



# Leitfaden zur ökoeffizienten Verwertung von Bioabfällen

Thorsten Pitschke  
René Peche  
Dr. Dieter Tronecker  
Dr. Siegfried Kreibe

Finanziert durch



Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Gesundheit



#### Impressum

Alle Rechte (insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung) sind vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil der bifa-Texte darf in irgendeiner Form ohne Genehmigung der Herausgeber reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Herausgeber  
bifa Umweltinstitut GmbH  
Am Mittleren Moos 46  
86167 Augsburg

Verfasser  
Thorsten Pitschke  
René Peche  
Dr. Dieter Tronecker  
Dr. Siegfried Kreibe

Finanziert durch  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit

Druck  
Clicks GmbH

1. Auflage 2013  
© bifa Umweltinstitut GmbH

# Leitfaden zur ökoeffizienten Verwertung von Bioabfällen

Thorsten Pitschke  
René Peche  
Dr. Dieter Tronecker  
Dr. Siegfried Kreibe

Finanziert durch



Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Gesundheit





---

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung.....	1
2	Einleitung .....	2
3	Eckpunkte der Bio- und Grüngutentsorgung in Bayern.....	3
4	Methode Ökoeffizienzanalyse .....	5
5	Ökologische Aspekte der geschlossenen/teilgeschlossenen Kompostierung von Biogut.....	6
6	Kompostierung: Ökoeffizienz von Verbesserungsansätzen und Varianten des Betriebs .....	10
7	Ökologische Aspekte der Vergärung von Biogut.....	15
8	Vergärung: Ökoeffizienz von Verbesserungsansätzen und Varianten des Betriebs .....	20
9	Ökologische Aspekte der Mitbehandlung von Biogut als Teil des Restabfalls in MVA.....	27
10	Ökologische Aspekte der Kompostierung von Grüngut inkl. der energetischen Verwertung einer holzigen Teilmenge .....	29
11	Handlungsoptionen für Anlagenbetreiber .....	31
12	Handlungsoptionen für eine nachhaltige Bioabfallverwertung .....	32
13	Literatur .....	33

## Glossar

- **Biogut:** Inhalt einer durchschnittlichen Biotonne aus der haushaltnahen Erfassung
- **Einwohnerwerte:** Zahl der Einwohner Deutschlands, die die angegebene Umweltbelastung in einem Jahr verursachen - 1 EW ist der durchschnittliche Pro-Kopf-Beitrag eines Bundesbürgers zur gesamten Wirkungskategorie- bzw. Einzelstoffbelastung in Deutschland
- **Ökologie-Index:** Zusammenfassung aller Umweltwirkungen zu einer Kennzahl in Anlehnung an Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach einer am bifa entwickelten Methode
- **Kosten-Index:** Normierung der verfahrensspezifischen Kosten am Maximalwert der untersuchten Behandlungsverfahren
- **Terrestrische Eutrophierung:** Nährstoffeintrag in Böden in Übermaß (Überdüngung)
- **Fotochemische Oxidantienbildung:** Bodennahe Ozonbildung („Sommersmog“)
- **Treibhauseffekt:** Erwärmung der Erdatmosphäre (Klimawandel)
- **Versauerung:** Emission säurebildender Substanzen („saurer Regen“)
- **Ressourcennutzung:** Verbrauch fossiler Primärenergieträger und von Rohphosphat aus Lagerstätten

Dieser Leitfaden ermöglicht einen schnellen Zugang in die vielschichtige Thematik der umweltbezogenen und ökonomischen Bewertung von Behandlungsverfahren für Bioabfall.

Der Leitfaden richtet sich sowohl an die entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften als auch an Anlagenbetreiber. Im Fokus steht die Bewertung von Verbesserungsansätzen bzw. Varianten in der Betriebsführung bei Kompostierung und Vergärung anhand einer Ökoeffizienzanalyse. Die quantitative Übertragung der Ergebnisse auf Einzelfallbetrachtungen von Anlagen ist nur eingeschränkt möglich. Bei der Übertragung der Ergebnisse auf Einzelanlagen sind die jeweiligen Rahmenbedingungen vor Ort zu berücksichtigen.

Der Leitfaden fasst wesentliche Ergebnisse einer Studie, die bifa im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit durchgeführt hat, zusammen. Der zugehörige bifa Text Nummer 61 „Ökoeffizienzpotenziale bei der Behandlung von Bioabfällen in Bayern“ enthält eine ausführliche Dokumentation der Hintergründe und wissenschaftlichen Zusammenhänge.

# 1 Zusammenfassung

## Verwertung von Bioabfällen schafft Umweltvorteile

- Die Verfahren zur Behandlung von Bio- und Grüngutabfällen entlasten über die Bereitstellung von Energie, Nährstoffen und organischer Substanz die Umwelt.
- Aus umweltbezogener Sicht hat grundsätzlich die Verwertung getrennt erfassten Bioguts vor dessen Sammlung über die Restmülltonne und der anschließenden Entsorgung in einer thermischen Behandlungsanlage Vorrang.  
Voraussetzung dafür ist, dass die Verwertungsverfahren eine Nutzung der organischen Substanz, der Nährstoffe und – nach Maßgabe der stofflichen Eignung (insbesondere Heizwert) – des Energieinhalts gewährleisten und durch gute fachliche Praxis sowie entsprechende technische Maßnahmen luftseitige Emissionen minimiert werden. Sind diese Rahmenbedingungen nicht gegeben, dann ist der prinzipielle Vorrang der stofflichen Verwertung anhand der spezifischen Situation zu prüfen.
- Die umweltbezogenen Unterschiede zwischen geschlossener bzw. teilgeschlossener Kompostierung einerseits und Nassvergärung bzw. Vergärung im Pfropfenstromverfahren andererseits sind gering. Mit entsprechender Technik und Betriebsführung kann sowohl bei der Kompostierung als auch der Vergärung ein vergleichbar positives Umweltergebnis, d.h. eine Umweltentlastung, erreicht werden.

## Ökoeffizienzpotenziale der Verfahren

- Alle Verfahren besitzen das Potenzial, durch die Realisierung geeigneter Maßnahmen ihre Umweltwirkungen zu verbessern. Aus Sicht der umweltbezogenen Bewertung sind daher die Grenzen zwischen den jeweiligen Verwertungswegen fließend.
- Eine Steigerung der Umweltentlastung ist bei den Kompostierungsverfahren prozesseitig hauptsächlich durch eine gute fachliche Praxis und eine optimierte Betriebsführung der Rotte sowie produktseitig durch den Ausbau des Einsatzes organischer Substanz aus Kompost zur Torfsubstitution zu erreichen.
- Bei den Vergärungsverfahren kann die Umweltentlastung primär durch die Etablierung technischer Lösungen zur Emissionsreduzierung sowie den Ausbau der Stromerzeugung und ökologisch sinnvoller Wärmenutzung bzw. -abgabe gesteigert werden.

## Stoffstromlenkung und Verwertung in Kaskaden verbinden energetischen und stofflichen Nutzen

- Entscheidend für eine ökoeffiziente Verwertung ist, dass eine Kombination von stofflicher und energetischer Verwertung realisiert wird. Dies kann erfolgen durch:
  - Stoffstromlenkung so, dass Bioabfälle entsprechend ihrer aeroben bzw. anaeroben Abbaubarkeit jeweils dem optimalen Behandlungsverfahren zur ökoeffizienten Nutzung energetischer und stofflicher Potenziale verfügbar gemacht werden.
  - Kaskadennutzung durch die Kombination von anaerobem Abbau zur Erzeugung von Biogas und nachgeschaltetem aeroben Abbau der festen Gärprodukte zu Komposten für die stoffliche Nutzung wertgebender Inhaltstoffe.

## 2 Einleitung

### Getrennterfassung von Bioabfällen nach Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)

- Im Mittelpunkt des umweltpolitischen Interesses stehen die regenerative Energiegewinnung, die Verminderung der Treibhausgasemissionen und die Verbesserung der Kreislaufwirtschaft von Wertstoffen, zu denen auch Bioabfälle zählen (Ressourceneffizienz).
- Nach § 11 KrWG besteht die im Grundsatz verbindliche Pflicht der getrennten Erfassung von Bioabfällen in den Städten und Landkreisen bis spätestens 2015. Diese Pflicht steht unter dem Vorbehalt der technischen Machbarkeit und der wirtschaftlichen Zumutbarkeit.
- Bioabfälle im Sinne des § 11 KrWG sind insbesondere der Inhalt der Biotonne (Biogut) und getrennt erfasste Gartenabfälle (Grüngut).

### Gestaltung der regionalen Entsorgungsstrukturen mit Blick auf ökologische und wirtschaftliche Wirkungen

- Es gibt zahlreiche technische Verfahrensalternativen und Möglichkeiten zur Gestaltung der Erfassungssysteme. Die Entsorgungsangebote für Bioabfälle in den Städten und Landkreisen sind daher auf sehr unterschiedliche Weise gestaltet.
- Es bestehen teils erhebliche Potenziale, die Verfahren von der Erfassung der Abfälle bis hin zur Ausbringung von Komposten und Gärprodukten weiter zu verbessern.
- Die Identifizierung und Nutzung dieser Ökoeffizienzreserven im Zusammenspiel stofflicher und energetischer Verwertung kann dabei einen wichtigen Beitrag zur weiteren Verbesserung der Ökoeffizienz der gesamten Abfallwirtschaft leisten.



Inhalt einer Biotonne (FBK e.V.)



Getrennt erfasste Gartenabfälle (FBK e.V.)



## 3 Eckpunkte der Bio- und Grüngutentsorgung in Bayern

### 3.1 Erfassung und Aufkommen

#### Ausgestaltung der Erfassungssysteme

- Die Ausgestaltung der Erfassung von Bio- und Grüngut obliegt den entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften.
- Biogut, getrennt erfasst über die Biotonne im Hohlsystem, enthält hauptsächlich organische Küchen- und Gartenabfälle aus Haushaltungen.
- Grüngut wird in Bayern in großem Umfang im Bringsystem erfasst, wobei Wertstoffhöfe oder Sammelplätze genutzt werden.

#### Biogut-Aufkommen in Bayern

- Im Jahr 2011 wurde bereits in 80 von 96 Städten und Landkreisen Bayerns Biogut getrennt erfasst. Ca. 9,5 Mio. bzw. 76% der Einwohner Bayerns sind so an die getrennte Bioguterfassung angeschlossen [LfU 2012].
- Insgesamt wurden im Jahr 2011 in Bayern ca. 646.000 t Biogut aus Haushalten erfasst. Damit beträgt die Biogutmenge pro angeschlossenem Einwohner und Jahr im Durchschnitt 69,5 kg. Bezogen auf alle Einwohner Bayerns beträgt die erfasste Biogutmenge ca. 51,4 kg [LfU 2012].

#### Grüngut-Aufkommen in Bayern

- Im Jahr 2011 wurden in Bayern 1,14 Mio. t Grüngut erfasst. Davon entfielen 83% auf Grüngut aus Hausgärten. 17% der Grüngutmenge stammten aus der kommunalen Grünflächenpflege.
- Die pro Einwohner und Jahr erfasste Grüngutmenge lag 2011 bei 90,4 kg.



Grüngut-Sammelplatz (FBK e.V.)



Offene Kompostierungsanlage für Grüngut (FBK e.V.)

## 3.2 Verfahrens- und Verfahrenswege

### Verteilung der stofflichen und energetischen Verwertung

- Im Jahr 2011 erfassten die entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften Bayerns aus Haushalten, Gewerbe und kommunaler Grünflächenpflege ca. 1,85 Mio. t Bioabfälle.
- Davon wurden 2,4% direkt einer energetischen Nutzung in Biomasseheizkraftwerken zugeführt und 7,2% als Häckselgut direkt in der Landwirtschaft verwertet.
- Ca. 1,68 Mio. t Bioabfälle wurden in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen verwertet.
- Zur Verarbeitung der Bioabfälle wurden 323 Kompostierungs- und Vergärungsanlagen von den entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften genutzt.

### Anlagen zur Kompostierung und Vergärung von Biogut

- 2011 wurden in 83 Biogutbehandlungsanlagen Biogut und Gemische von Bio- und Grüngut verwertet. Nahezu die Hälfte des Bioguts wurde dabei der Vergärung zugeführt.

### Anlagen zur Kompostierung und Vergärung von Grüngut

- 2011 wurde in 240 Behandlungsanlagen Grüngut verwertet. Von der biologisch behandelten Grüngut-Gesamtmenge gingen ca. 99% der Kompostierung und ca. 1% der Vergärung zu.



Fermenteranlage einer zweistufigen Nassvergärung für Biogut und Speisereste (BIO-Energie Schwaben GmbH)



Pfropfenstromreaktor einer kontinuierlichen trockenen Vergärungsanlage für Biogut (AWG Donau-Wald mbH)

## 4 Methode Ökoeffizienzanalyse

### Hintergrund

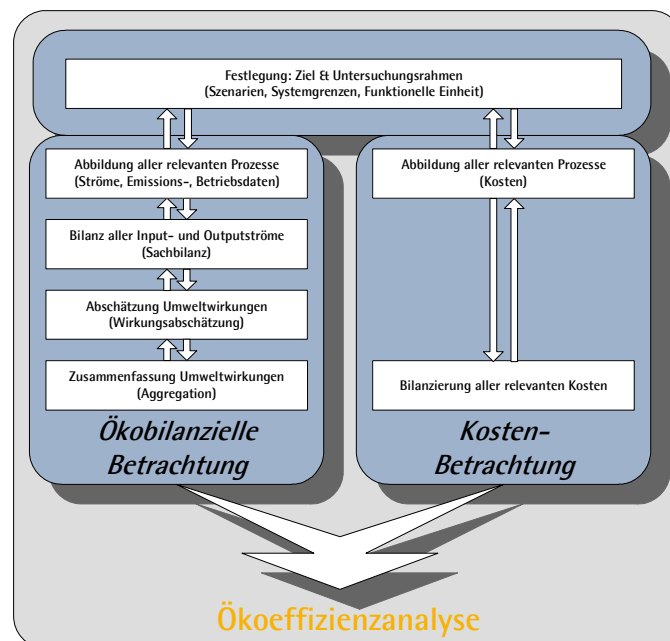
- Mit einer Ökoeffizienzanalyse werden sowohl ökologische Daten als auch Kostenfaktoren untersucht und im Zusammenhang bewertet.
- So können Entscheidungsgrundlagen für den Vergleich alternativer Verfahren bereitgestellt werden.
- Dafür wird eine am bifa entwickelte Methode eingesetzt, in der die Umwelt- und Kosteneffekte berechnet, gewichtet, zusammengeführt und schließlich in einer Ökoeffizienzanalyse gegenübergestellt werden.

### Teil 1 der Ökoeffizienzanalyse: Ökobilanzielle Betrachtung

- Eine Ökobilanz ist eine Methode zur Erfassung und Auswertung der Umweltwirkungen von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen.
- Dabei werden sowohl der Abbau und die Förderung von Rohstoffen als auch Stoff- und Energieeinträge in die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden berücksichtigt.

### Teil 2 der Ökoeffizienzanalyse: Kostenbetrachtung

- Die Kostenbetrachtung erfolgt aus betriebswirtschaftlicher Sicht der Kommunen. Bezogen auf die Abfallentsorgung werden die Behandlungskosten für die untersuchten Verfahren angesetzt.
- Behandlungskosten sind die Aufwendungen, die den Städten und Landkreisen netto bei der externen Beauftragung der Behandlungsleistung entstehen.



Schritte zur gemeinsamen Betrachtung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen im Rahmen der Ökoeffizienzanalyse

## 5 Ökologische Aspekte der geschlossenen/teilgeschlossenen Kompostierung von Biogut

### Umweltbelastungen aus der Emission von Luftschadstoffen

- Bei der Kompostierung werden neben Kohlendioxid auch Methan, Ammoniak und Lachgas freigesetzt, allerdings in geringerem Umfang als bei der Vergärung.
- Die Emissionen stammen vor allem aus
  - der Hygienisierung in der Haupt-/Intensivrotte,
  - der Stabilisierung in der Nachrotte sowie
  - der Ausbringung der stofflichen Produkte Frisch- und Fertigungskompost.
- Die aus Biogut entstehenden Kohlendioxidemissionen werden als klimaneutral angesehen und haben damit keine Bedeutung für die ökologischen Wirkungen.

### Energetische Umwelt-Gutschriften aus der Verwertung einer heizwertreichen Teilmenge

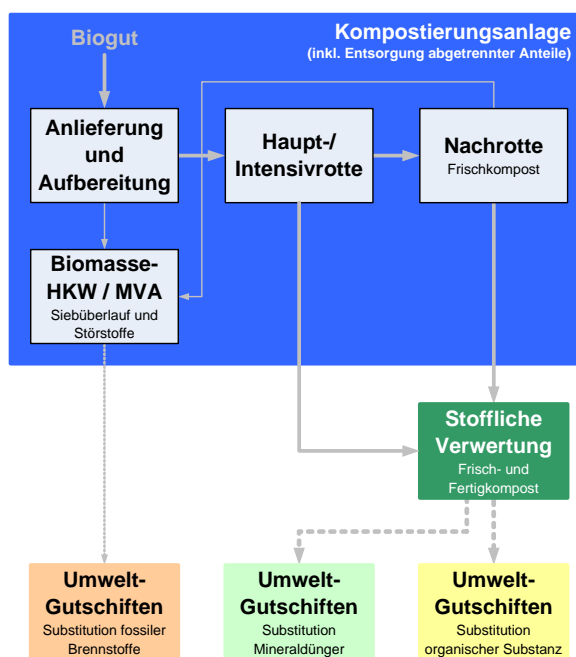
- Bei der heizwertreichen Teilmenge handelt es sich überwiegend um Siebüberläufe, die bei der Konfektionierung (Feinaufbereitung) der Produkte anfallen. Im Mittel werden etwa 10% vom Materialinput zur energetischen Verwertung in Biomasseheizkraftwerken abgetrennt.
- Durch die daraus im Biomasseheizkraftwerk erzeugten Strom- und Wärmemengen werden Emissionen vermieden, die mit der Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern verbunden wären.

### Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen Verwertung der Komposte

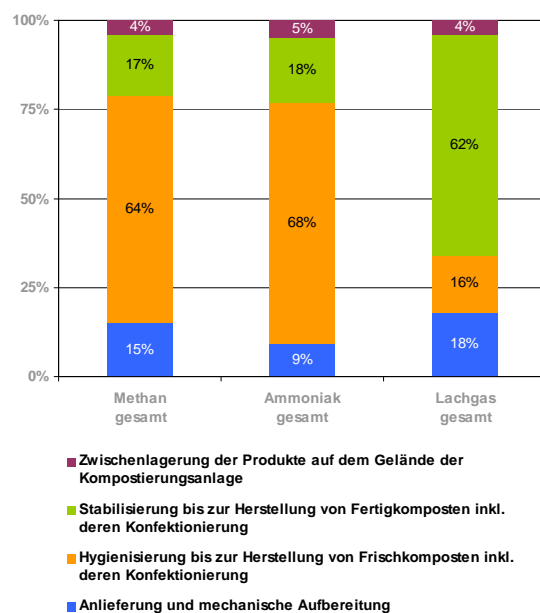
- Bei der Kompostierung von Grüngut wird in der Haupt-/Intensivrotte Frischkompost und in der Nachrotte Fertigungskompost erzeugt. Beide Komposte unterscheiden sich im Stabilisierungsgrad.
- Frischkomposte werden zu ca. 95% in der Landwirtschaft und Fertigungskomposte zu ca. 49% in Erdenwerken und zu ca. 20% ebenfalls in der Landwirtschaft verwertet. Weitere Vermarktungswege sind der Hobbygartenbau, der Erwerbsgartenbau sowie der Garten- und Landschaftsbau [Kehres 2011].
- Die Komposte liefern mineralische Nährstoffe sowie organische Substanz zur Versorgung der Böden. Dies trägt zur Verbesserung der Bodenqualität bei (z.B. Erosionsschutz, Wasserhaushalt).
- Die Nährstoffe ersetzen Mineraldünger aus Primärrohstoffen und vermeiden so mit deren Herstellung verbundene Emissionen. Zudem wird die endliche mineralische Ressource Phosphor geschont.
- Die organische Substanz dient zur Reproduktion von Humus sowie zur Speicherung von Kohlenstoff. Darüber hinaus werden Komposte als Torfersatz, z.B. in Erdenwerken, eingesetzt.

## Ökologische Bewertung

- Die geschlossene/teilgeschlossene Kompostierung ist insgesamt mit einer Umweltentlastung verbunden.
- Die Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen Verwertung der Produkte sowie der energetischen Verwertung abgetrennter Teilmengen überwiegen die Belastungen aus den Emissionen.
- Neben den Emissionen durch die Kompostierung selbst müssen auch die Emissionen, die beim Ausbringen der Komposte auf landwirtschaftliche Flächen entstehen, berücksichtigt werden.
- Trotz des niedrigen Emissionsniveaus der Kompostierung bestehen aus umweltbezogener Sicht noch Ansätze zur Verbesserung.



Stoffflussmodell für die Kompostierung von Biogut



Aufteilung der wichtigsten prozessbedingten Emissionen auf die Bereiche einer Kompostierungsanlage (Cuhls 2012)

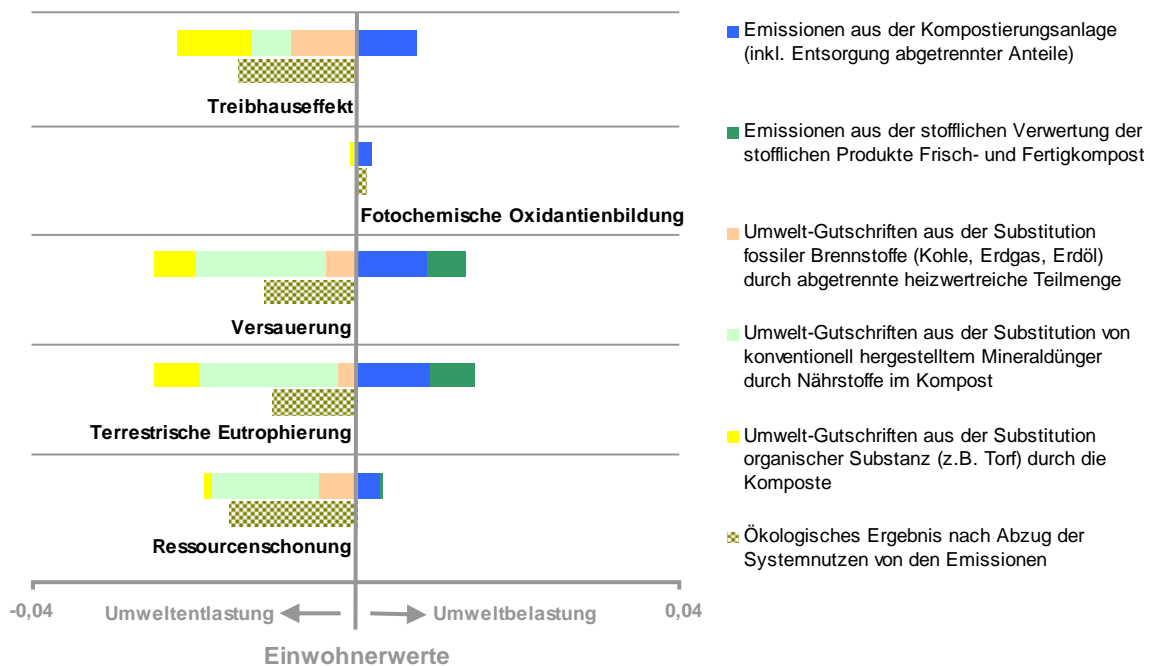
## 5.1 Umweltwirkungen der geschlossenen Kompostierung

### Merkmale des Betriebs

- Vollständig geschlossene Haupt-/Intensivrotte und Nachrotte.
- Vollständige Erfassung der entstehenden Abluft und Reinigung über Biofilter.

### Umweltbezogene Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Fast drei Viertel der Umweltbelastungen resultieren aus dem Kompostierungsprozess und hier überwiegend aus der Haupt-/Intensivrotte sowie der Nachrotte.
- Darüber hinaus stammen Umweltbelastungen vor allem von der stofflichen Verwertung der Frisch- und Fertigkomposte.
- Mehr als die Hälfte aller Umwelt-Gutschriften sind auf die Substitution von Nährstoffen, wie z.B. Phosphor und Stickstoff, zurückzuführen.
- Auf die Substitution fossiler Energieträger und organischer Substanz entfallen, ungefähr jeweils zur Hälfte, die restlichen Umwelt-Gutschriften.
- Im ökologischen Gesamtergebnis trägt die geschlossene Kompostierung von Biogut in nahezu allen Wirkungskategorien zu einer Umweltentlastung bei.



Umweltwirkungen der geschlossenen Kompostierung von 1 t Biogut

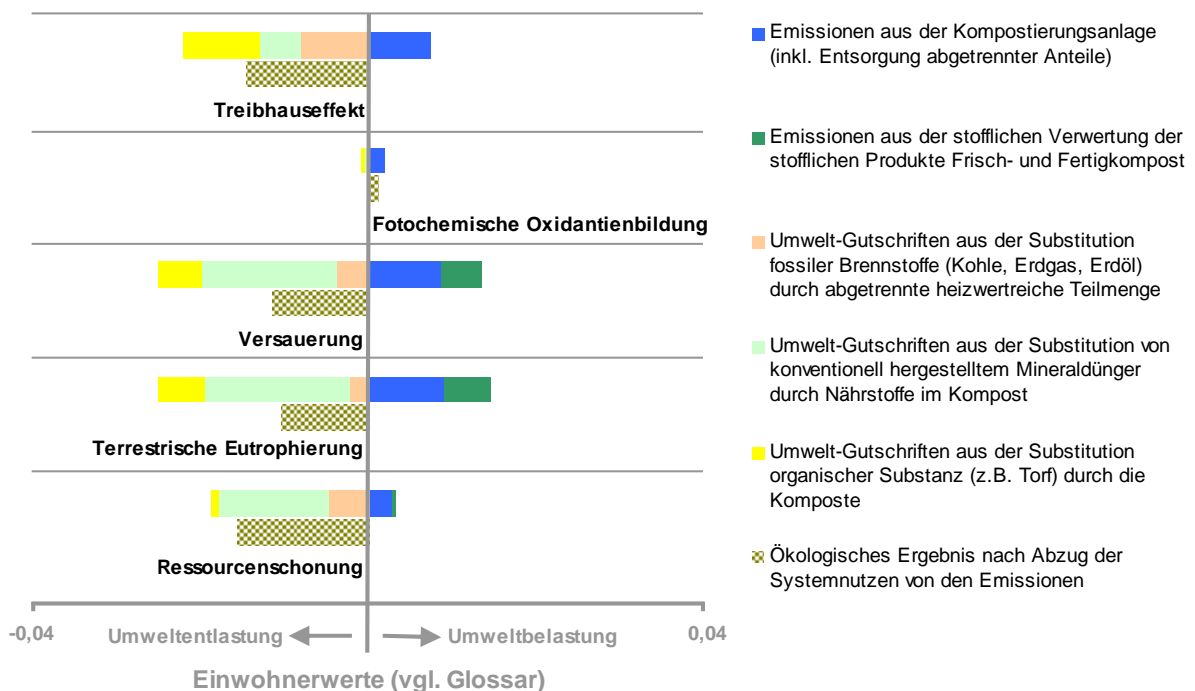
## 5.2 Umweltwirkungen der teilgeschlossenen Kompostierung

### Merkmale des Betriebs

- Geschlossene Haupt-/Intensivrotte mit Erfassung der entstehenden Abluft und Reinigung über Biofilter.
- Offene bzw. überdachte Nachrotte ohne Abluftefassung und -behandlung.

### Umweltbezogene Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Ungefähr 70% der Umweltbelastungen resultieren aus dem Kompostierungsprozess und hier überwiegend aus der Haupt-/Intensivrotte sowie der Nachrotte.
- Darüber hinaus stammen Umweltbelastungen vor allem von der stofflichen Verwertung der Frisch- und Fertigkomposte.
- Mehr als die Hälfte aller Umwelt-Gutschriften sind auf die Substitution von Nährstoffen, wie z.B. Phosphor und Stickstoff, zurückzuführen.
- Auf die Substitution fossiler Energieträger und organischer Substanz entfallen, ungefähr jeweils zur Hälfte, die restlichen Umwelt-Gutschriften.
- Im ökologischen Gesamtergebnis trägt die teilgeschlossene Kompostierung von Biogut in nahezu allen Wirkungskategorien zu einer Umweltentlastung bei.



Umweltwirkungen der teilgeschlossenen Kompostierung von 1 t Biogut

## 6 Kompostierung: Ökoeffizienz von Verbesserungsansätzen und Varianten des Betriebs

### 6.1 Optimierung Materialinput und optimierte Betriebsführung Rotte

#### Hintergrund

- Der größte Teil der Emissionen (hauptsächlich Methan, Lachgas und Ammoniak) stammen aus der Haupt-/Intensivrotte sowie der Nachrotte der Kompostierungsanlagen.
- Diese Emissionen können durch gute fachliche Praxis bei der Herstellung des Rotteausgangsmaterials sowie durch technische Maßnahmen gemindert werden.

#### Maßnahmen

- Unverzögliche Verarbeitung des Biogutes nach Anlieferung.
- Einstellung eines günstigen C/N-Verhältnisses, optimalen Wassergehalts sowie ausreichendem Strukturmaterialanteil für ein günstiges Luftporenvolumen.
- Realisierung der technischen Maßnahmen für eine optimierte Betriebsführung der Rotte. Dazu gehören unter anderem
  - Aufrechterhaltung eines ausreichenden Luftporenvolumens bzw. einer ausreichenden Strukturstabilität des Rottekörpers,
  - Aufrechterhaltung einer guten Luftdurchlässigkeit bei geringer Vernässung,
  - Minderung der Emissionen (u.a. Vermeidung des Aufsichtens zu großer Rottekörper, aktive Belüftung, Steuerung der Rottetemperaturen) und
  - optimierte Umsetz-Intervalle für die Kompostmieten.

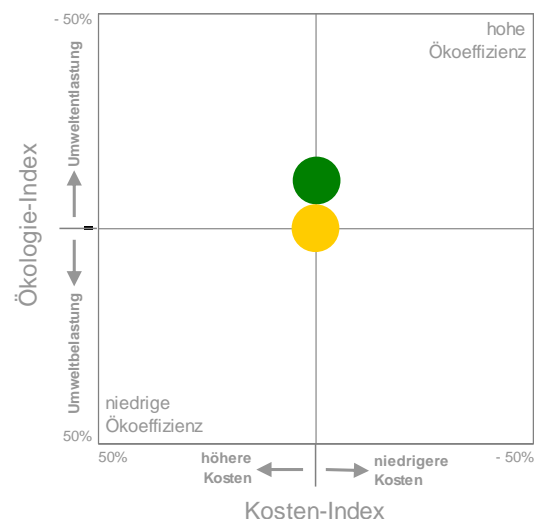
#### Umweltwirkung der Maßnahmen

- Reduktion der Emissionen aus Haupt-/Intensivrotte und Nachrotte an Ammoniak bis 70%, an Methan bis 40% sowie an Lachgas bis 10%.

#### Kostenwirkung der Maßnahmen

- Die beschriebenen Maßnahmen können im Wesentlichen im Rahmen von betrieblichen Aufwendungen, die einen Betrieb nach guter fachlicher Praxis widerspiegeln, realisiert werden.

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung und führt nicht zwangsläufig zu höheren Behandlungskosten.**



- Kompostierung im durchschnittlichen Betrieb
- Kompostierung mit Optimierung des Materialinputs und optimierter Betriebsführung Rotte

Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb



## 6.2 Erhöhung der heizwertreichen Teilmenge zur thermischen Verwertung

### Hintergrund

- Die mit dem Siebüberlauf abgetrennte heizwertreiche Teilmenge zur energetischen Verwertung in Biomasseheizkraftwerken beträgt im Mittel etwa 10% des Materialinputs.
- Der Gesamt-Anteil Strukturmaterial am Materialinput ist deutlich größer, so dass - unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankung - mehr heizwertreiche Anteile abgetrennt werden können.
- Bei der Erhöhung der Abtrennquote muss aber immer sichergestellt sein, dass die Rottekörper weiterhin ausreichend Strukturanteile enthalten.

### Maßnahme

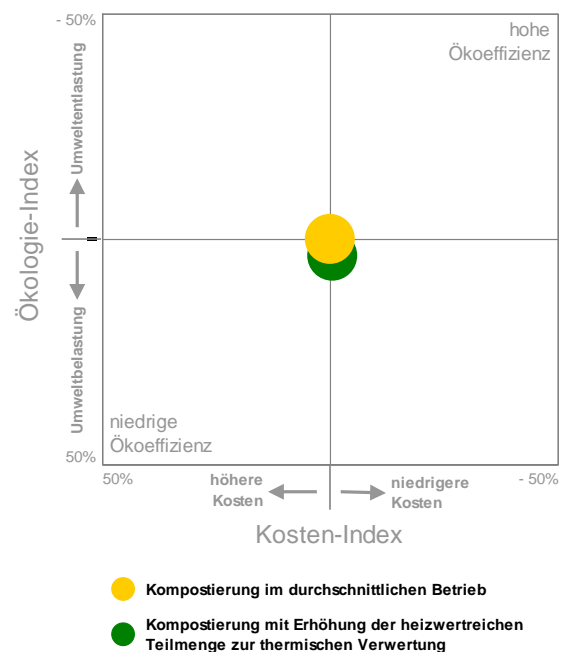
- Die abgetrennte heizwertreiche Teilmenge wird mit Strukturmaterial auf 15% des Materialinputs gesteigert. Dadurch erfolgt allerdings eine Reduzierung des Heizwertes dieser Teilmenge um 1 MJ/kg, da eine Intensivierung der Abtrennung von Strukturmaterial in der Rohmaterialannahme vermutlich mit der Zunahme an mitgerissenen Störstoffen sowie einer höheren Feuchte verbunden ist.

### Umweltwirkung der Maßnahme

- Steigerung der im Biomasseheizkraftwerk erzeugten Strom- und Wärmemenge um ca. 15%. Im gleichen Maß steigen die Umwelt-Gutschriften aus der Substitution der Strom- und Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern.
- Reduzierung der Menge an Kompost um ca. 7% als Folge der geringeren Strukturmaterialmenge. Im gleichen Maß sinken die Umwelt-Gutschriften aus der Substitution von Wirtschafts- und Mineraldünger aus Primärrohstoffen sowie von natürlicher organischer Substanz.
- Leicht höhere  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus der Verbrennung.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Höheren Einnahmen aus dem Verkauf der heizwertreichen Teilmenge stehen verringerte Einnahmen aus der Vermarktung der Komposte gegenüber.



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

**Fazit:** Verringert die Umweltentlastung geringfügig und führt zu etwas niedrigeren Behandlungskosten.

## 6.3 Ausbau des Einsatzes organischer Substanz aus Kompost zur Torfsubstitution

### Hintergrund

- Aus ökologischen Gründen und Gründen des Ressourcenschutzes sollte der Abbau sowie die Verarbeitung von Torf in Substraten reduziert werden.
- Untersuchungen zeigen, dass die Substitution von Torf durch Kompost in einem erheblichen Umfang möglich ist.

### Maßnahme

- Abgabe des erzeugten Fertigkomposts ausschließlich an Erdenwerke zur Substitution von Torf in Substraten. Die anderen Vermarktungswege (z.B. landwirtschaftliche Verwertung) werden nicht berücksichtigt.

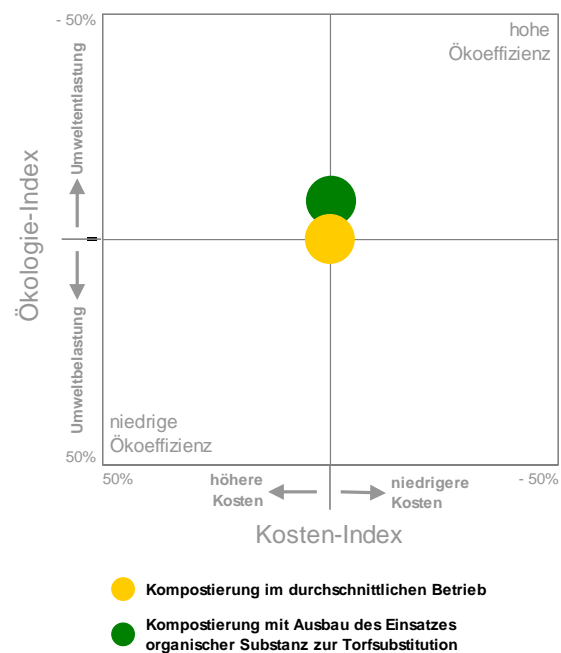
### Umweltwirkung der Maßnahme

- Verdopplung der in Hobby- und Erwerbsgartenbau verwerteten Kompostmenge zulasten der anderen Verwertungswege (hauptsächlich landwirtschaftliche Verwertung).
- Je nach Verwertungsweg steigen bzw. sinken die Umwelt-Gutschriften aus der Substitution von Wirtschafts- und Mineraldünger aus Primärrohstoffen sowie von natürlicher organischer Substanz im gleichen Maß.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Höheren Einnahmen aus dem Verkauf von Kompost in Erdenwerke stehen verringerte Einnahmen aus dem Verkauf von Kompost in die Landwirtschaft gegenüber.
- Höhere Behandlungskosten möglich, da eine weitergehende Abtrennung von Fremdstoffen erforderlich.

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung und führt nicht zwangsläufig zu höheren Behandlungskosten.**



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 6.4 Weitergehende Kompostverarbeitung am Anlagenstandort

### Hintergrund

- Die Herstellung von Pflanzensubstraten erfolgt in der Regel in Erdenwerken.
- Nischenprodukte und Spezialsubstrate bzw. Spezialerdenmischungen auf der Basis von Fertigkompost können in geringem Umfang auch von Betreibern der Kompostierungsanlage erzeugt und im Eigenvertrieb vermarktet werden.
- Damit erhöht sich die Flexibilität bei der Produktvermarktung für die Betreiber der Kompostierungsanlagen.

### Maßnahme

- 10% des Fertigkompostes, der bisher für die Weiterverarbeitung in Erdenwerken eingesetzt wurde, wird zur Herstellung eigener Substrate und Erden abgezweigt.
- Die so erzeugte Menge Spezialsubstrat beläuft sich auf ca. 32 kg/t Biogut.

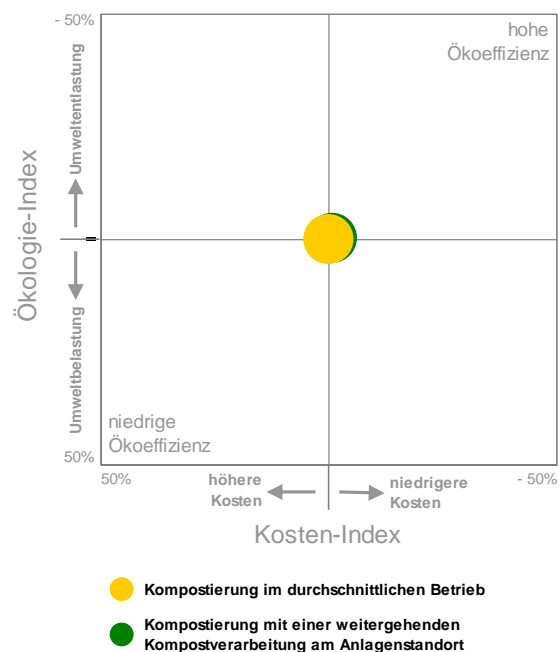
### Umweltwirkung der Maßnahme

- Vermeidung des Transports des Fertigkomposts zu Erdenwerken. Die mittlere Transportentfernung wird mit 60 km angenommen.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Höheren Einnahmen aus dem Verkauf des Spezialsubstrats (Annahme: 18 €/t) stehen verringerte Einnahmen aus dem Verkauf von Kompost in Erdenwerke gegenüber.

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung geringfügig und reduziert die Behandlungskosten unwesentlich.**



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 6.5 Ausbau der Erzeugung von Frischkompost

### Hintergrund

- Aus betriebswirtschaftlichen Gründen kann es für Betreiber von Kompostierungsanlagen sinnvoll sein, vermehrt Frischkompost zur landwirtschaftlichen Verwertung zu vermarkten.
- Die Möglichkeit einer zeitnahen Abgabe an Landwirte ist allerdings durch die biologischen Vorgänge in der Haupt-/Intensivrotte limitiert und hängt von der Vermarktungssituation vor Ort (z.B. jahreszeitlich unterschiedlicher Bedarf) und dem verfügbaren Platz zur Nachkompostierung ab.
- Zudem sollte die abzugebende Frischkompostmenge so bemessen sein, dass die Entsorgungssicherheit auch bei Engpässen potenzieller Abnehmer gewährleistet ist und dass mögliche erhöhte Geruchsemissionen bei der Zwischenlagerung und Ausbringung weitgehend vermieden werden.

### Maßnahme

- Ausbau des Anteils Frischkompost an der erzeugten Gesamt-Kompostmenge auf 50%. Es wird davon ausgegangen, dass die Abnahme durch Landwirte gesichert ist.

### Umweltwirkung der Maßnahme

- Die reduzierte Erzeugungsmenge Fertigkompost ist näherungsweise mit ca. 5% niedrigeren Methan- und Ammoniak-Emissionen sowie fast 20% niedrigeren Lachgas-Emissionen in der Nachrotte verbunden.
- Dafür entstehen etwas höhere Emissionen bei der landwirtschaftlichen Ausbringung von Frischkompost.
- Die vermehrte landwirtschaftliche Verwertung von Frischkompost ist mit höheren Gutschriften an Nährstoffen verbunden, wogegen die niedrigere Menge Fertigkompost in Erdenwerken zu geringeren Gutschriften an organischer Substanz führt.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Höheren Einnahmen aus dem Verkauf von Kompost in die Landwirtschaft stehen verringerte Einnahmen aus dem Verkauf von Kompost in Erdenwerke gegenüber.



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

**Fazit:** Hat keinen relevanten Einfluss auf die Umweltentlastung und führt zu keiner nennenswerten Änderung der Behandlungskosten.

## 7 Ökologische Aspekte der Vergärung von Biogut

### Umweltbelastungen aus der Emission von Luftschadstoffen

- Bei der Vergärung werden in erheblichen Umfang vor allem Methan, Ammoniak und Lachgas freigesetzt.
- Die Emissionen stammen vor allem aus
  - der offenen Lagerung der flüssigen Gärprodukte sowie
  - dem nach der Vergärungsstufe unvermeidbaren Milieuwechsel von einer anaeroben in eine aerobe Phase (Aerobisierung).
- Der Einsatz von Biofiltern mindert die Ammoniak-Emissionen drastisch, bewirkt allerdings kaum Emissionsreduktionen bei Methan und Lachgas bzw. kann zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen führen.

### Energetische Umwelt-Gutschriften aus der Biogasnutzung

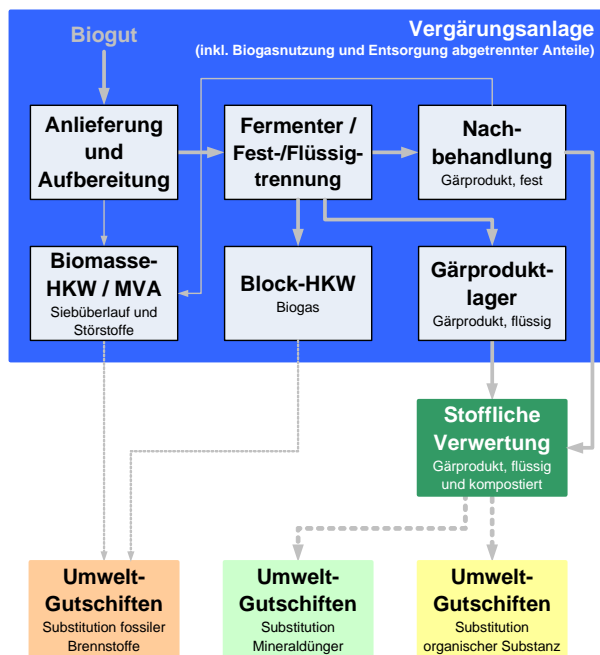
- In der Regel wird das erzeugte Biogas am Standort zur Gewinnung von Strom und Wärme eingesetzt.
- Dadurch werden Emissionen vermieden, die mit der konventionellen Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern verbunden wären.
- An vielen Standorten kann die erzeugte Wärme allerdings nicht oder nur unzureichend extern genutzt werden, da Wärmeabnehmer fehlen oder zu weit entfernt sind.

### Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen Verwertung der Gärprodukte

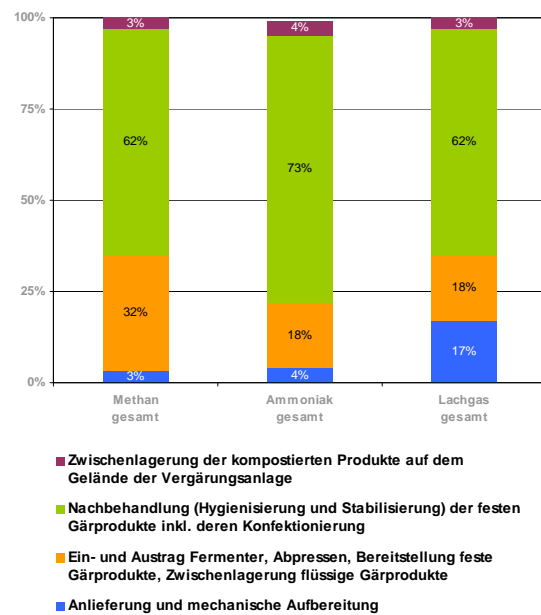
- Der Fermenter-Output wird in der Regel in ein festes Gärprodukt und ein flüssiges Gärprodukt getrennt.
- Die flüssigen Gärprodukte werden vollständig in der Landwirtschaft und die kompostierten Gärprodukte zu ca. 49% in Erdenwerken und zu ca. 20% ebenfalls in der Landwirtschaft verwertet. Weitere Vermarktungswege für die kompostierten Gärprodukte sind der Hobbygartenbau, der Erwerbsgartenbau sowie der Garten- und Landschaftsbau [Kehres 2011].
- Damit liefern sie Nährstoffe und organische Substanz zur Versorgung der Böden. Dies trägt zur Verbesserung der Bodenqualität bei (Erosionsschutz, Wasserhaushalt).
- Die Nährstoffe ersetzen Mineraldünger aus Primärrohstoffen und vermeiden so mit deren Herstellung verbundene Emissionen. Zudem wird die endliche mineralische Ressource Phosphor geschont.
- Die organische Substanz dient zur Reproduktion von Humus sowie zur Speicherung von Kohlenstoff. Darüber hinaus werden kompostierte Gärprodukte als Torfersatz, z.B. in Erdenwerken, eingesetzt.

## Ökologische Bewertung

- Die Vergärung ist insgesamt mit einer Umweltentlastung verbunden.
- Die Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen und energetischen Verwertung der Produkte überwiegen die Belastungen aus den Emissionen.
- Neben den Emissionen durch die Vergärung selbst müssen auch die Emissionen, die beim Ausbringen der Gärprodukte auf landwirtschaftliche Flächen entstehen, berücksichtigt werden.
- Es besteht eine Vielzahl von Ansätzen, die Vergärung aus umweltbezogener Sicht zu verbessern.



Stoffflussmodell für die Vergärung von Biogut



Aufteilung der wichtigsten prozessbedingten Emissionen auf die Bereiche einer Vergärungsanlage (Cuhls 2012)

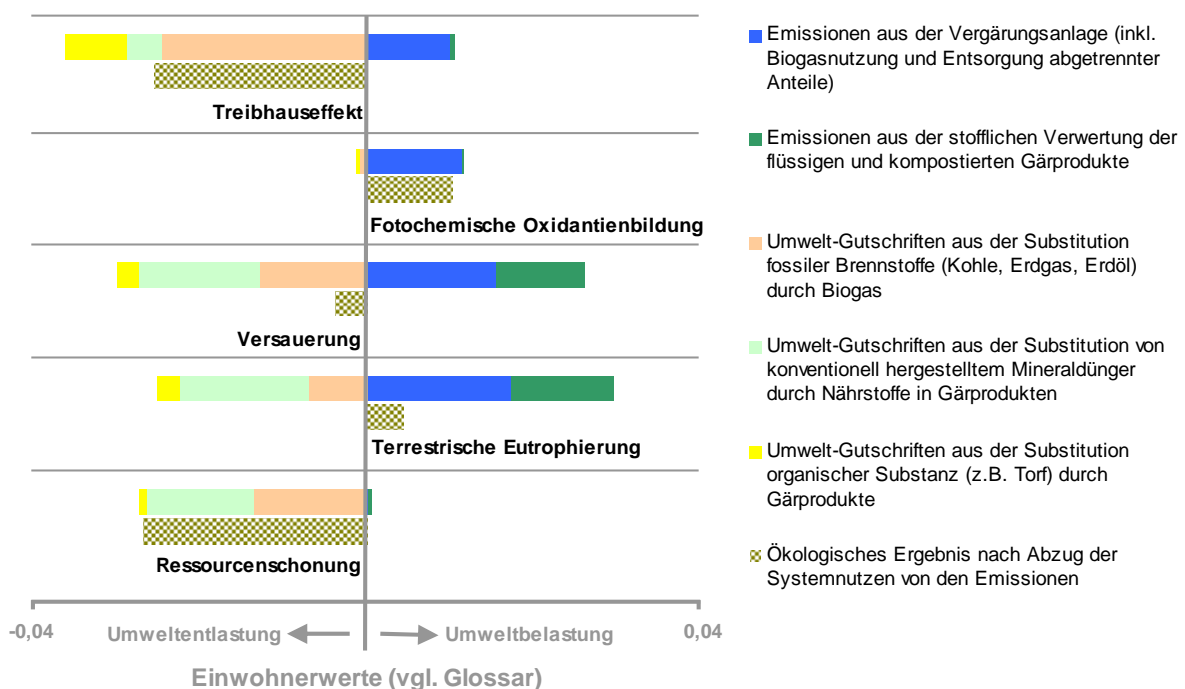
## 7.1 Umweltwirkungen der Vergärung im Propfenstromverfahren

### Merkmale des Betriebs

- Kontinuierlicher trockener Vergärungsprozess für Trockensubstanz-Gehalte im Biogut von 20% bis 30%. Keine Probleme mit strukturhaltigen Materialien.
- Der Fermentationsbetrieb ist in der Regel thermophil, häufig mit anschließender Fest-/Flüssigtrennung.
- Niedrige Massenflüsse (aufgrund geringer Wassergehalte) bedingen niedrigen Strom- und Wärmebedarf sowie kleinere Reaktorvolumina.
- Die zu erwartende Biogasausbeute pro t Biogut beträgt ca. 100 bis > 130 Nm<sup>3</sup> [Kern 2010].

### Umweltbezogene Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Über 60% der Umweltbelastungen resultieren aus den Emissionen beim Handling der Gärprodukte am Anlagenstandort. Weitere Umweltbelastungen stammen vor allem aus der Ausbringung der flüssigen Gärprodukte.
- Die Umwelt-Gutschriften resultieren vor allem aus der Substitution fossiler Brennstoffe durch Biogas sowie der Substitution von Mineraldünger aus Primärrohstoffen durch die Nährstoffe in den Gärprodukten.
- Im ökologischen Gesamtergebnis trägt die Vergärung im Propfenstromverfahren insgesamt zu einer Umweltentlastung bei.



Umweltwirkungen der Vergärung von 1 t Biogut im Pfpfenstromverfahren

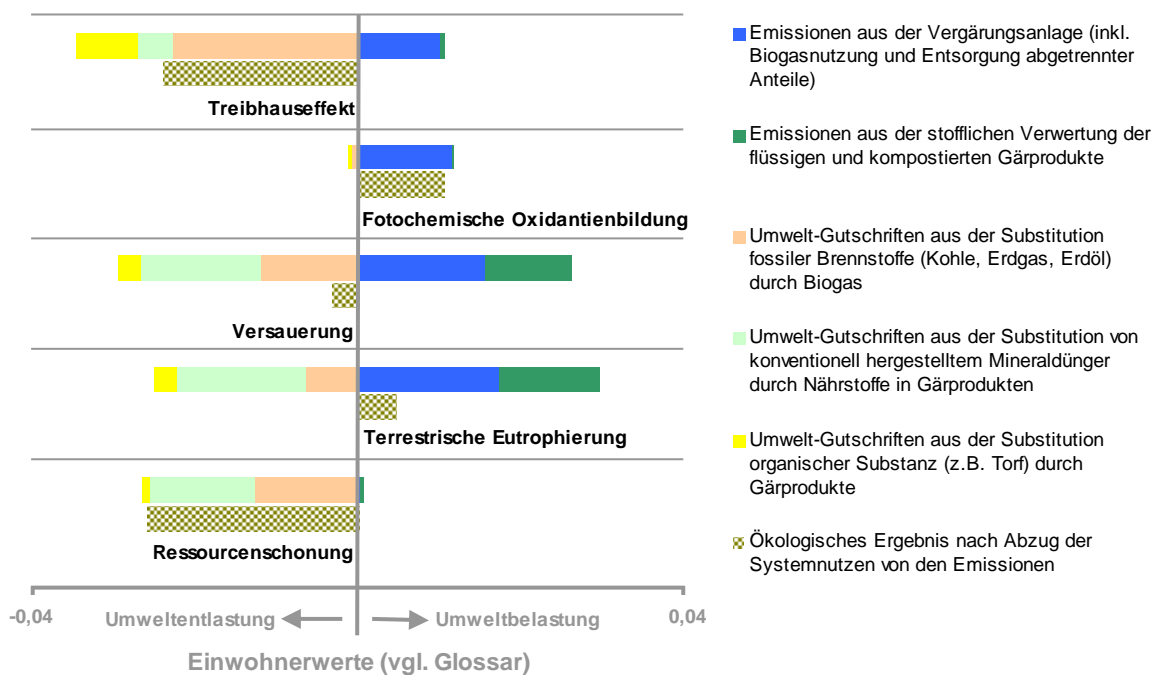
## 7.2 Umweltwirkungen der Nassvergärung

### Merkmale des Betriebs

- Kontinuierlicher nasser Vergärungsprozess für Trockensubstanz-Gehalte im Biogut kleiner 15%.
- Die Materialaufbereitung erfolgt im Pulper mit angeschlossener Störstoffabscheidung über Schwimm-Sink-Trennung.
- Der Fermentationsbetrieb mit geringen Verweilzeiten ist in der Regel mesophil (eine zusätzliche Hygienisierung ist erforderlich), überwiegend mit anschließender Fest-/Flüssigtrennung.
- Große Massenflüsse (aufgrund der Wasserzufuhr im Pulper) bedingen hohen Strom-, Wärme- und Prozesswasserbedarf sowie große Reaktorvolumina.
- Die zu erwartende Biogasausbeute pro t Biogut beträgt ca. 100 bis > 130 Nm<sup>3</sup> [Kern 2010].

### Umweltbezogene Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Über 60% der Umweltbelastungen resultieren aus den Emissionen beim Handling der Gärprodukte am Anlagenstandort. Weitere Umweltbelastungen stammen vor allem aus der Ausbringung der flüssigen Gärprodukte.
- Die Umwelt-Gutschriften resultieren vor allem aus der Substitution fossiler Brennstoffe durch Biogas sowie der Substitution von Mineraldünger aus Primärrohstoffen durch die Nährstoffe in den Gärprodukten.
- Im ökologischen Gesamtergebnis trägt die Nassvergärung insgesamt zu einer Umweltentlastung bei.



Umweltwirkungen der Nassvergärung von 1 t Biogut



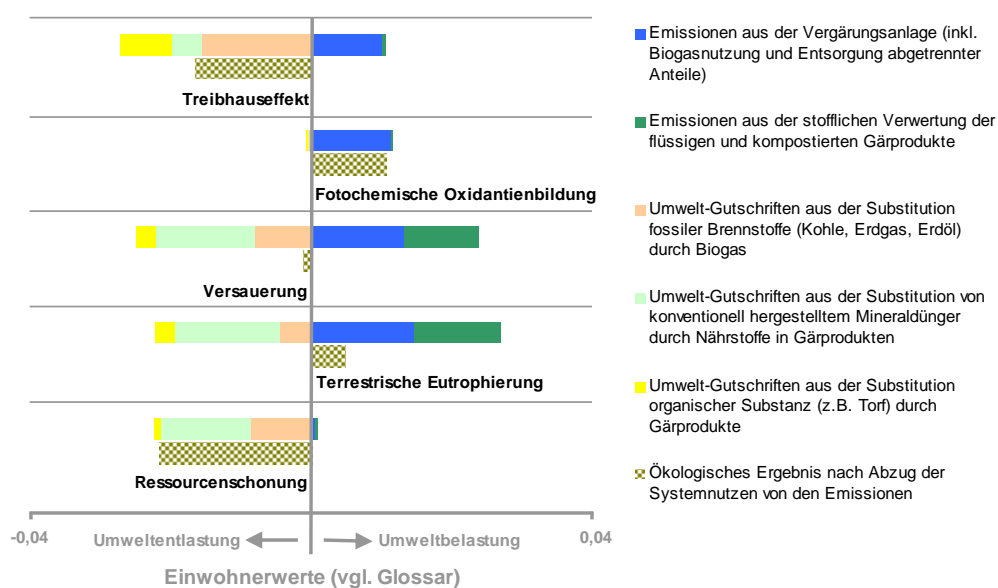
## 7.3 Umweltwirkungen der Vergärung im Batch-Verfahren

### Merkmale des Betriebs

- Diskontinuierlicher trockener Vergärungsprozess für Trockensubstanz-Gehalte im Biogut größer 30 bis 40%. Die Materialaufbereitung durch Mischen des frischen Substrats mit Gärrestmaterial erfolgt per Radlader.
- Der Fermentationsbetrieb mit hohen Verweilzeiten aber niedrigem Strom- und Wärmebedarf ist in der Regel mesophil (eine zusätzliche Hygienisierung ist erforderlich), ohne anschließende Fest-/Flüssigtrennung.
- Die für eine konstante Gasqualität erforderliche versetzte Fahrweise mehrerer Fermenter benötigt große Flächen zur Befüllung und Entleerung.
- Die zu erwartende Biogasausbeute pro t Biogut beträgt ca. 70 bis > 120 Nm<sup>3</sup> [Kern 2010] und liegt damit unterhalb der Ausbeuten der kontinuierlichen Verfahrenen.

### Umweltbezogene Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Über 60% der Umweltbelastungen resultieren aus den Emissionen beim Handling der Gärprodukte am Anlagenstandort. Weitere Umweltbelastungen stammen vor allem aus der Ausbringung der flüssigen Gärprodukte.
- Die Umwelt-Gutschriften resultieren vor allem aus der Substitution fossiler Brennstoffe durch Biogas sowie der Substitution von Mineraldünger aus Primärrohstoffen durch die Nährstoffe in den Gärprodukten.
- Im ökologischen Gesamtergebnis trägt die Vergärung im Batch-Verfahren insgesamt zu einer Umweltentlastung bei. Das setzt allerdings die Erfassung und Behandlung besonders relevanter Abluftströme voraus und erfordert bei Füllungswechsel und Nachbehandlung des Gärrückstands eine gute fachliche Praxis.



Umweltwirkungen der Vergärung von 1 t Biogut im Batch-Verfahren

## 8 Vergärung: Ökoeffizienz von Verbesserungsansätzen und Varianten des Betriebs

### 8.1 Gasdichte Abdeckung des Lagers für flüssige Gärreste und Restgasnutzung

#### Hintergrund

- Bei der Lagerung der flüssigen Gärprodukte entstehen erhebliche Emissionen an Methan und weiteren organischen Verbindungen.
- Im Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) wird für neu zu errichtende Gärproduktlager eine gasdichte Abdeckung und ein Anschluss an die Gasverwertung gefordert.

#### Maßnahme

- Die Abluft aus der Lagerung der flüssigen Gärprodukte wird erfasst und über ein Blockheizkraftwerk oxidiert.
- Anforderungen an die Realisierung der Abdeckung werden im Bayerischen Biogashandbuch konkretisiert.
- Die Eignung des Abluftstromes für die Gasverwertung und die technischen Möglichkeiten sind stets im konkreten Einzelfall und in Abstimmung mit dem BHKW-Hersteller zu prüfen.

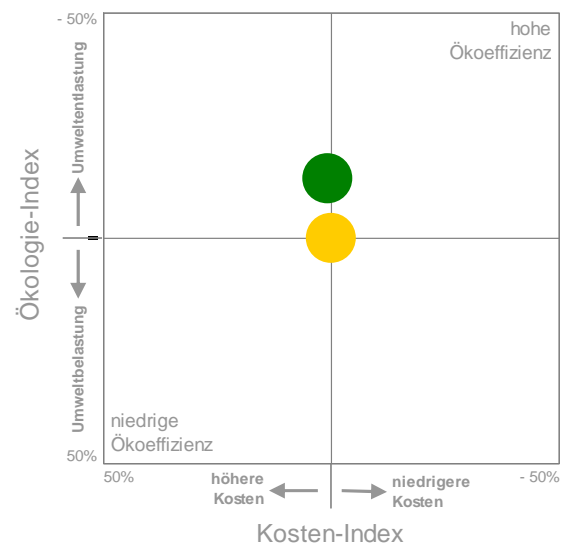
#### Umweltwirkung der Maßnahme

- Emissionen aus dem Lager der flüssigen Gärprodukte werden vollständig vermieden.
- Durch die Restgasnutzung steigt die im Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzte Biogasmenge.

#### Kostenwirkung der Maßnahme

- Im Idealfall können die Zusatzkosten für den erforderlichen Umbau des Abluftsystems durch die Mehrerlöse aus der zusätzlichen Biogasmenge gedeckt werden.

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung und führt im ungünstigen Fall zu etwas höheren Behandlungskosten.**



- Vergärung im durchschnittlichen Betrieb
- Vergärung mit gasdichter Abdeckung des Lagers für flüssige Gärreste und Restgasnutzung

Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 8.2 Saure Wäsche der Abluft aus der Gärproduktbehandlung

### Hintergrund

- Drei Viertel der Ammoniak-Emissionen entweichen bei der Nachbehandlung der festen Gärprodukte.
- Die Vorschaltung eines sauren Wäschers vor dem Biofilter wird bei hohem Ammoniakkonzentrationen im Rohgas, wie z.B. in der Abluft aus der Nachrotte, empfohlen.

### Maßnahme

- Die emissionsrelevanten Bereiche der Nachbehandlung der festen Gärprodukte sind geschlossen ausgeführt. Die so erfasste Abluft wird einem sauren Wäscher zugeführt.
- Für ein zuverlässiges Funktionieren des Wäschers sind regelmäßige Wartungen und periodische Nachkontrollen erforderlich.

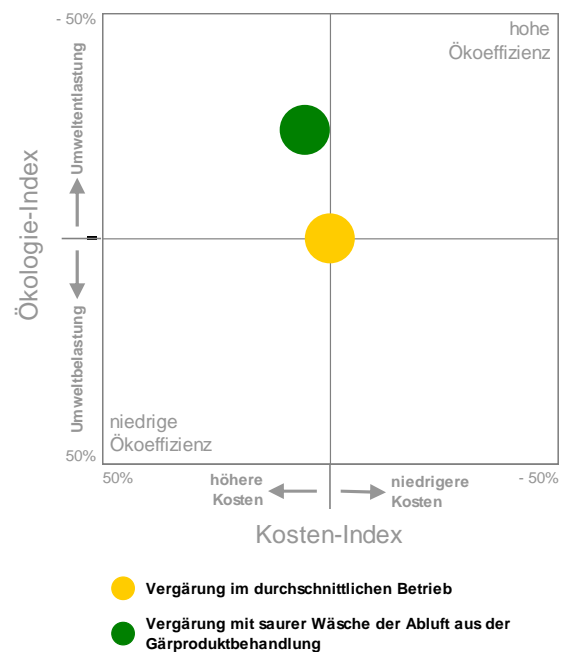
### Umweltwirkung der Maßnahme

- Saure Wäscher stellen eine nahezu vollständige Ammoniakabscheidung sicher.
- Zusätzlich wird die Bildung von sekundären Lachgas-Emissionen im Biofilter verhindert.
- Das entstehende Reaktionsprodukt Ammoniumsulfat kann als mineralischer Stickstoffdünger eingesetzt werden.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Die Installation eines sauren Wäschers ist mit hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden.
- Die Mehrkosten werden mit 3 EUR/t Biogut abgeschätzt, die sich etwa zu gleichen Anteilen aus Investitions- und Betriebskosten zusammensetzen.

**Fazit:** Steigert die Umweltentlastung deutlich und führt zu höheren Behandlungskosten.



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 8.3 Optimierte Betriebsführung bei Aerobisierung bzw. Nachrotte der festen Gärprodukte

### Hintergrund

- Im Rahmen der Nachbehandlung werden die festen Gärprodukte mit Strukturmaterial gemischt und anschließend der Nachrotte zugeführt.
- Die Nachbehandlung ist der Prozessschritt der Vergärung mit den größten Emissionen. Die Bildung von Methan läuft bei der Nachkompostierung weiter. Außerdem ist beim Handling der festen Gärprodukte mit spezifisch erhöhten Ammoniak- und Lachgas-Emissionen zu rechnen.
- Aus umweltbezogener Sicht ist eine vollständig offene Nachbehandlung der festen Gärprodukte abzulehnen. Emissionsrelevante Anlagenbereiche sollten eingehaust und an die Abluftreinigung angeschlossen werden.

### Maßnahmen

- Optimierung der Aerobisierung durch das Hinzumischen hoher Anteile an frischem Material, insbesondere strukturreichen, d.h. ligninreichen Stoffen, sowie intensive, aktive Belüftung.

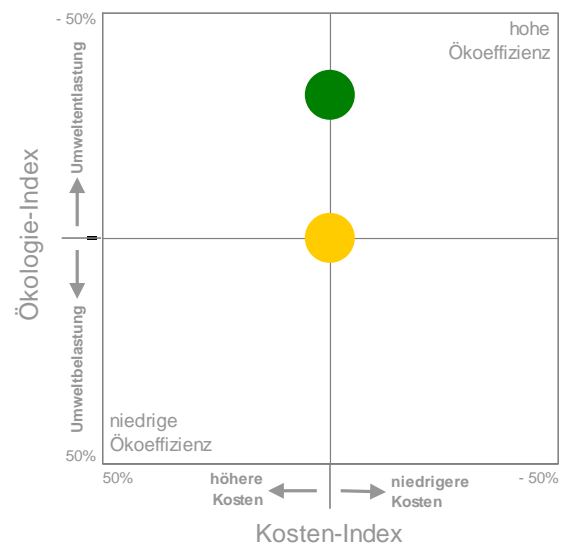
### Umweltwirkung der Maßnahme

- Im Idealfall Reduktion der prozessbedingten Emissionen insbesondere an Methan um 90%, an Ammoniak um 80% sowie an Lachgas um 50% durch optimierte Betriebsführung in der Nachbehandlung.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Die beschriebenen Maßnahmen können im Wesentlichen im Rahmen von betrieblichen Aufwendungen, die einen Betrieb nach guter fachlicher Praxis widerspiegeln, realisiert werden (Einhausung bzw. Abluftreinigung bereits vorhanden).

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung deutlich und führt nicht zwangsläufig zu höheren Behandlungskosten.**



- Vergärung im durchschnittlichen Betrieb
- Vergärung mit optimierte Betriebsführung bei Aerobisierung bzw. Nachrotte der festen Gärprodukte

Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 8.4 Steigerung der Stromausbeute bei der Biogasnutzung

### Hintergrund

- Für die Verwertung von Biogas kommen bisher meist Verbrennungsmotoren zum Einsatz, deren elektrische Wirkungsgrade üblicherweise bei ca. 38% liegen.
- Mit modernen Motoren können elektrische Wirkungsgrade größer 40% erzielt werden.

### Maßnahme

- Installation von modernen Motoren im Blockheizkraftwerk mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 40%.

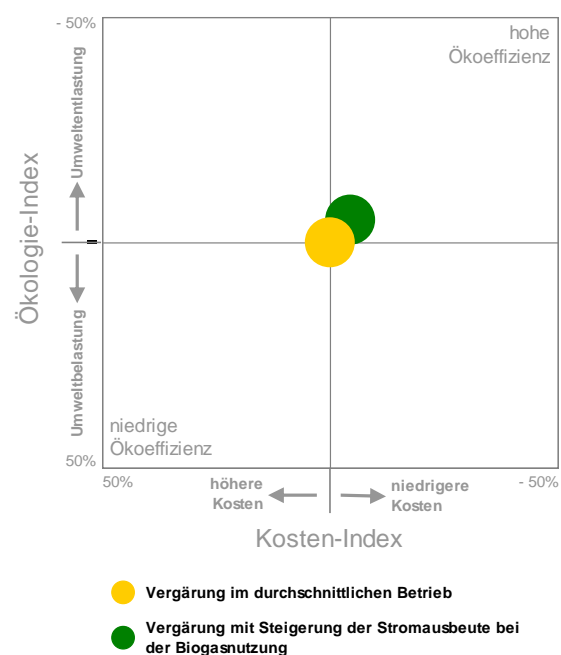
### Umweltwirkung der Maßnahme

- Steigerung der erzeugten Strommenge um 5%.
- Im gleichen Maß steigen die Umwelt-Gutschriften aus der Substitution der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Aus Biogas erzeugter Strom wird nach dem deutschen Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) bis zu 16 ct/kWh vergütet.
- D.h. Steigerung der Erlöse bis zu 2,4 EUR/t Biogut (ohne Berücksichtigung der Anschaffungskosten für Motoren mit höherer Energieeffizienz).

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung und führt zu niedrigeren Behandlungskosten.**



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 8.5 Reduktion von Ammoniak-Emissionen beim Ausbringen flüssiger Gärprodukte

### Hintergrund

- Flüssige Gärprodukte werden als Nährstofflieferant auf landwirtschaftlichen Nutzflächen eingesetzt.
- Auch bei der nach Düngeverordnung geforderten bodennahen Ausbringung entweichen Stickstoffverbindungen, hauptsächlich Ammoniak.
- Diese Emissionen können gemindert werden, indem flüssige Gärprodukte auf unbewachsenem Acker ausgebracht und möglichst unmittelbar eingearbeitet werden.
- Die direkte Einarbeitung der flüssigen Gärprodukte hilft Ammoniak-Emissionen zu reduzieren. Allerdings weisen Untersuchungen darauf hin, dass beim Einsatz von Injektionsverfahren mit erhöhten Lachgas-Emissionen gerechnet werden muss.

### Maßnahme

- Unmittelbare Einarbeitung der flüssigen Gärprodukte bei Ausbringung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen.

### Umweltwirkung der Maßnahme

- Reduktion der Ammoniak-Emissionen um etwa 1/3 bei sofortiger Einarbeitung bzw. Gülledrill.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Die unmittelbare Einarbeitung der flüssigen Gärprodukte bei Ausbringung erfordert höhere Aufwendungen.
- Im Idealfall kann die Kosten-/Erlössituation aus Sicht der Vergärungsanlage aber unverändert bleiben.

**Fazit: Steigert die Umweltentlastung und führt im ungünstigen Fall zu etwas höheren Behandlungskosten.**



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 8.6 Ausbau der externen Nutzung der Abwärme

### Hintergrund

- Die aus dem Biogas erzeugte thermische Energie deckt zunächst den Eigenbedarf der Vergärungsanlage.
- Darüber hinaus kann Wärme prinzipiell auch an externe Abnehmer abgegeben werden.
- An vielen Standorten ist das allerdings nur unzureichend möglich, da Wärmeabnehmer oft fehlen oder zu weit entfernt sind.

### Maßnahme

- Die gesamte für eine externe Nutzung zur Verfügung stehende Überschusswärme kann abgesetzt werden (Idealfall).

### Umweltwirkung der Maßnahme

- Verglichen mit einer Vergärung ohne externe Wärmenutzung, kann die gesamte Umwelt-Gutschrift aus der Substitution der Wärmerzeugung aus fossilen Energieträgern um über 40% erhöht werden.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Mit einem angenommenen Erlös von 2,5 ct/kWh ergeben sich bei vollständiger externer Nutzung der Überschusswärme je nach Vergärungsverfahren Mehrerlöse bis zu 8 EUR/t gegenüber einer Anlage ohne externe Nutzungsmöglichkeit (ohne Berücksichtigung von Investitionen für die Abwärmenutzungsanlagen).

**Fazit:** Steigert die Umweltentlastung deutlich und führt zu niedrigeren Behandlungskosten.



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

## 8.7 Aufbereitung von Biogas und Einspeisung ins Erdgasnetz

### Hintergrund

- Sofern im Umfeld der Vergärungsanlage eine geeignete Einspeisemöglichkeit in das Hochdruckerdgasnetz vorhanden ist, kann bei größeren Anlagen die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und die anschließende Einspeisung eine Alternative bieten.

### Maßnahme

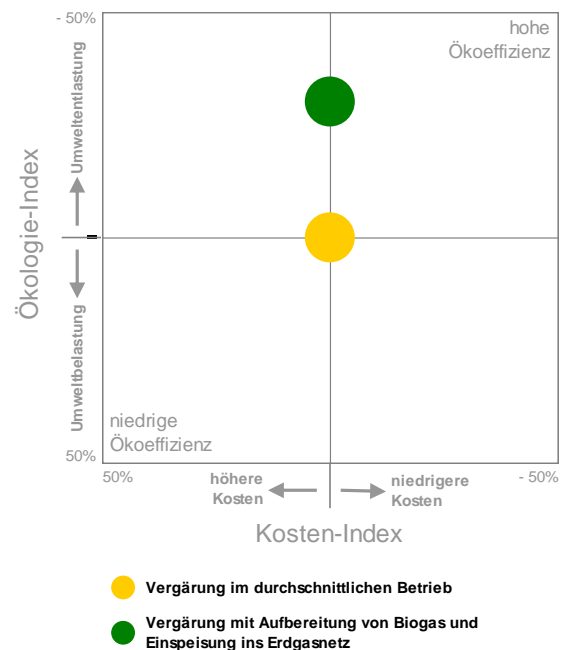
- Aufbereitung der gesamten erzeugten Biogasmenge (z.B. Druckwechselabsorption und Druckwasserwäsche) und Einspeisung ins Erdgasnetz.
- Aufgrund der fehlenden Energieerzeugung aus dem Biogas am Standort ist der Eigenbedarf der Vergärungsanlage durch externe Quellen erzeugt werden. Wenn das eingespeiste Biogas in EEG-Anlagen verwendet werden soll, muss der Eigenbedarf durch erneuerbare Energien im Sinne des EEG gedeckt werden.

### Umweltwirkung der Maßnahme

- Das eingespeiste Biogas kann in allen Erdgasanwendungen als Substitut für Erdgas eingesetzt werden. Dadurch werden Emissionen vermieden, die mit der konventionellen Energieerzeugung aus Erdgas verbunden wären.
- Das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) sieht als Anspruchsvoraussetzung für den Gasaufbereitungsbonus einen Stromverbrauch für die Aufbereitung von höchstens 0,5 kWh/Nm<sup>3</sup> und Methanemissionen von höchstens 0,2% des Methaninputs vor.

### Kostenwirkung der Maßnahme

- Unter den aktuellen Rahmenbedingungen sind entsprechende Projekte für Vergärungsanlagen mit einer Anlagenkapazität von 40.000 t/a bzw. einer Rohbiogasmenge ab 600 bis 700 Nm<sup>3</sup>/h wirtschaftlich realisierbar.
- Die Kalkulation muss im Einzelfall anhand der konkreten Betriebsparameter und Verhandlungen mit dem Biogasabnehmer erfolgen.



Ökologie und Kosten: Abweichung der Optimierungsmaßnahme vom durchschnittlichen Betrieb in %

**Fazit:** Steigert die Umweltentlastung deutlich; Auswirkungen auf die Behandlungskosten sind im Einzelfall zu betrachten



## 9 Ökologische Aspekte der Mitbehandlung von Biogut als Teil des Restabfalls in MVA

### Umweltbelastungen aus der Emission von Luftschadstoffen

- Biogut wird in Müllverbrennungsanlagen als Teilfraktion des Restabfalls gemeinsam mit weiteren Abfällen zur energetischen Verwertung behandelt.
- Die Umweltbelastung der thermischen Behandlung des Bioguts resultiert vor allem aus der Erzeugung von Stickoxiden bei der Verbrennung. Diese ist allerdings im Vergleich zu den Emissionen aus Kompostierung und Vergärung von geringer Bedeutung.
- Das aus der Verbrennung von Biogut entstehende Kohlendioxid wird – wie bei biogenen Brennstoffe üblich – als nicht klimawirksam betrachtet.

### Energetische Umwelt-Gutschriften aus der Biogutverbrennung

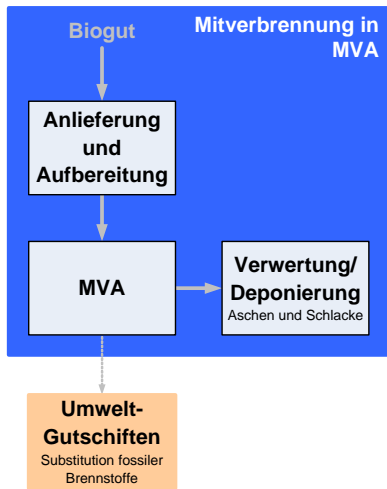
- Aus der Verbrennung des Bioguts werden Strom und Wärme gewonnen und in entsprechende Versorgungsnetze eingespeist.
- Dadurch werden Emissionen vermieden, die mit der konventionellen Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern verbunden wären.

### Keine Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen Verwertung

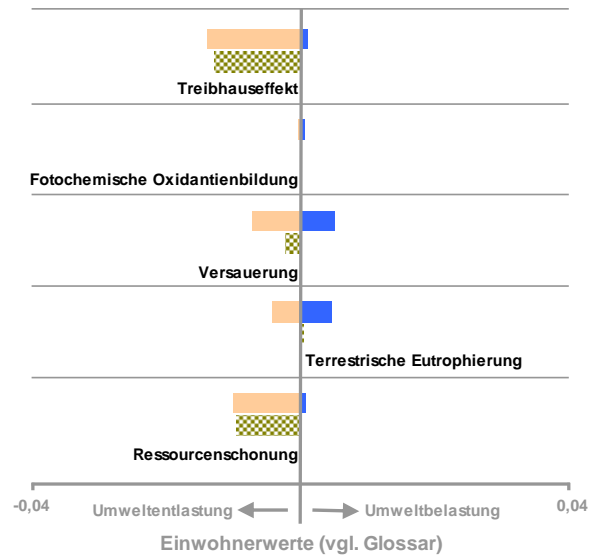
- Die Aufbereitung der Verbrennungsaschen beispielsweise zur Nutzung der Nährstoffe ist zwar technisch möglich, aber auf absehbare Zeit nicht wirtschaftlich realisierbar.

### Ökologische Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Die Mitbehandlung von Biogut als Teil des Restabfalls in MVA ist insgesamt mit einer Umweltentlastung verbunden. In nahezu allen Wirkungskategorien ist eine Umweltentlastung zu verzeichnen.
- Die Umwelt-Gutschriften aus der Erzeugung von Strom und Wärme überwiegen die geringen Belastungen aus den Emissionen der Verbrennung.
- In der umweltbezogenen Gesamtbewertung schneidet die thermische Mitbehandlung schlechter als Kompostierung und Vergärung bei Betrieb nach guter fachlicher Praxis ab, da auf die Nutzung von Nährstoffen und organischer Substanz verzichtet wird.
- Hohe Nutzungsgrade des Energieinhalts des Bioguts verbessern das Umweltergebnis der thermischen Mitbehandlung deutlich.



Stoffflussmodell für die Mitbehandlung von Biogut als Teil des Restabfalls in Müllverbrennungsanlagen



- Emissionen aus der Müllverbrennungsanlage (inkl. Entsorgung von Aschen und Schlacken)
- Umwelt-Gutschriften aus der Substitution fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdgas, Erdöl) durch Bioabfall im Restmüll
- ◻ Ökologisches Ergebnis nach Abzug der Umwelt-Gutschriften von den Emissionen

Umweltwirkungen der Mitbehandlung von 1 t Biogut als Teil des Restabfalls in Müllverbrennungsanlagen

## 10 Ökologische Aspekte der Kompostierung von Grüngut inkl. der energetischen Verwertung einer holzigen Teilmenge

### Umweltbelastungen aus der Emission von Luftschadstoffen

- Die Behandlung von Grüngut erfolgt, nach Abtrennung einer holzigen Teilmenge zur energetischen Verwertung, in der Regel in offenen Kompostierungsanlagen.
- Die aus den offenen Kompostierungsanlagen resultierenden Emissionen an Methan und Lachgas sind mit denen aus der geschlossenen und teilgeschlossenen Kompostierung von Biogut vergleichbar, da diese nicht durch den Biofilter zurückgehalten werden können. Hingegen ist die Ammoniakfreisetzung der geschlossenen Kompostierung wesentlich geringer, wenn die Abluft über einen Biofilter oder sauren Wäscher gefahren wird. Im Biofilter können allerdings N<sub>2</sub>O-Emissionen entstehen.
- Die Emissionen stammen vor allem aus
  - der Hygienisierung in der Haupt-/Intensivrotte,
  - der Stabilisierung in der Nachrotte sowie
  - der Lagerung und Ausbringung der stofflichen Produkte.
- Die Umweltbelastung aus der energetischen Verwertung der holzigen Teilmenge stammt vor allem aus der Erzeugung von Stickoxiden bei der Verbrennung. Diese ist allerdings im Vergleich zu den Emissionen aus der Kompostierung von geringerer Bedeutung.
- Die aus Grüngut entstehenden Kohlendioxidemissionen werden als klimaneutral angesehen und haben damit keine Bedeutung für die ökologischen Wirkungen.

### Energetische Umwelt-Gutschriften aus der Verwertung einer holzigen Teilmenge

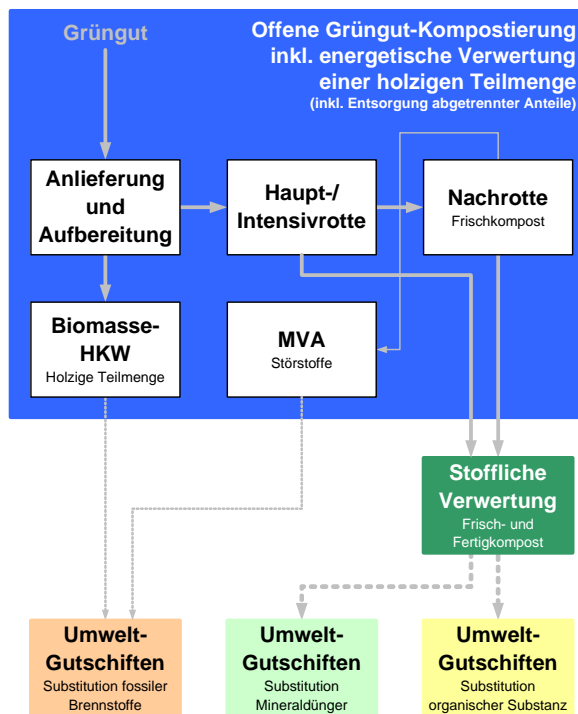
- Für holzige Bestandteile des Grünzugs, wie Baum- und Strauchschnitt, wird die energetische Verwertung immer attraktiver. In einigen bayerischen Städten und Landkreisen werden so bereits bis über 20% des gesammelten Grünzugs in Biomasseheizkraftwerken verwertet.
- Durch die in Biomasseheizkraftwerken erzeugten Strom- und Wärmemengen werden Emissionen vermieden, die mit der Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern verbunden wären.

### Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen Verwertung der Komposte

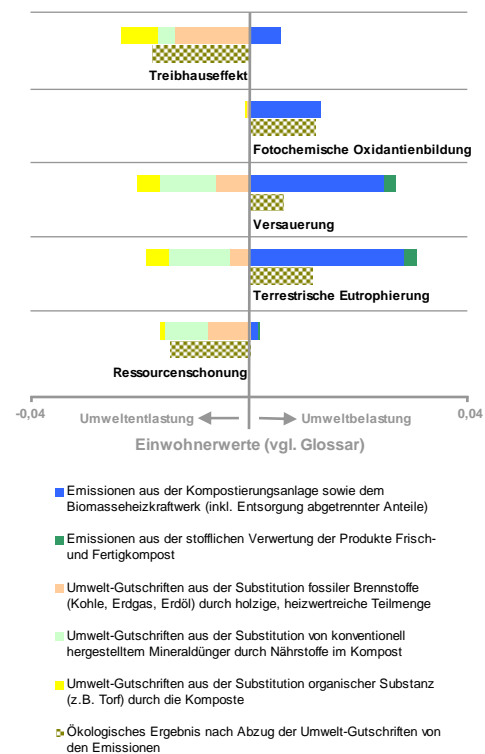
- Bei der Kompostierung von Grüngut wird in der Haupt-/Intensivrotte Frischkompost und in der Nachrotte Fertigungskompost erzeugt. Beide Komposte unterscheiden sich im Stabilisierungsgrad.
- Frischkomposte werden zu ca. 95% in der Landwirtschaft und Fertigungskomposte zu ca. 49% in Erdenwerken und zu ca. 20% ebenfalls in der Landwirtschaft verwertet. Weitere Vermarktungswege sind der Hobbygartenbau, der Erwerbsgartenbau sowie der Garten- und Landschaftsbau [Kehres 2011, Florian 2011].
- Die Komposte liefern mineralische Nährstoffe sowie organische Substanz zur Versorgung der Böden. Dies trägt zur Verbesserung der Bodenqualität bei (z.B. Erosionsschutz, Wasserhaushalt).
- Die Nährstoffe ersetzen Mineraldünger aus Primärrohstoffen und vermeiden so mit deren Herstellung verbundene Emissionen. Zudem wird die endliche mineralische Ressource Phosphor geschont.
- Die organische Substanz dient zur Reproduktion von Humus sowie zur Speicherung von Kohlenstoff. Darüber hinaus werden Komposte als Torfersatz, z.B. in Erdenwerken, eingesetzt.

## Ökologische Bewertung einer Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis

- Die offene Kompostierung von Grüngut inkl. der energetischen Verwertung einer Holzigen Teilmenge ist insgesamt mit einer leichten Umweltentlastung verbunden, obwohl in mehr als der Hälfte der Wirkungskategorien eine Umweltbelastung generiert wird.
- Die Umwelt-Gutschriften aus der stofflichen Verwertung der Produkte sowie der energetischen Verwertung abgetrennter Teilmengen überwiegen die Belastungen aus den Emissionen.
- Bei der Abtrennung der Holzigen Teilmenge zur energetischen Verwertung ist darauf zu achten, dass die Rottekörper weiterhin ausreichend Strukturanteile enthalten.
- Neben den Emissionen durch die Kompostierung selbst müssen auch die Emissionen, die beim Ausbringen der Komposte auf landwirtschaftliche Flächen entstehen, berücksichtigt werden.



Stoffflussmodell für die Kompostierung von Grüngut inkl. der energetischen Verwertung einer Holzigen Teilmenge



Umweltwirkungen der der Kompostierung von 1 t Grüngut inkl. der energetischen Verwertung einer Holzigen Teilmenge

## 11 Handlungsoptionen für Anlagenbetreiber

### 11.1 Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Bioabfallverwertung in Kompostierungsanlagen

- Emissionen reduzieren durch eine Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis und die Etablierung technischer Maßnahmen.
- Optimierung des Materialinputs, u.a.
  - günstiges C/N-Verhältnis,
  - optimaler Wassergehalt und
  - Zumischung von ausreichend Strukturmaterial für günstiges Luftporenvolumen.
- Optimierte Betriebsführung der Rotte, u.a.
  - Vermeidung zu großvolumiger Rottekörper,
  - aktive Belüftung sowie Steuerung der Rottetemperaturen,
  - Aufrechterhaltung eines ausreichenden Luftporenvolumens,
  - ausreichende Strukturstabilität des Rottekörpers und
  - gute Luftdurchlässigkeit bei geringer Vernässung,
  - optimierte Umsetz-Intervalle für die Kompostmieten.
- Abtrennung heizwertreicher, schwer abbaubarer Anteile zur Erzeugung von Strom und Wärme in Biomasseheizkraftwerken. Dabei muss aber sichergestellt bleiben, dass die Rottekörper weiterhin ausreichend Strukturmaterial enthalten.

### 11.2 Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Bioabfallverwertung in Vergärungsanlagen

- Emissionen reduzieren durch eine Betriebsführung nach guter fachlicher Praxis und die Etablierung technischer Maßnahmen:
  - Optimierte Betriebsführung bei der Behandlung fester Gärprodukte.
  - Saure Wäsche der Abluft aus der Behandlung der festen Gärprodukte.
  - Verbrennung der Abluft aus dem Lager der flüssigen Gärprodukte.
  - Bei der Vergärung im Batch-Verfahren den spezifischen Herausforderungen bei Erfassung der Fermenterabluf und bei Nachbehandlung des Gärprodukts Rechnung tragen.
- Steigerung der Energieeffizienz und Ausbau der Wärmenutzung.
- Einspeisung von aufbereitetem Biogas in das Erdgasnetz ist aus umweltbezogener Sicht eine Alternative bei nicht vollständiger externer Wärmenutzung am Standort.
- Auf emissionsarme Ausbringung der flüssigen Gärprodukte hinwirken.

## 12 Handlungsoptionen für eine nachhaltige Bioabfallverwertung

- Möglichst umfassende Erschließung der rohstofflichen und energetischen Nutzwerte des Bioabfalls.
- Stoffstromlenkung und Einsatz von differenzierten Verwertungssystemen, so dass in Kaskadennutzung stoffliche und energetische Nutzen des Bioabfalls unter den Randbedingungen vor Ort optimal ausgeschöpft werden.
- Mögliche Synergieeffekte durch Anlagenverbunde nutzen:
  - Mit der Vorschaltung einer Vergärungsstufe kann bei bestehenden Kompostieranlagen in Form einer Kaskadennutzung die parallele stoffliche und energetische Nutzung ausgebaut werden.
  - An geeigneten Standorten bietet die Integration von Vergärungsanlagen in die Infrastruktur bestehender thermischer Abfallverwertungsanlagen interessante Perspektiven, wie beispielsweise die thermische Inertisierung der Vergärungsabluft oder die optimierte Wärmenutzung im Anlagenverbund.
- Vorgabe und Durchsetzung von hohen, insbesondere emissionsmindernden, Anlagen- und Betriebsstandards und Einhaltung der bestehenden Qualitätsanforderungen an die stofflichen Produkte.
- Innovations- und Investitionsbereitschaft durch verlässliche Randbedingungen sichern.
- Bei Ausschreibung und bei Eigenbetrieb ökologische Aspekte verstärkt berücksichtigen. Verfahren, die ökoeffizient arbeiten, sind Lösungen, die ausschließlich eine kostengünstige Entsorgung bieten, vorzuziehen.
- Bei Ausschreibung der getrennten Sammlung von Biogut oder der Getrenntsammlung im Eigenbetrieb Lenkungsinstrumente vorsehen, die bewirken, dass
  - hohe Abschöpfungsraten in den Haushalten realisiert werden (geringe Biogutanteile im Restabfall) und
  - hohe Sortenreinheiten gewährleistet werden (z.B. kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit, vertragliche Vereinbarungen über gestaffelte Zuschläge im Fall von Verunreinigungen, Tonnenkontrollen und Maßnahmen bei unzulässigen Stoffen in der Biotonne)

## 13 Literatur

- [Cuhls 2012] Cuhls, C.; Mähl, B.; Clemens, J.: Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. gewitra mbH – Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer im Auftrag des Umweltbundesamtes (Förderkennzeichen 206 33 326 und 3709 44 320), Abschlussbereich im Entwurf, Bearbeitungsstand 8.12.2011 als Diskussionsgrundlage und nur zur internen Verwendung für den 2. Workshop „Emissionen bei der Bioabfallverwertung“ am 25.04.2012 in Troisdorf
- [Florian 2011] Florian, M.: Jahresmittelwerte gütegesicherter Komposte sowie von gütegesicherten „Kompost flüssig“ für das Jahr 2011. Fachvereinigung Bayerischer Komposthersteller e.V., Wolfratshausen 2011
- [Hansen 2012] Hansen, D.: Studie zur Pflicht der Getrenntsammlung von Bioabfällen nach § 11 KrWG – Inhalt, Reichweite und Verbindlichkeit der neuen Vorschrift. gab Designer und Ingenieure GmbH im Auftrag der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. und des Verbandes Humus- und Erdenwirtschaft e.V., Köln-Gremberghoven und Aachen 2012
- [Kehres 2010] Kehres, B., Mähl, B.; Clemens, J.; Cuhls, C.; Reinhold, J.; Müsken, J.: Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln 2010
- [Kehres 2011] Kehres, B.: Jahresmedianwerte gütegesicherter Komposte und Gärprodukte für das Jahr 2011. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln 2011
- [Kern 2010] Kern, M.; Raussen, T.; Funda, K.; Lootsma, A.; Hofmann, H.: Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. Witzhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes (Förderkennzeichen 3707 33 304), Dessau-Roßlau 2010
- [LfU 2012] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Hausmüll in Bayern, Bilanzen 2011. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 31, Augsburg 2012







**bifa Umweltinstitut GmbH**

Am Mittleren Moos 46

86167 Augsburg

Tel. +49 821 7000-0

Fax. +49 821 7000-100

[www.bifa.de](http://www.bifa.de)