aggregat umgestellt werden kann. Damit stehen das Gesamtkonzept und die damit verbundenen getätigten Investitionen in Frage.

Insofern sind auch die in der Literatur genannten Faustzahlen zu den Kosten einzelner Verfahren zunächst als Anhaltswerte zu betrachten, die in einer vollständigen Betrachtung standortspezifisch anzupassen sind.

#### 5.6 FAZIT: TECHNISCHE ANSÄTZE

Flüssige Gärreste sind in Gebieten mit hohen Anteilen an Ackerflächen und niedrigerer Dichte an Tierhaltung gut als Flüssigdünger zu vermarkten. Allerdings erweist sich auch in diesen Regionen aufgrund der Veränderungen im Düngerecht und auch wegen bestimmter Gütesiegel der Absatz als zunehmend schwieriger.

In von Grünland geprägten Regionen und/oder solchen mit hohem Viehbesatz sowie ggf. einer hohen Anzahl landwirtschaftlicher Biogasanlagen ist die Ver-

marktung flüssiger Gärreste schwierig. Dies muss bei der Planung von Anlagen zur Vergärung von Bio- und Grüngut berücksichtigt werden. Flüssige Gärreste sind in solchen Regionen durch die Auswahl der Vergärungstechnik und durch Optimierung der Prozesse zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Die dargestellten Techniken sind hinsichtlich ihrer Marktreife sehr unterschiedlich zu bewerten. Die konzeptionellen Ansätze (5.1) werden bei einer Reihe von Praxisanlagen umgesetzt und sollten bei Planungen geprüft werden. Ebenso bestehen für die mechanischen Separationsverfahren (5.2) langjährige Erfahrungen bei Bioabfallvergärungsanlagen. Bei den thermischen Verfahren liegen mit Ausnahme des Bandtrockners an der Bioabfallvergärungsanlage Leonberg (siehe Praxisbeispiel 6.2) keine Praxiserfahrungen bei der Behandlung von Gärresten aus der Bioabfallbehandlung vor. Das gleiche gilt für Verfahren der Abwassertechnik. Zwar bereiten einige Bioabfallvergärungsanlagen ihren flüssigen Gärrest zur Abgabe an bestehende Klärwerke oder Sickerwasserkläranlagen auf, der Betrieb eigener Anlagen ist aber in der Regel zu aufwändig.

Nach Ansicht vieler Fachleute steckt die Flüssigaufbereitung im Verhältnis zur Aufbereitung von festen Gärprodukten immer noch in den Kinderschuhen. In der Praxis sind solche Anlagen derzeit nur vereinzelt zu finden. Die angebotenen Technologien haben sich zwar entscheidend weiterentwickelt, eine wirkliche Marktreife ist bei vielen aber noch nicht erkennbar.

Unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten ist immer die direkte Verwertung flüssiger Gärreste in der Landwirtschaft als erste Priorität zu sehen. Nur dort, wo die Möglichkeit dieser Art der Verwertung nicht gegeben ist oder die wirtschaftlichen Erwartungen der Landwirte zu hoch sind, sollten technische Alternativen geprüft werden.

Zur Veranschaulichung sind in Anlage 1 und 2 die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen an den

beiden Bioabfallvergärungsanlagen der Kreise Rems-Murr und Böblingen dargestellt. Die Beispiele verdeutlichen auch den großen Einfluss der vorherrschenden Rahmenbedingungen auf die Vorzüglichkeit der unterschiedlichen Optionen.

Die in Tab. 2 dargestellten wesentlichen Überlegungen hinsichtlich der Reduktion flüssiger Gärreste sollen helfen, die Entscheidung für oder auch gegen bestimmte Verfahren und Techniken zu erleichtern.

Tab. 2: Entscheidungsmatrix

	Fragestellung	Kriterien	
<b>Grundsatzfrage</b>	Ackerbauliche Verwertung flüssiger Gärreste regional möglich?	geringer Viehbesatz, geringe Dichte an NawaRo-Biogasanlagen im Umfeld	<b>JA</b> flüssige Gärreste lagern und ackerbaulich verwerten
			<b>NEIN</b> siehe Optionen in nachfolgender Entscheidungsmatrix
<b>Optionen zur Reduzierung / Vermeidung von flüssigem Gärrest</b>			
Ansatz	Fragestellung	Kriterien / Merkmale	Empfehlung
<b>Vergärungstechnik</b>	Boxenvergärung am Standort sinnvoll?	geringer Biogasertrag, keine / geringe Mengen flüssiger Gärrest, ausreichende Fläche vorhanden	Boxenvergärung umsetzen
<b>Prozessoptimierung (Reduzierung, Vermeidung)</b>	Zugabe von Frisch- oder Brauchwasser zum Fermentationsprozess?	Verfügbarkeit flüssiger Gärreste und / oder Fugat mit adäquatem TS-Gehalt, geringere Mengen flüssiger Gärreste	Rückführung flüssiger Gärrest und / oder Fugar aus Dekantierung
	Teilstromvergärung sinnvoll?	keine vollständige Biogaserzeugung, ausreichende Mengen organische Abfälle und Fläche vorhanden	Teilstromvergärung umsetzen
<b>Thermische Behandlung</b>	Ganzjährig günstige Wärme zur Verfügung? (ggf. Auswirkungen flexibler Stromspeisung beachten)	günstige Wärme am Standort vorhanden	thermische Trocknungsverfahren prüfen
<b>Alternative Behandlung</b>	Kläranlage mit ganzjährigen und dauerhaft freien Kapazitäten vorhanden?	Günstige Einleiterbedingungen am Standort	Dekantierung des flüssigen Gärrests und Zuleitung Fugat zur Kläranlage



## 6. Anlage



☞ An zwei bestehenden Bioabfallvergärungsanlagen im Rems-Murr-Kreis und im Kreis Böblingen wurden 2015 die Optimierungspotenziale bei der Gärrestverarbeitung detailliert technisch und wirtschaftlich untersucht. Nachfolgend werden wesentliche Ergebnisse skizziert. Die Darstellung zeigt, dass der Standort sowie die bereits vorhandene Anlagentechnik und die Mengenströme ganz wesentliche Einflussfaktoren sind. Ansätze, die an einem Standort technisch kaum umsetzbar und wirtschaftlich unattraktiv sind, gehören an einem anderen Standort zu den Vorzugsvarianten.

### 6.1 ANLAGE1: BIOVERGÄRUNGSANLAGE BACKNANG-NEUSCHÖNTAL

Die Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal der Abfallwirtschaftsgesellschaft (AWG) des Rems-Murr-Kreises mbH mit einer Verarbeitungskapazität von 43.000 Mg/a ging im Jahr 2011 in Betrieb (Abb. 24). Etwa 90 % des Inputs sind das Biogut aus dem Rems-Murr-Kreis. Zudem werden etwa 5.000 Mg/a Strukturmaterial aus der Grünguteraufbereitung zugegeben. Die Anlage ist eine kontinuierliche Trockenvergärungsanlage mit zwei horizontalen Pfropfenstromfermentern. Sie produziert jährlich über 10 Mio. kWh Strom und ebenso viel Wärme. Der von den beiden Blockheizkraftwerken erzeugte Strom wird in das Netz eingespeist und kann annähernd 3.000 Haushalte versorgen. Die Wärme wird in der Anlage selbst und zur Trocknung von Klärschlamm auf der benachbarten Kläranlage verwendet. Weitere Restwärme für thermische Verfahren (vgl. 6.1.3) steht noch zur Verfügung.



Im Bereich der Gärreste wurde vom Anlagelieferanten mit jährlich anfallenden Mengen von

- 10.000 Mg Kompost und
- 15.400 m<sup>3</sup> Flüssigdünger

kalkuliert. Die gesamte Anlage von der Annahme und Aufbereitung des Inputs über die Vergärung bis hin zur Haupt- und Nachrotte ist gekapselt. Die Abluft wird erfasst und über zwei Biofilter mit vorgeschalteten Sauren Wäschern gereinigt. Lagerstätten für Kompost und Flüssigdünger sind vorhanden.

Die Erfahrungen im Betrieb zeigten folgende wesentliche Ergebnisse:

- Die Biogaserzeugung und -nutzung über Kraft-Wärme-Kopplung erfüllt die Erwartungen.
- Die Aufbereitung und Vergärung des Bio- und Grünguts arbeiten robust und zufriedenstellend.
- Die Separation des Gärrests in eine flüssige und feste Phase funktioniert dann gut, wenn ausreichend Strukturmaterial zugegeben wird. Der feste Gärrest hat Trockensubstanzgehalte von deutlich über 35 % und eine Dichte von 0,3. Er ist damit für die weitere Kompostierung gut geeignet.
- Die Effizienz der Kompostierung bleibt hinter den Erwartungen zurück. Die Konfektionierung des erzeugten Komposts wird durch dessen Feuchte zum Teil etwas erschwert.
- Die Menge an tatsächlich anfallendem flüssigem Gärrest übertrifft die Planungsgrößen um etwa 40 %.
- Angesichts dieser Mehrmenge, der tatsächlichen Absatzmöglichkeiten für Flüssigdünger in der Region und der sich verschärfenden rechtlichen Anforderungen ist die Kapazität der Flüssigdüngerspeicher unzureichend.

Abb. 25: Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal (Abfallwirtschaftsgesellschaft des Rems-Murr-Kreises mbH)

### 6.1.1 OPTIMIERUNG DER GÄRPRODUKTE

Vor diesen Hintergründen wurden im Jahr 2015 verschiedene Maßnahmen zur Optimierung, insbesondere der anfallenden flüssigen Gärreste, untersucht. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die vorhandenen Gärrestlager weiterhin genutzt werden und nur die darüber hinausgehenden Mengen an flüssigem Gärrest anderweitig verwertet werden müssen. Außerdem wurden Erweiterungsoptionen für das Anlagen-gelände geprüft.

#### Wassermanagement

Unbelastete Abwässer von den Dachflächen der Anlage werden in einer Zisterne gefasst und in den Vorfluter eingeleitet. Abwässer von den Verkehrsflächen werden ebenfalls gefasst und dem Fermentationsprozess zugegeben. Die Überschüsse werden der benachbarten Kläranlage übergeben.

Die Einstellung des erforderlichen Trockensubstanzgehalts beim Eintrag in die Vergärung erfolgte ursprünglich durch rohen Gärrest und die Zugabe von ca. 6.000–7.000 m<sup>3</sup>/a Schmutz- und Brauchwasser. Letzteres trug u. a. zu dem hohen Aufkommen an flüssigem Gärrest bei. Versuche zeigten, dass ein vollständiger Ersatz des Brauchwassers durch flüssigen Gärrest nicht praktikabel ist. Vor allem die Gärrestseparation litt unter dem Vorgehen und auch die Einstellung des geforderten Trockensubstanzgehalts am Fermentereingang gestaltete sich schwierig. Allerdings konnte der Brauchwassereinsatz reduziert werden.

Durch eine Dekantierung eines Teils des flüssigen Gärrests und die Verwendung des Ablaufs aus der Dekanterzentrifuge könnte die Brauchwasserzugabe voraussichtlich im Optimum ganz vermieden werden. Dieser Ansatz wurde in Kapitel 5.1.1 dargestellt (siehe auch Abb. 16).

#### Ausbau der Lagerkapazität

Als Vergleichsvariante für alle nachfolgend beschriebenen Verfahren wurde die Erweiterung der Lagerkapazität für flüssige Gärreste betrachtet. Die vorhandene Lagerkapazität von etwa 7.000 m<sup>3</sup> (zwei Lagerbehälter + Presswasserbecken) reicht in der Praxis nur für einen Zeitraum von maximal fünf Monaten. Vor dem Hintergrund der zukünftig erwarteten Forderung nach einer Lagerkapazität für neun Monate ist eine Erweiterung der Gärrestlager mit einem Volumen von ca. 8.000 m<sup>3</sup> geplant. Dazu muss die Anlagenfläche erweitert werden, was in östlicher Richtung vorgesehen ist.

Das neu zu errichtende Gärrestlager muss technisch gasdicht errichtet werden. Damit steht zukünftig auch ein Zwischenspeicher für das Biogas zur Verfügung. Dies ist im Hinblick auf die Verstromung des Biogases, eine mögliche Flexibilisierung der Stromerzeugung sowie auf die Vermeidung von Fackellaufzeiten positiv zu werten. Zu beachten ist, dass bei einem Brutto-Lagervolumen für Biogas, das einer Masse von 10 Mg entspricht (etwa 7.700 Nm<sup>3</sup>), die Grundpflichten der Störfallverordnung einzuhalten sind.

Ebenfalls wird für das neue Lager ein Havariekonzept (z. B. in Form einer Umwallung bzw. doppelwandig) umzusetzen sein, das in der Lage ist, bei einer Undichtigkeit des Behälters den gesamten austretenden Flüssigdünger zurückzuhalten.

Aufgrund der Standortgegebenheiten muss der neue Flüssigdüngerspeicher auf einem zu erschließenden Nachbargrundstück errichtet werden. Eine Anbindung an die Steuertechnik, die Gastechnik sowie die Verteilung und Abgabe der flüssigen Gärreste wird erforderlich.

Aus dem zuvor Dargestellten wird deutlich, dass erhebliche Aufwendungen für die Schaffung des zusätzlichen Lagerraums erforderlich sind. Neben den Betriebskosten für Lagerung und Verwertung spielen bei einer wirtschaftlichen Betrachtung auch die Kapitalkosten eine beachtliche Rolle.

## Teilstromvergärung

Die vorhandene Vergärungsanlage ist auf die Vergärung des gesamten im Kreisgebiet anfallenden Bioguts ausgelegt. Für eine Teilstromvergärung (vgl. Abschnitt 5.1.2 und Abb. 17) wären mindestens 10.000 Mg/a Bio- oder Grüngut zusätzlich zu akquirieren und eine gekapselte Rottehalle auf der Erweiterungsfläche zu errichten. Mit dem akquirierten Material und festem Gärrest aus den Pressschnecken sowie Rotteaustragsmaterial wird der verbleibende rohe Gärrest vermischt. Die Mischung wird anschließend in Intensivrotte-tunneln über ca. 3 Wochen zu Fertigkompost gerottet. Hierbei findet gleichzeitig auch eine Hygienisierung statt. Die intensive Belüftung des Materials in Rotteboxen über 3 Wochen ist mit hohem Strombedarf für die Lüftungsaggregate verbunden. Nach der Konfektionierung des Kompostes wird dieser in den vorhandenen Rottebuchten (Lagerkapazität ca. 5–6 Wochen) in der Halle gelagert.

Durch die Umsetzung würde die erforderliche Optimierung des Rottebereichs in dem neu zu errichtenden Bereich erfolgen. Damit stünde die bisherige Rottehalle weitgehend als zusätzliches Kompostlager zur Verfügung. Der Transport zwischen den beiden Anlagen (z.B. über Förderbänder) müsste gewährleistet sein.

## 6.1.2 MECHANISCHE VERFAHREN

Als erste Separationsstufe werden auf der Anlage bereits vier Pressschnecken zur Separation von Flüssigdünger und festem Gärrest betrieben. Der nachgeschaltete Einsatz von Dekantern in der flüssigen Phase wurde im Hinblick auf alternative Optionen zur Verwertung des Flüssigdüngers außerhalb der Landwirtschaft untersucht. Für die Verwertungswege im Brauchwassermanagement, über Verdampfung bzw. Abwassertechnik ist eine weitere Abtrennung von Feststoffen erforderlich, wie sie über Dekanter geleistet werden kann.

Zur besseren Abschätzung der Machbarkeit einer erweiterten Entwässerung flüssigen Gärrests wurden 2015 mit einem Dekanterhersteller orientierende Technikumsversuche mit folgenden Zielen durchgeführt:

- Prüfung der generellen Dekantierbarkeit (mit oder ohne Flockungshilfsmittel [kurz: FHM]) des flüssigen Gärrests.
- Einschätzung des Fugats bzgl. einer möglichen Entsorgung in einer Sickerwasserkläranlage und ggf. auf alternativen Wegen (Rückführung als „Brauchwasser“ in die Fermentation, Flüssigdünger in der Landwirtschaft).
- Bewertung des Dekanterkuchens hinsichtlich einer möglichen Mitkompostierung.

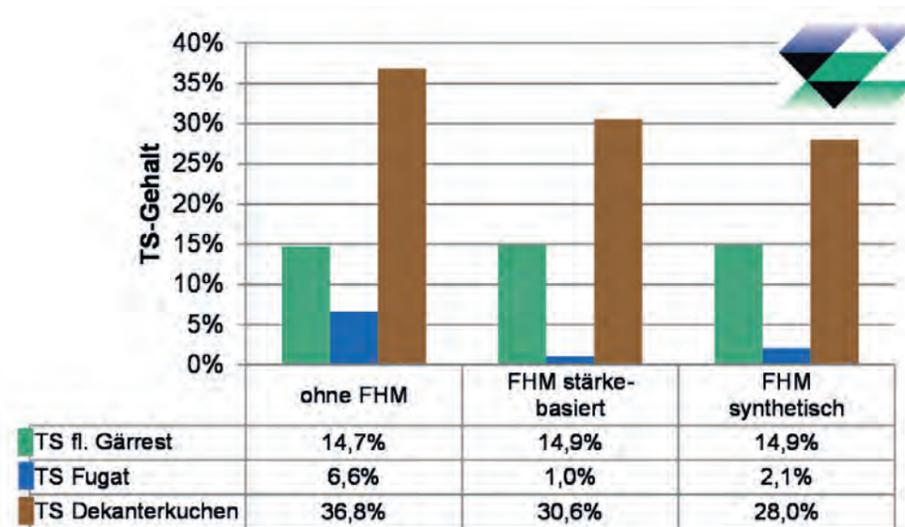


Abb. 26: TS-Gehalte von Gärrest, Fugat und Dekanterkuchen bei Dekanterversuchen mit und ohne Flockungshilfsmittel (FHM)

Die Versuche wurden mit flüssigem Gärrest (TS < 15 %) aus der Anlage Backnang-Neuschöntal durchgeführt, wobei drei Varianten dekantiert wurden:

1. ohne Flockungshilfsmittel
2. mit einem stärkebasierten Flockungshilfsmittel
3. mit einem synthetischen Flockungshilfsmittel

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass ohne Flockungshilfsmittel aus dem flüssigen Gärrest ein Fugat mit 6,6 % TS erzeugt werden kann (Abb. 25). Bei Zugabe von Flockungshilfsmitteln reduziert sich dieser Wert auf ein bzw. zwei Prozent.

Der flüssige Gärrest der Anlage Backnang-Neuschöntal ist grundsätzlich gut dekantierbar, allerdings mit der Einschränkung, dass es sich um Technikumsversuche handelt. Vor einer Realisierung wird ein Langzeitversuch empfohlen.

Der Dekanterkuchen weist eine hohe Dichte auf und ist kaum belüftbar. Eine Mitkompostierung ist nur bei Beimischung in geringen Anteilen (Annahme: 1:10) zum festen Gärrest möglich.

## 6.1.3 THERMISCHE VERFAHREN

Obwohl die durch die BHKW erzeugte Wärmeenergie bereits in der Vergärungsanlage selbst und zur Trocknung entwässerten Klärschlamm auf der benachbarten Kläranlage genutzt wird, steht noch Wärme zur Verfügung, die für thermische Prozesse in der Gärrestbehandlung genutzt werden kann. Folgende Optionen stehen dabei zur Auswahl:

### Trommeltrockner

Das Konzept sieht vor, die verbleibenden flüssigen Gärreste zu einer neu zu errichtenden Trommeltrocknungseinheit zu pumpen. Dort erfolgt eine Rückmischung mit bereits getrocknetem Material. Die Mischung wird dem Trommeltrockner zugeführt und mittels heißer Abgase getrocknet. Um die Mischung auf einen TS-Gehalt von ca. 50 % zu trocknen, sind 1,1 MW thermische Leistung erforderlich.

Eine Überlegung besteht darin, künftig einen Teil der Wärme mittels eines 500 kW Drehrohrofens zu erzeugen, der z. B. mit aufbereitetem holzigem Grüngut betrieben werden kann (ca. 1.600 Mg/a bei 2,8 kWh/kg). Die restliche Wärmeleistung von ~ 600 kW kann aus den Abgasen der BHKW gewonnen werden (thermische Leistung der BHKW ~ 1.340 kW). Der getrocknete Gärrest wird unter einer Überdachung (Kapazität ca. 4 Wochen) bis zur Verwertung als fester Dünger zwischengelagert.

### Solarer Trockner

Basierend auf dem genannten Konzept (siehe: Trommeltrockner) wird der verbleibende flüssige Gärrest zu einer neu zu errichtenden solaren Trocknung gepumpt. Dort wird der Gärrest in zwei gewächshausähnlichen Gebäuden (2 Felder) durch eine Kombination aus BHKW-Wärme und Solar-Wärme getrocknet. Dabei wird der Gärrest kontinuierlich durch ein „elektrisches Schwein™“ gewendet. Die Abluft aus den beiden Modulen wird anschließend über einen sauren Wäscher gereinigt. Danach wird der teiltrocknete Gärrest (~ 38–44 % TS) batchweise mittels Radlader ausgetragen und kann als fester Dünger verwendet werden.

Nach Herstellerangaben ist die Trocknung von struktureicherem Material zu bevorzugen. Für eine abschließende Bewertung fehlen großtechnische Langzeit-Betriebserfahrungen mit der solaren Trocknung flüssiger Gärreste. Auch zu bedenken ist, dass der Anteil der solaren Energie im Vergleich zur erforderlichen Wärmemenge aus den BHKW relativ gering ist.

### Eindampfung

Die Eindampfung (siehe: 5.3.4) setzt die Dekantierung des flüssigen Gärrests voraus, jedoch ohne den Einsatz von Flockungshilfsmitteln. Der Dekanterkuchen (oder auch Feststoff) wird in einem Flachbunker (ca. 4 Wochen) bis zur Verwertung als fester Dünger bzw. zur Mitkompostierung zwischengelagert.

Das Fugat wird eingedampft auf eine Konzentration von 3.400 m<sup>3</sup>/a (entspricht einem Drittel des Fugats bzw. einem Viertel des ursprünglichen flüssigen Gärrests) und auch in die Gärrestlager gepumpt. Zur Behandlung der Abluft ist ein Saurer Wäscher vorgesehen. Das dabei entstehende Ammoniumsulfat kann als Düngemittel vermarktet werden. Das Kondensat aus der Eindampfung (ca. 7.100 m<sup>3</sup>/a) wird zur Kläranlage geleitet. Alternativ ist auch die Verdampfung des Kondensats über einen Kühlturm denkbar.

Ähnlich wie bei der solaren Trocknung gibt es bisher keine Referenzanlage für die Eindampfung von Gärrest aus der Bioabfallvergarung.

#### 6.1.4 ABWASSERTECHNIK

Wenngleich am Standort eine kommunale Kläranlage vorhanden ist, wurde wegen der hohen biologischen und chemischen Belastung der Abwässer die Nutzung der von der Abfallwirtschaftsgesellschaft betriebenen Sickerwasserkläranlage auf der Deponie betrachtet. Der verbleibende flüssige Gärrest wird zunächst unter Einsatz von Flockungshilfsmitteln dekantiert (siehe 6.1.2). Die Zugabe von Flockungshilfsmitteln ist erforderlich, um einen TS-Gehalt von ca. 1 % im Fugat zu erreichen. Hinsichtlich der Verwertung des Dekanterkuchens sind die Vorgaben der Düngemittelverordnung zur Abbaubarkeit der Flockungshilfsmittel zu berücksichtigen. Der Dekanterkuchen (oder auch Feststoff) wird in einem Flachbunker (Kapazität ca. 4 Wochen) bis zur Verwertung als fester Dünger oder zur Mitkompostierung zwischengelagert.

Das Fugat aus dem Dekanter wird anschließend mit Tankwagen zur vorhandenen Sickerwasserkläranlage der AWG gebracht und dort entsorgt. Je nach Logistik kann eine Zwischenpufferung in einem Puffertank erforderlich werden.

#### 6.1.5 WIRTSCHAFTLICHER VERGLEICH DER ANSÄTZE

Für den wirtschaftlichen Vergleich wurden für die beschriebenen Ansätze folgende Arbeiten durchgeführt:

- Konzeptentwicklung und Abschätzung der Stoff- und Energieströme
- Vordimensionierung mit Entwicklung von Aufstellungsskizzen
- Kostenschätzung Invest (Anlagenerrichtung, Nebenkosten)
- Kostenschätzung des Anlagenbetriebs und der Entsorgungskosten
- Schätzung der Erlöse und der mit der Umsetzung verbundenen monetären Synergieeffekte für den gesamten Anlagenbetrieb
- Schätzung der Gesamtwirtschaftlichkeit (Behandlungskosten)
- Sensitivitätsbetrachtungen

Wesentliche Ansätze hinsichtlich der künftigen Betriebsaufwendungen (Bezugskosten Strom, Entgeltstruktur Personal, spezifische Ansätze für Reparatur, Wartung, Unterhalt sowie Verwertungs- und Entsorgungspreise etc.) wurden durch die AWG übermittelt bzw. auf Basis von Erfahrungswerten festgelegt.

In der Analyse zeigt sich eine klare Tendenz, die allerdings sehr stark von den standortspezifischen Faktoren, wie z. B. Flächenausstattung, regionale Entsorgungspreise etc. beeinflusst wird. Die erforderlichen Nettoinvestitionen werden zwischen 0,5 Mio. € (Dekantierung und Nutzung Sickerwasserkläranlage) und 7,5 Mio. € (Teilstromvergärung) erwartet (Abb. 26).

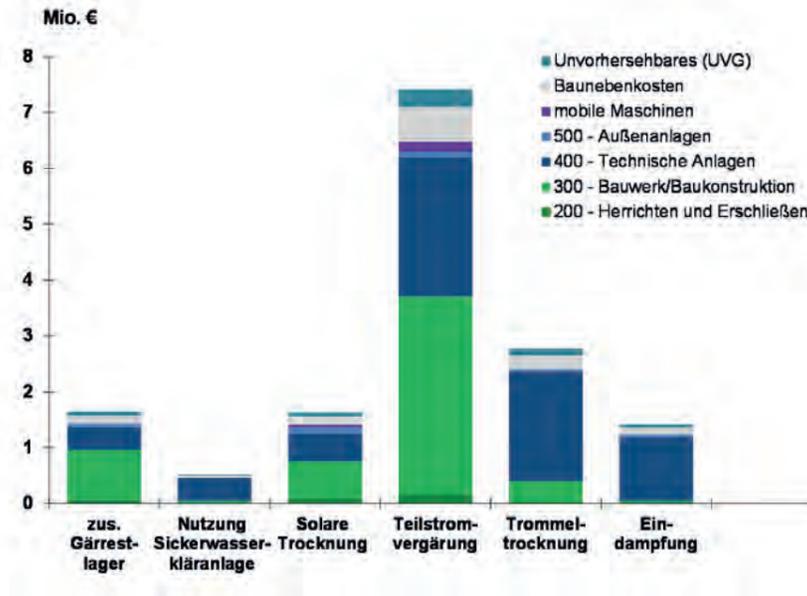


Abb. 27: Abschätzung der erforderlichen Investitionen für die skizzierten Ansätze am Standort Backnang-Neuschöntal

Etwas weniger breite Spreizungen zeigen sich beim Vergleich der erwarteten Betriebskosten (Abb. 27). Allerdings ist dabei auch zu berücksichtigen, dass beispielsweise der Ansatz Teilstromvergärung für die untersuchte Anlage durch die Behandlung zusätzlicher Mengen auch Einnahmen (kalkuliert mit 50 €/Mg zusätzlich angenommenes Biogut) erwarten lässt.

Insgesamt zeigt sich, dass für die wirtschaftlich interessanten Ansätze zum optimierten Gärrestmanagement eine Erhöhung der Behandlungskosten von etwa 5 € pro Mg Input zu erwarten ist.

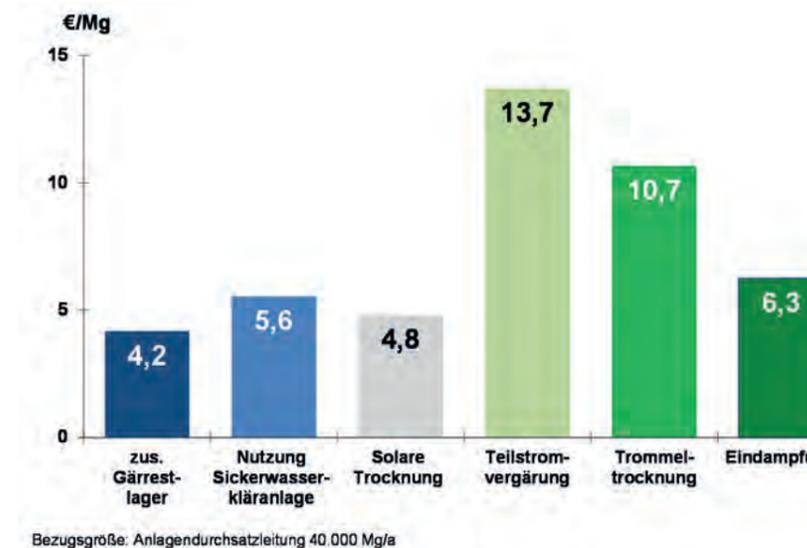


Abb. 28: Erwartete Steigerung der Behandlungskosten (€/Mg Input) durch unterschiedliche Ansätze zur Behandlung flüssiger Gärreste am Standort Backnang-Neuschöntal

### 6.1.6 ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

Tab. 3: Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang (Teil 1) – Variante 0 mit zusätzlichem Gärrestlager als Benchmark

Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang			
	Variante 0	Variante 1	Variante 2
	zus. Gärrestlager	Sickerwasserkläranlage	Solare Trocknung
<b>Energiebilanz (Strombedarf)</b>	○ ca. 44.000 kWh <sub>el</sub> /a	○ ca. 38.000 kWh <sub>el</sub> /a	- ca. 340.000 kWh <sub>el</sub> /a
<b>Energiebilanz (Wärmenutzung BHKW-Abwärme)</b>	○ keine Wärmenutzung	○ keine Wärmenutzung	++ ca. 7,6 Mio. kWh <sub>th</sub> /a (870 kW <sub>th</sub> )
<b>Energiebilanz (Nutzung Holziger Brennstoffe)</b>	○ im Konzept nicht vorgesehen	○ im Konzept nicht vorgesehen	○ im Konzept nicht vorgesehen
<b>Ressourceneffizienz / Nährstoffkreislauf und Humusbildner</b>	○ Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger)	- Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen); Nährstoffverluste Kläranlage	○ Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen, ASL-Lösung)
<b>Treibstoffbedarf (anlagenintern)</b>	○ kein zusätzlicher Bedarf	○ kein zusätzlicher Bedarf	○ kein zusätzlicher Bedarf
<b>Transportaufwand</b>	○ in die Landwirtschaft: ca. 19.000 m <sup>3</sup> /a flüssiger Gärrest	○ in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m <sup>3</sup> /a flüssiger Gärrest + ca. 4.200 Mg/a Dekanterkuchen; ca. 7.100 m <sup>3</sup> /a zur Sickerwasserreinigungsanlage (mit Tankwagen)	+ in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m <sup>3</sup> /a flüssiger Gärrest + ca. 3.600 Mg/a Dekanterkuchen + ca. 1.500 Mg/a ASL-Lösung
<b>Klimawirksamkeit / CO<sub>2</sub>-Einsparungen / Nachhaltigkeit</b>	○ Benchmark (Bewertung definitionsgemäß = 0)	- Nährstoffverluste Kläranlage	+ zusätzlicher Strombedarf, vollständige Nutzung der BHKW-Abwärme, Transportaufwand deutlich geringer; Nutzung von Sonnenenergie

Legende: ○ Benchmark, ++ deutlich besser, + besser, - schlechter, -- deutlich schlechter als der Benchmark

Tab. 4: Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang (Teil 2)

Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am Standort Backnang			
	Variante 3	Variante 4	Variante 5
	Teilstromvergärung	Trommeltrocknung	Eindampfung
<b>Energiebilanz (Strombedarf)</b>	-- ca. 1,7 Mio. kWh <sub>el</sub> /a (dem gegenüber steht eine Einsparung von ca. 130.000 kWh <sub>el</sub> /a bei der bisherigen Gärrestbehandlung)	- ca. 398.000 kWh <sub>el</sub> /a	- ca. 228.000 kWh <sub>el</sub> /a
<b>Energiebilanz (Wärmenutzung BHKW-Abwärme)</b>	○ keine Wärmenutzung	++ ca. 5,0 Mio. kWh <sub>th</sub> /a (600 kW <sub>th</sub> )	++ ca. 2,8 Mio. kWh <sub>th</sub> /a (340 kW <sub>th</sub> )
<b>Energiebilanz (Nutzung Holziger Brennstoffe)</b>	○ im Konzept nicht vorgesehen	+ ca. 2.000 Mg/a Holziges Grünut	○ im Konzept nicht vorgesehen
<b>Ressourceneffizienz / Nährstoffkreislauf und Humusbildner</b>	+ Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen, ASL-Lösung); höhere Kompostmenge als zur Zeit	○ Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, ASL-Lösung)	- Rückführung von Nährstoffen in den Stoffkreislauf (Flüssigdünger, Dekanterkuchen); Nährstoffverluste Kläranlage
<b>Treibstoffbedarf (anlagenintern)</b>	- zusätzlicher Bedarf, aber auch Einsparungen bei der bisherigen Gärrestbehandlung	○ kein zusätzlicher Bedarf	○ kein zusätzlicher Bedarf
<b>Transportaufwand</b>	- in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m <sup>3</sup> /a flüssiger Gärrest + ca. 3.000 Mg/a Dekanterkuchen + ca. 1.700 Mg/a zusätzlicher Kompost + ca. 4.000 Mg/a ASL-Lösung; ca. 10.000 Mg/a Biogut extern	+ in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m <sup>3</sup> /a flüssiger Gärrest + ca. 2.000 Mg/a ASL-Lösung	○ in die Landwirtschaft: ca. 8.400 m <sup>3</sup> /a flüssiger Gärrest + ca. 4.200 Mg/a Dekanterkuchen + 400 Mg/a ASL-Lösung; ca. 7.100 m <sup>3</sup> /a Kondensat zur Kläranlage (mit Tankwagen)
<b>Klimawirksamkeit / CO<sub>2</sub>-Einsparungen / Nachhaltigkeit</b>	- zusätzlicher Strombedarf sehr hoch, leicht höhere Kompostmengen, zusätzliche Transportaufwendungen	+ zusätzlicher Strombedarf, Nutzung der BHKW-Abwärme (ca. 70%), Nutzung Grünutbrennstoff, Transportaufwand deutlich geringer	- zusätzlicher Strombedarf, Nutzung der BHKW-Abwärme (ca. 40%), Nährstoffverluste Kläranlage

Legende: ○ Benchmark, ++ deutlich besser, + besser, - schlechter, -- deutlich schlechter als der Benchmark

### 6.1.7 EMPFEHLUNG

Die Erzeugung qualitativ hochwertiger Gärprodukte ist wesentliche Aufgabe der Verwertung kommunaler Bioabfälle. Basierend auf der skizzierten technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Bewertung der untersuchten Ansätze sind hinsichtlich der flüssigen Gärreste folgende Schlussfolgerungen unter den am Standort Backnang-Neuschöntal gegebenen Rahmenbedingungen gerechtfertigt:

1. Die Zuführung von Brauchwasser zum Fermenter sollte auf das absolute Minimum reduziert werden. Der Einsatz eines Dekanters zur Erzeugung von Fugat aus dem flüssigen Gärrest als Ersatz für Brauchwasser stellt einen möglichen Ansatz dar.
2. Trotz der erforderlichen Investitionen in ein neues Gärrestlager und der Verwertungskosten für flüssigen Gärrest ist die Schaffung zusätzlichen Lagerraums für die flüssigen Gärreste die wirtschaftlichste Option, die auch aus ökologischer Sicht gut abschneidet.
3. Die solare Trocknung ist robust, weist aber erheblichen Platz- und Strombedarf auf, ohne klare Vorteile gegenüber einer technischen Trocknung aufzuweisen. Insbesondere die Abluftsituation stellt hinsichtlich der großen Volumina eine Herausforderung dar.
4. Mit der Option: „Dekantierung des flüssigen Gärrests und Nutzung eines (geringen) Teils des Fugats anstelle von Brauchwasser sowie Verbringung des überschüssigen Fugats zur Sickerwasserkläranlage“ steht zumindest eine Option zur Verfügung, die bei erheblicher Verteuerung der landwirtschaftlichen Verwertung flüssiger Gärreste Entsorgungssicherheit ohne allzu deutliche Auswirkungen auf die Behandlungskosten ermöglicht.
5. Der Eindampfung kann auf Basis der vorliegenden Daten und Erfahrungen mit anderen Stoffströmen ein interessantes Potenzial zugeschrieben werden. Allerdings liegen keine Praxis- und Langzeiterfahrungen mit flüssigem Gärrest aus Bioabfall vor.
6. Die thermische Trocknung erweist sich als wirtschaftlich wenig attraktiv. Während sich bei Bandtrocknern das Aufbringen gut belüftbarer Materialien

in der Praxis als schwierig erweist, werden bei Trommeltrocknern Staubemissionen und Brandgefahr als technische Nachteile benannt.

7. Eine Teilstromvergärung würde flüssige Gärreste vermeiden und könnte die derzeitigen Schwierigkeiten in der Kompostierung auffangen. Allerdings lässt das zur Verfügung stehende Grundstück nur eine zusätzliche Verwertung von ca. 10.000 Mg/a Biogut zu. Mit dieser relativ geringen Durchsatzsteigerung bei gleichzeitig hohen Neuinvestitionen ist die Nachrüstung einer Teilstromvergärung an diesem Standort unwirtschaftlich.

### 6.2 BIOABFALLVERGÄRUNGSANLAGE LEONBERG

Im Jahr 2004 erweiterte der Abfallwirtschaftsbetrieb Böblingen (AWB) sein Kompostwerk um eine Vergärungsanlage (Abb. 28). Die jährlich ca. 35.000 Mg Biogut aus dem Kreis Böblingen werden in einem vertikalen Pfropfenstromfermenter anaerob vergoren und das entstehende Biogas in einem Gasspeicher gesammelt. Das Biogas wird anschließend in drei BHKW mit insgesamt 2.213 kW elektrischer Leistung vollständig verstromt. Jährlich werden so bis zu 8,2 Millionen kWh Strom erzeugt, was dem jährlichen Strombedarf von ca. 2.300 Haushalten entspricht.

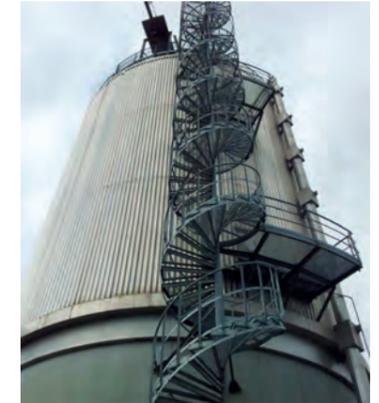
Nach der Vergärung fallen gut 30.000 Mg/a an breiartigem Gärrest an. Durch die Kraft-Wärme-Kopplung der BHKW wird die Abwärme der Gasmotoren zur Beheizung des Fermenters, aber auch zur Erwärmung der Luft für die Trocknung der Gärreste in einem Bandtrockner genutzt. Nach der Trocknung wird der teiltrocknete Gärrest zum Teil noch mit Feinmaterial aus der Grüngutaufbereitung vermischt und dann zur Fertigkompostierung in regionale Kompostwerke verbracht.

#### 6.2.1 OPTIMIERUNG DER GÄRPRODUKTE

Nach einem Jahrzehnt im Betrieb weist die Anlage bei der Verarbeitung der Gärreste Optimierungspotenziale auf. Insbesondere die Trocknungseinheit für die erzeugten Gärreste erweist sich als Engstelle im Gesamt-



Abb. 29: Bioabfallvergärungsanlage Leonberg



prozess. Dabei bereitet weniger die Trocknung an sich als vielmehr die Mischung und Aufgabe der Gärreste auf den Trockner (mechanische) Probleme. Außerdem wirken sich Ausfälle im Bereich der Biogasverstromung aufgrund der dann fehlenden Abwärme unmittelbar auf die Gärresttrocknung aus. Die in der Vergangenheit betriebene zusätzliche Öl-basierte Erzeugung zusätzlicher Wärme soll in Zukunft weitgehend vermieden werden.

Im Winterhalbjahr 2015/16 wurden verschiedene Konzepte zur Optimierung der Gärrestbehandlung technisch, ökologisch und wirtschaftlich intensiv geprüft. Die Vergärung der Bioabfälle selbst wurde, da sie sehr zufriedenstellend verläuft, nicht untersucht.

Ein wesentliches Ziel der Konzepte ist die Entlastung des Trocknungsaggregats bzw. der komplette Verzicht auf diese Stufe.

#### 6.2.2 KONZEPT A: STOFFSTROM-SPLITTING

Die Konzepte zum Stoffstromsplitting sehen – je nach Untervariante – vor, etwa die Hälfte (Variante „A“) bis hin zum gesamten Gärrest (Variante „Aplus“) abzupressen. Ähnlich wie im Praxisbeispiel Backnang (vgl. 6.1) ist der flüssige Gärrest dann für die landwirtschaftliche Nutzung vorgesehen. Zur möglichst vollständigen Verwertung des noch vorhandenen Gasbildungspotenzials (laut Voruntersuchungen 13 Nm<sup>3</sup>/Mg Gärrest) wird der flüssige Gärrest über einen beheizten Nachgärer den Gärrestlagern zugeführt. Diese benötigen erhebliche Flächen, da neben den eigentlichen Lagern auch

ein Rückhalteraum für den Havariefall vorgeschrieben ist. Dennoch sind die Konzepte mit dem Flächenangebot am Standort umsetzbar.

In der Untervariante „A“, bei der nur die Hälfte des rohen Gärrests abgepresst werden soll, wird die andere Hälfte mit dem festen Gärrest (aus der Abpressung) sowie am Standort vorhandenen feinen Grüngutanteilen gemischt und dann dem Bandtrockner zugeführt. Dieses Konzept ist so ausgelegt, dass die erzeugte BHKW-Wärme zur Trocknung des skizzierten Teilstroms ausreichend ist. Aufgrund der Zumischung des noch nicht hygienisierten Grünguts ist die Intensivrotte der Mischung auf knapp zwei Wochen ausgelegt, ehe eine Nachreife in Form einer Mietenkompostierung erfolgt. Für die Nachentgasung und Lagerung des flüssigen Gärrests sind ein Nachgärer und ein Gärrestlager vorgesehen.

Die „Aplus“-Variante zeichnet sich durch einen geplanten höheren Durchsatz der Fermentation sowie vollständige Abpressung des rohen Gärrests aus, wodurch im Vergleich zur Variante „A“ mehr als die doppelte Menge an Flüssigdünger entsteht. Daher sind große Gärrestlager mit entsprechendem Rückhaltevolumen erforderlich. Der feste Gärrest wird auch hier wieder mit Grüngut (fein) gemischt und dem Bandtrockner sowie der anschließenden Kompostierung zugeführt. Die Trocknereinheit ist in dieser Variante weniger belastet, wodurch die Flexibilität im Betrieb steigt.

### 6.2.3 KONZEPT B: TEILSTROMVERGÄRUNG

Die untersuchte Variante zur Teilstromvergärung ähnelt konzeptionell dem ebenfalls für die Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal untersuchten Ansatz. Allerdings sind am Standort Leonberg, anders als in dem zuvor beschriebenen Praxisbeispiel, für das Konzept bereits ausreichend eigene Mengen an Bio- und Grüngut sowie eine grundsätzlich geeignete Hallenkonstruktion vorhanden.

Mehr als 30.000 Mg/a Biogut (ca. 85 %) sind für die Vergärung vorgesehen. Der dabei entstehende rohe Gärrest wird anschließend mit dem restlichen Biogut, Grüngut (fein) und rückgeführtem Rottegut gemischt. Diese Mischung ist so bemessen, dass sie einen für die Kompostierung ausreichenden Trockensubstanzgehalt und eine belüftbare Dichte aufweist. Sie wird dann für knapp drei Wochen in neu zu errichtenden Rottetunneln intensiv kompostiert. Als Output liegt Fertigkompost vor, der nach seiner Konfektionierung vermarktet wird.

Die durch den Betrieb der BHKW entstehende Wärme wird neben der Fermentation auch in den Rottetunneln genutzt. Ein zusätzlicher Anteil steht noch zur Verfügung und könnte beispielsweise für die Trocknung von Landschaftspflegeholz oder Ähnlichem eingesetzt werden.

### 6.2.4 KOMBINATION MIT FLEXIBLER STROMEINSPEISUNG

Bei allen untersuchten Varianten ist die Umstellung des BHKW-Betriebs von Dauerbetrieb auf flexible Stromeinspeisung vorgesehen. Bei den Konzepten „A“ und „A<sup>plus</sup>“ entsteht durch die gasdichte Abdeckung der erforderlichen neu zu errichtenden Gärrestlager ausreichend zusätzliches Gasspeichervolumen. Allerdings wird dabei – je nach Ausführung – soviel Biogas gespeichert, dass die Grundpflichten der Störfallverordnung (12. BImSchV) greifen. Bei der Variante „B“ wird ein zusätzlicher Gasspeicher vorgesehen. In allen Varianten ist wegen der engen Verknüpfung mit den Wärmenutzungssystemen ein neu zu errichtender Wärmespeicher erforderlich.

Im Ergebnis wird die Anlage dann in allen untersuchten Varianten in der Lage sein, den Strom bedarfsgerecht zu erzeugen und so zur Stabilisierung der Netze beizutragen sowie auch höhere Erlöse aus dem Stromverkauf und aus der EEG-Förderung zu generieren.

### 6.2.5 WIRTSCHAFTLICHER VERGLEICH DER KONZEPTE

Je nach Variante werden erhebliche Investitionen in Größenordnungen von 5 bis 8 Mio. € erwartet. Mit diesen Investitionen können durch eine bessere Auslastung der Anlage und Absenkung von Betriebs- und Entsorgungskosten die Behandlungskosten der Anlage deutlich gesenkt werden.

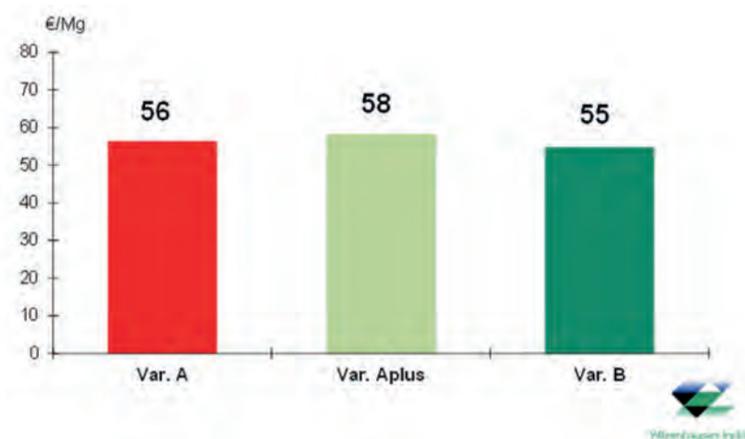


Abb. 30: Schätzung der spezifischen Behandlungskosten (netto in €/Mg Anlageninput)

### 6.2.6 GESAMTBEWERTUNG UND FAZIT

Die erwarteten Unterschiede bei den Behandlungskosten [€/Mg Anlageninput] sind gering und können

nicht als wesentliches Entscheidungskriterium dienen. Daher wurde eine Gesamtbewertung vorgenommen, die in Tab. 5 zusammengefasst ist.

Tab. 5: Bewertungsmatrix für die Optimierung der Biogutvergärungsanlage Leonberg

Kriterium	Varianten			Fazit
	A	A <sup>plus</sup>	B	
1 <b>Durchsatz Fermenter</b>	31.500 Mg/a	38.500 Mg/a	31.500 Mg/a	
2 <b>netto Stromerzeugung</b> <small>kWh/Mg (Biogut)</small>	143	189	130	deutlicher Vorteil für Variante A <sup>plus</sup>
3 <b>Wärmenutzung</b> <small>(tatsächliche)</small>	96 %	70 %	72 %	in allen Varianten gut, Optimierungspotenziale bestehen
4 <b>Betriebsicherheit Gärrestbehandlung</b>	erforderliche Verfügbarkeit vorhandener Trockner: 8.300 h/Jahr	erforderliche Verfügbarkeit vorhandener Trockner: 6.000 h/Jahr	Rotte robust, alle anderen Aggregate potenziell durch Radladerbetrieb ersetzbar	Klarer Vorteil für Var. B
5 <b>Flexibilität</b>	mittel	mittel	hoch	Vorteil für Var. B
6 <b>Gärprodukte</b>	12.500 Mg/a Kompost 7.000 m <sup>3</sup> Flüssigdünger	6.400 Mg/a Kompost 19.000 m <sup>3</sup> Flüssigdünger	11.000 Mg/a Kompost	Klärung Perspektive Flüssigdünger in der Landwirtschaft
7 <b>Flächenbedarf</b>	gut integrierbar, große Fläche für Rückhaltebecken erforderlich	gut integrierbar, sehr große Fläche für Rückhaltebecken erforderlich	gut integrierbar, Biofilter auf Rotteboxen zu errichten	geringe Unterschiede, leichte Vorteile für Var. B
8 <b>Baugrund</b>	Eignung Fläche Gärrestlager prüfen	Eignung Fläche Gärrestlager prüfen	Eignung Fläche Rotteboxen prüfen	
9 <b>Sonstige</b>	Konzept enthält auch überdachte Nachrotte	- StörfallV		
10 <b>Investition</b>	6,7 Mio. € inkl. 2,0 Mio. € Ersatz Trockner → unmittelbar: 4,7 Mio. €	7,9 Mio. € inkl. 2,0 Mio. € Ersatz Trockner → unmittelbar: 5,9 Mio. €	6,1 Mio. € → unmittelbar: 6,1 Mio. €	unmittelbar erforderliche Investitionen zwischen 4,7 und 6,1 Mio. €
11 <b>Risikobewertung</b>	hohe Verfügbarkeiten mehrerer Aggregate erforderlich, Vermarktung für Kompost und v.a. Flüssigdünger aufzubauen	Prüfung, ob erhöhter Fermenterdurchsatz machbar; Vermarktung großer Mengen Flüssigdünger und Kompost aufzubauen	alle Aggregate in der Gärrestbehandlung sind grundsätzlich auch im Radladerbetrieb darstellbar; Kompostvermarktung aufzubauen	Vermarktung flüssiger Gärreste vor dem Hintergrund der Unsicherheiten in Bezug auf DüV schwer zu bewerten; Var. B wird als robust eingeschätzt.
<b>Fazit</b>	Basierend auf den Erfahrungen ist eine ausreichende Verfügbarkeit des Trockners nicht zu erwarten.	Sofern Fermenterdurchsatz und Flüssigdünger-Vermarktung positiv geprüft, stabile Variante. Es besteht die Option, mittelfristig anstelle eines Ersatzes des Trockners die Rotteboxen zu erweitern.	Potenziell robustes Verfahren (mit weniger Energieerzeugung); Mischversuche erforderlich; bautechnische Prüfung der Integration der Tunnelrotten	

# 7. Anhang



## ÜBERSICHT ÜBER DIE ABBILDUNGEN UND TABELLEN, BILDERNACHWEIS

### ABBILDUNGEN

Abb. 1: Leitfaden „Hochwertige Verwertung von Bioabfällen“ .....	8	Abb. 16: Technische Ansätze zur Reduktion flüssiger Gärreste .....	26
Abb. 2: Bioabfälle aus privaten Haushalten: Biogut und Grüngut ...	9	Abb. 17: Beispiel für die Reduktion bzw. Vermeidung der Zugabe	27
Abb. 3: Kompost (links) und flüssiger Gärrest (rechts)	9	von Brauchwasser bei Pfpfenstromfermentern .....	27
Abb. 4: Abfallhierarchie gemäß § 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz .....	10	Abb. 18: Konzeptionelle Darstellung der Teilstromvergärung bei	28
Abb. 5: Unterschiedliche Vergärungsverfahren für Biogut und	11	Pfpfenstromanlagen .....	28
die Trockensubstanzgehalte der dabei entstehenden	11	Abb. 19: Pressschnecken zur Entwässerung von Bioabfallgärrest .....	29
Gärreste .....	11	Abb. 20: Dekanter (l), Bandfilterpresse (r) – für die weitere	30
Abb. 6: Übersicht zum Anlagenbestand zur Behandlung von Bio-	14	Entwässerung von Presswasser aus abgepresstem	30
und Grüngut in Deutschland (Stand 2012 für Kompostier-	14	Bioabfall-Gärrest .....	30
anlagen bzw. 2014 für Vergärungsanlagen) .....	14	Abb. 21: Bandtrockner für Gärreste der Bioabfallvergärungs-	32
Abb. 7: Anzahl Bioabfallvergärungsanlagen unterteilt nach	15	anlage Leonberg .....	32
Vergärungsverfahren .....	15	Abb. 22: Trommeltrockner für Gärreste .....	32
Abb. 8: Nachgeschaltete Kompostierung bei den	15	Abb. 23: Solare Trocknung (Foto W-I 2015) .....	33
Vergärungsanlagen für Bio- und Grüngut .....	15	Abb. 24: Großtechnische Anlage zur Eindampfung von Biogas-	33
Abb. 9: Vermarktungswege von RAL-gütegesichertem	16	gülle in Spanien (Foto W-I 2009) .....	33
Kompost im Jahr 2014 .....	16	Abb. 25: Biovergärungsanlage Backnang-Neuschöntal (Abfall-	38
Abb. 10: Stickstoff (N) aus Wirtschaftsdünger einschließlich	19	wirtschaftsgesellschaft des Rems-Murr-Kreises mbH) .....	38
Gärresten pflanzlicher Herkunft nach Abzug von Stall-	19	Abb. 26: TS-Gehalte von Gärrest, Fugat und Dekanterkuchen	40
und Lagerverlusten in kg pro Hektar LF (ohne Export	19	bei Dekantierversuchen mit und ohne Flockungs-	40
von Wirtschaftsdünger, ohne Geflügeldung) [3] .....	19	hilfsmittel (FHM) .....	40
Abb. 11: Überschusswasser bei der Vergärung von	19	Abb. 27: Abschätzung der erforderlichen Investitionen für die	43
Bio- und Grüngut differenziert nach Verfahrens- und	19	skizzierten Ansätze am Standort Backnang-Neuschöntal ...	43
Prozessarten bezogen auf den Materialinput [2] .....	19	Abb. 28: Erwartete Steigerung der Behandlungskosten	43
Abb. 12: Schematische Darstellung der Separation rohen	20	(Euro/Mg Input) durch unterschiedliche Ansätze zur	43
Gärrests aus der Pfpfenstromfermentation von	20	Behandlung flüssiger Gärreste am Standort Backnang-	43
Bioabfall in flüssigen und festen Gärrest .....	20	Neuschöntal .....	43
Abb. 13: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung	24	Abb. 29: Bioabfallvergärungsanlage Leonberg .....	47
mit Einfachsiebung .....	24	Abb. 30: Schätzung der spezifischen Behandlungskosten	48
Abb. 14: Beispielhafte Skizze zur Kompostkonfektionierung	25	(netto in Euro/Mg Anlageninput) .....	48
mit Mehrfachsiebung .....	25		
Abb. 15: Analysen von flüssigem Gärrest (Presswasser) aus der	25		
Entwässerung von Biogut-Gärrest mittels Schnecken-	25		
presse in zwei Linien einer Praxisanlage (grüne bzw.	25		
blaue Markierung) .....	25		

### TABELLEN

Tab. 1: Bestand an Anlagen zur Behandlung von Bio- und	14
Grüngut in Deutschland nach Durchsatzkapazitäten	14
(eigene Auswertung Witzhausen-Institut) .....	14
Tab. 2: Entscheidungsmatrix .....	36
Tab. 3: Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am	44
Standort Backnang (Teil 1) Variante 0 mit zusätzlichem	44
Gärrestlager als Benchmark .....	44
Tab. 4: Matrix zur ökologischen Bewertung der Varianten am	45
Standort Backnang (Teil 2) .....	45
Tab. 5: Bewertungsmatrix für die Optimierung der Biogut-	49
vergärungsanlage Leonberg .....	49

### BILDERNACHWEIS

Witzhausen-Institut	
für Abfall, Umwelt und Energie GmbH	
www.pixabay.de:	
Titelbild Mitte; S. 3; S. 37	
www.pixelio.de:	
S. 38 Kapitelbild oben: wobiegrafie - pixelio.de	
S. 50 Kapitelbild oben: Florian Gerlach - pixelio.de	

## 7.1 LITERATUR

[1] Kern, M. und T. Raussen (2014): Biogas Atlas 2014/15 – Anlagenhandbuch der Vergärung bio-gener Abfälle in Deutschland und Europa. Witzhausen-Institut

[2] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; (2015): Hochwertige Verwertung von Bioabfällen – Ein Leitfaden [http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/253467/hochwertige\\_verwertung\\_von\\_bioabfaellen.pdf?command=downloadContent&filename=hochwertige\\_verwertung\\_von\\_bioabfaellen.pdf](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/253467/hochwertige_verwertung_von_bioabfaellen.pdf?command=downloadContent&filename=hochwertige_verwertung_von_bioabfaellen.pdf)

[3] Osterburg, B., S. Klages und M. Schüler (2016): Auswirkungen der Novelle der Düngeverordnung auf die Kompostanwendung in der Landwirtschaft. Endbericht des Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei für ein Forschungsprojekt im Auftrag des Verbands der Humus- und Erdenwirtschaft e. V. (VHE) und der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK). Braunschweig

[4] Raussen, T. und A. Lootsma (2008): Am Ende anfangen – die Aufbereitung von Gärresten stellt für große Vergärungsanlagen einen maßgeblichen Verfahrensschritt dar. Müllmagazin (2). S. 14–20

[5] Raussen, T., W. Sprick, A. Lootsma, M. Kern und M. Blume (2016): Optionen zur Reduktion von Fremdstoffen bei Biogutvergärungen. In: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung. Stofflich – energetisch XI. Witzhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. Kassel: Klaus Wiemer, Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.). S. 203–217

[6] Raussen, T. M. Kern, A. Lootsma, G. Balthasar, M. Blume und W. Sprick (2015): Technische Ansätze zur optimierten Behandlung flüssiger Gärreste – Leitfaden Baden-Württemberg. In: Bioabfallfassung und -verwertung 2.0. Michael Kern, Thomas Raussen (Hrsg.). S. 65–78

[7] Kehres, B. (2015): Fremdstoffe im Fokus. In: H&K aktuell 12/2015, S. 4–5

[8] Kranert et al. (2016): Fremdstoffe bei der Bioabfallverwertung – Einflussgrößen, Maßnahmen und Konsequenzen für die Erfassung und Verwertung. In: K. Wiemer, M. Kern, T. Raussen (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung. Stofflich – energetisch XI. Witzhausen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis, Kassel. S. 189–197



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT