



kompost
& biogas
verband

Wie entsteht eigentlich Biogas?

BIOGAS-DIENSTAG, ONLINE INFORMATIONSREIHE 2023

FLORIAN BRUNNER, KOMPOST & BIOGAS VERBAND ÖSTERREICH



kompost
& biogas
verband

Inhalte

1. Einleitung – Kreislauf der Natur **Was ist Biogas?**
2. Biogas Einsatzstoffe
3. Konversionsstufen – die 4 Phasen der Biogasbildung
4. Einflussfaktoren der Biogasentstehung **Wie entsteht Biogas?**
5. Gasausbeute

Wie viel Biogas entsteht?

Wie viel Energie kann ich daraus gewinnen?

Was ist eigentlich Biogas?

- **Biogas** ist ein **energiereiches Gasgemisch**, das bei der natürlichen **Zersetzung von organischem Material** unter Luftabschluss entsteht
- Die **Zusammensetzung** von Biogas hängt stark von den eingesetzten Substraten und der Prozessführung ab
 - **Methan (CH₄):** 50 – 75 %
 - **Kohlendioxid (CO₂):** 24 – 45 %
 - **Wasserdampf (H₂O):** 2 – 7 %
 - **Sauerstoff (O₂):** < 2 %
 - **Stickstoff (N₂):** < 2 %
 - **Ammoniak (NH₃):** < 1 %
 - **Wasserstoff (H₂):** < 1 %
 - **Schwefelwasserstoff (H₂S):** 20 – 20.000 ppm

Natur funktioniert in Kreisläufen



Natur funktioniert in Kreisläufen

	Aerober Abbau „Kompostierung“	Anaerober Abbau von Organik „Vergärung / Fermentation“
Luft	notwendig	schädlich
Wasser	notwendig	notwendig
Temperatur	Ab ca. 5 °C.	Ab ca. 5 °C.
Nährstoffe	Im Kompost	Im Gärrückstand
Anteil C _{org.} im Endprodukt im Vergleich zum Einsatzstoff	Ca. 40 % im Kompost Rest wird veratmet	Ca. 70 % im Gärgas Ca. 30 % im Gärrückstand
Energie	Abwärme	Ca. 70 % chemisch gebunden im Gärgas

Natur funktioniert in Kreisläufen

	Aerober Abbau „Kompostierung“	Anaerober Abbau von Organik „Vergärung / Fermentation“
Luft	notwendig	schädlich
Wasser	notwendig	notwendig
Temperatur	Ab ca. 5 °C.	Ab ca. 5 °C.
Nährstoffe	Im Kompost	Im Gärrückstand
Anteil C _{org.} im Endprodukt im Vergleich zum Einsatzstoff	Ca. 40 % im Kompost Rest wird veratmet	Ca. 70 % im Gärgas Ca. 30 % im Gärrückstand
Energie	Abwärme	Ca. 70 % chemisch gebunden im Gärgas

Anaerober Abbau → Natürlicher Prozess: z.B. in Mooren, Sümpfen, Ablagerungen in Seen, ...

Anaerober Abbau von Biomasse

- **Natürlicher Zersetzungsprozess** durch **Mikroorganismen** wird in Biogasanlagen technisch genutzt, um daraus Energie zu gewinnen
- **Anaerobe Vergärung:**
Einsatzstoffe werden in luftdicht (anaerob) abgeschlossenen Gärbehältern (Fermenter) mithilfe vieler verschiedener Mikroorganismen vergoren
- **Anwendungsgebiete** der Biogastechnologie:
 - Landwirtschaft
 - Abfalltechnik
 - Abwassertechnik

Anwendungsgebiete der Biogastechnologie

Landwirtschaft



- Geschlossene Nährstoffkreisläufe



- Strom
- Wärme
- Gas
- Treibstoff



- Reststoffe
- Wirtschaftsdünger
- Zwischenfrüchte (Energiepflanzen)



Quelle: Franz Theuretzbacher, FH Wieselburg

Anwendungsgebiete der Biogastechnologie

Abfallwirtschaft



- **Biogas in der Abfallwirtschaft:**

- Verwertung von organischen Abfällen:
 - flüssige organische Abfälle
 - industrielle organische Nebenprodukte
 - organische Fraktion in der Abfallsammlung (Biomüll)
- Gasfassung an Mülldeponien (Deponiegas) zur Vermeidung von CH_4 -Emissionen



Abfallvergärungsanlage Bruck an der Leitha

Anwendungsgebiete der Biogastechnologie

Abwassertechnik



- **Klärschlammfäulung in der Abwassertechnik**

- Klärung von organisch belasteten Abwässern
- Schlammreduzierung
- anaerobe Klärschlammfäulung (Klärgas) zur Energiegewinnung



Klärwerk Hamburg Köhlbrandhöft

Was ist eigentlich Biogas?

Je nach Vorkommen spricht man von ...

- Sumpfgas
- Faulgas
- Klärgas
- Grubengas
- Deponiegas
- ... oder im Bereich der Vergärung von Reststoffen und/oder nachwachsender Rohstoffe eben von **Biogas**.

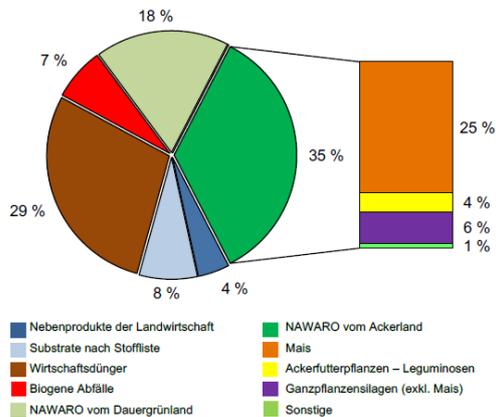
Biogas Einsatzstoffe

- Zur Gewinnung von Biogas kann grundsätzlich jede organische oder biologische Substanz (Biomasse) herangezogen werden, die durch Mikroorganismen abgebaut werden kann.
- Die für die Erzeugung von Biogas in technischen Anlagen eingesetzte Biomasse wird „**Substrat**“ genannt. Zu den einsetzbaren Rohstoffen zählen:

von Nutztieren (Kühe, Schweine, Hühner, etc.)	Gülle, Mist, Jauche, Futtermittelreste, etc.
vom Feld	Stroh, Ausputz, Zwischenfrüchte, etc.
von Wiesen	Gras, Rasenabfälle
von der Industrie	proteinreiche Abwässer (z.B. Brauerei, Molkerei), kohlenstoffreiche Abwässer (z.B. Zuckerindustrie, Schlempe), fett- und proteinreiche Rückstände (z.B. Schlachtabfälle, Fettabscheiderrückstände), etc.
von Menschen	Bioabfälle, Speisereste, Obst- und Gemüseabfälle, etc.

Biogas in Österreich – Einsatzstoffe aktuell

Vor-Ort-Verstromung



Quelle: Arbeitskreis Biogas, Bundesbericht Biogas 2021

Hauptsubstrate in Österreich

➤ Nachwachsende Rohstoffe:

- Mais (Silomais, Maissilage)
- Hirse
- Ganzpflanzensilagen (Getreide-/Grünroggensilage etc.)
- Zwischenfrüchte
- Grassilage

➤ Wirtschaftsdünger:

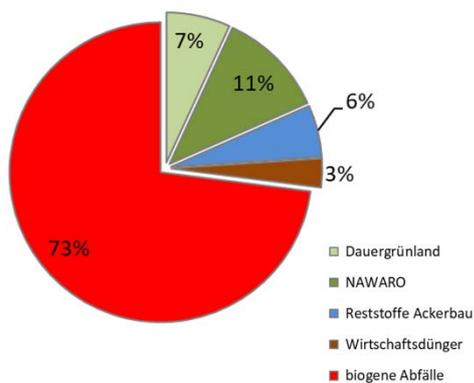
- Mastrindergülle
- Milchviehgülle
- Rindermist
- Schweinegülle

➤ Abfälle und Reststoffe:

- Küchen- und Speisereste
- Getreideausputz
- Maisstroh
- etc.

Biogas in Österreich – Einsatzstoffe aktuell

Biomethaneinspeisung



Hauptsubstrate in Österreich

➤ Nachwachsende Rohstoffe:

- Mais (Silomais, Maissilage)
- Hirse
- Ganzpflanzensilagen (Getreide-/Grünroggensilage etc.)
- Zwischenfrüchte
- Grassilage

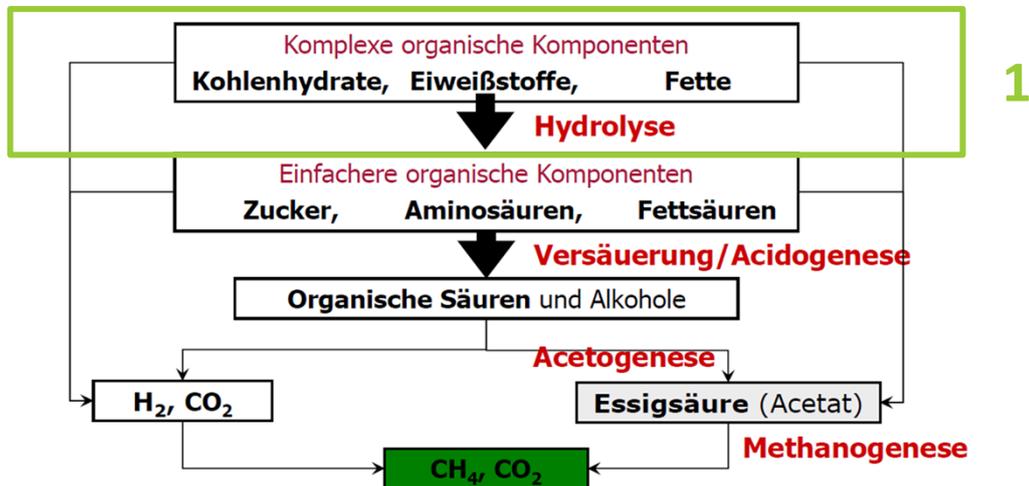
➤ Wirtschaftsdünger:

- Mastrindergülle
- Milchviehgülle
- Rindermist
- Schweinegülle

➤ Abfälle und Reststoffe:

- Küchen- und Speisereste
- Getreideausputz
- Maisstroh
- etc.

Die 4 Stufen der Biogasbildung



Quelle: Wolfgang Gabauer, IFA-Tulln

KOMPOST UND BIOGAS VERBAND ÖSTERREICH

15

1. Hydrolyse

1. Stufe – Aufspaltung der Makromoleküle

- Zerlegung von langkettigen organischen Verbindungen
- Ziel: Wasserlöslichkeit und damit Verbunden die Aufnahme des Substrats durch die Mikroorganismen (hydrolytische Bakterien)
- Enzymatischer Abbau: Endo-/ und Exoenzyme, von hydrolytischen Bakterien

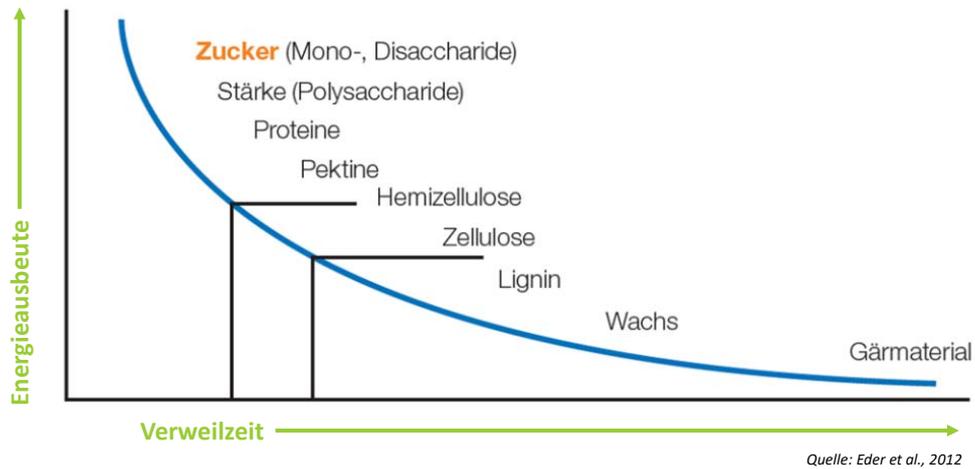
Fette	→ langkettige Fettsäuren
Kohlenhydrate	→ Zucker (Monomere und Dimere)
Proteine	→ Aminosäuren

- **Hydrolyse bestimmt die Geschwindigkeit des Abbauprozesses**

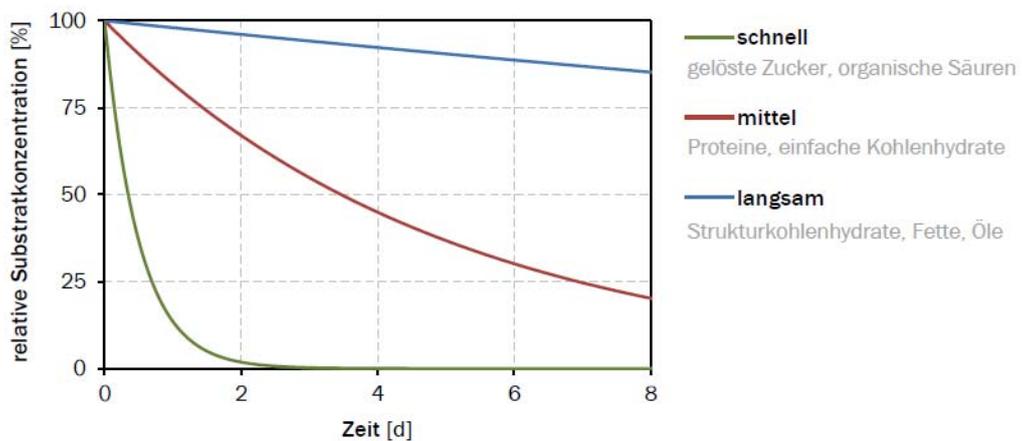
KOMPOST UND BIOGAS VERBAND ÖSTERREICH

16

1. Hydrolyse – Abbaukinetik

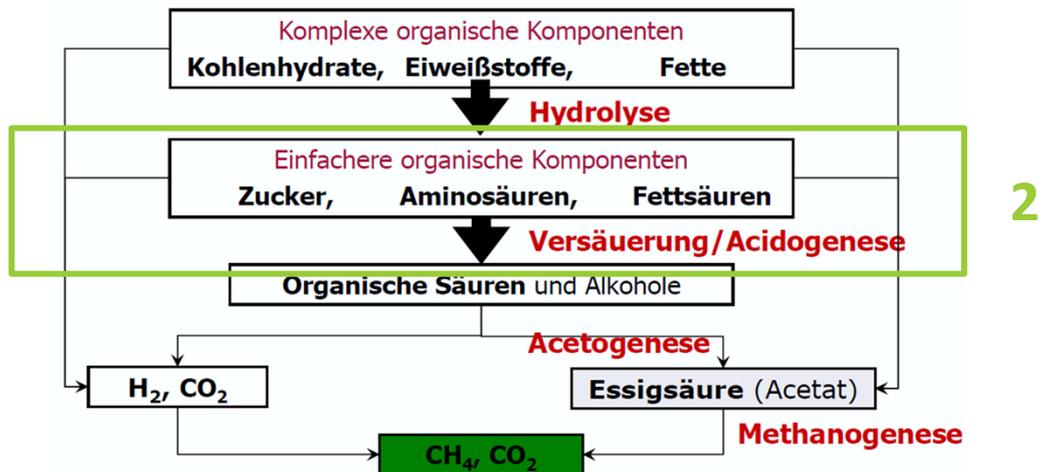


1. Hydrolyse – Abbaukinetik



Quelle: Leitfaden zur Substrat- und Effizienzbewertung an Biogasanlagen, DBFZ

Die 4 Stufen der Biogasbildung



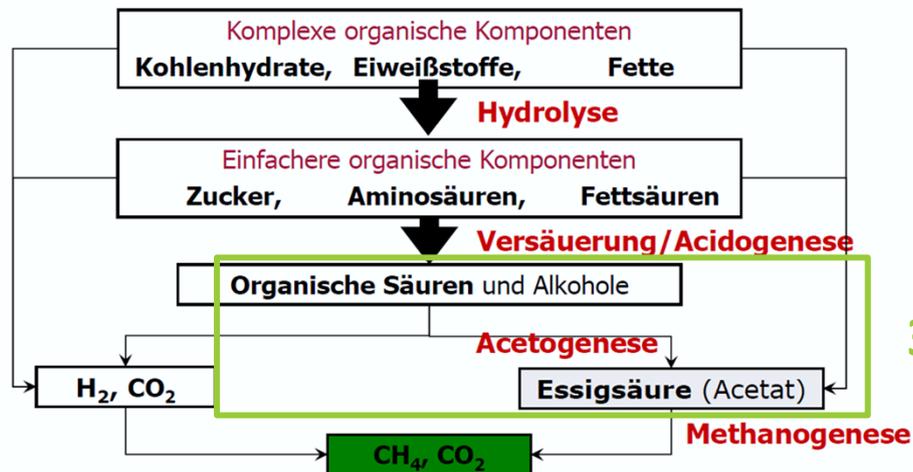
Quelle: Wolfgang Gabauer, IFA-Tulln

2. Acidogenese (Versauerung)

2. Stufe – Verstoffwechslung der Abbauprodukte aus der Hydrolyse

- Weiterer Abbau durch säurebildende Bakterien (Gärprozess)
- **Stoffwechselprodukte:**
 - hauptsächlich kurzkettige **Fettsäuren** wie Essig-, Butter-, Propion- oder Ameisensäure,
 - niedermolekulare **Alkohole** (z.B. Ethanol),
 - **Gase** wie CO₂, H₂, H₂S und NH₃
- Durch die Säurebildung sinkt der pH Wert!
- Der letzte Sauerstoff wird verbraucht → anaerobes Umfeld für acetogene und methanogene Mikroorganismen wird geschaffen

Die 4 Stufen der Biogasbildung

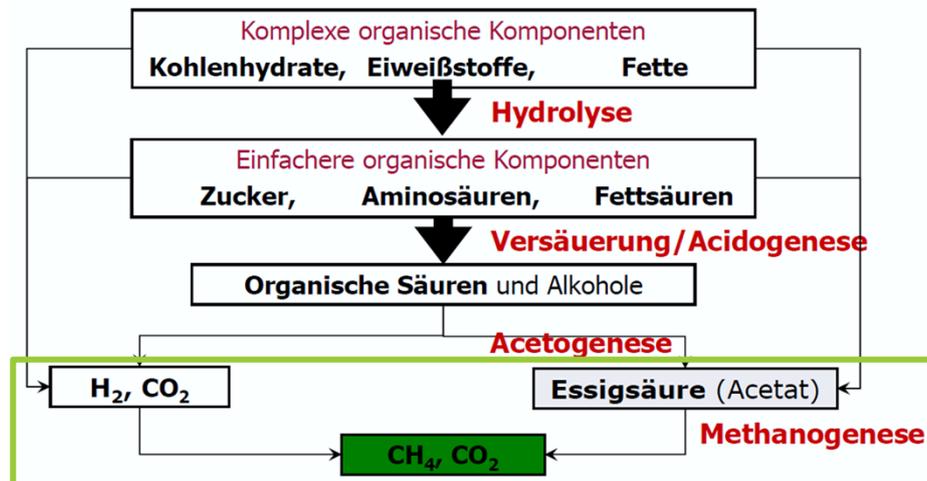


3. Acetogenese (Essigsäurebildung)

3. Stufe – Essigsäurebildung

- Fettsäuren und Alkohole werden von **acetogenen Bakterienstämmen** in **Essigsäure (Acetat)** und **CO₂**
- Gleichzeitig wird die gebildete Essigsäure durch **syntrophe Bakterien** wiederum zu **H₂** abgebaut
- Produkte der Acetogenese:
 - Essigsäure
 - CO₂
 - H₂
- Essigsäure und H₂ müssen kontinuierlich aus dem Prozess entfernt werden, da sonst eine Hemmung eintritt

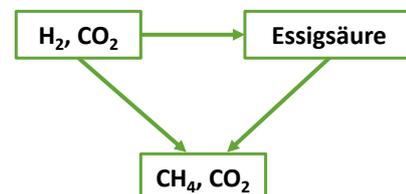
Die 4 Stufen der Biogasbildung



4. Methanogenese

4. Stufe – Methanbildung

- Methanogene Archaeen verarbeiten Produkte der vorigen Abbauprozesse zu CH_4 und CO_2
- 2 Klassen von methanogenen Organismen:
 - Hydrogentrophe** verarbeiten H_2 und CO_2 zu CH_4 (+ H_2O)
 - Acetoklastische** verarbeiten Essigsäure zu CH_4 (+ CO_2)
- Bei einem Problem in der Methanogenese kann es zu erheblichen **Prozessstörungen** kommen, da die akkumulierte Essigsäure den pH Wert senkt und damit der gesamte biologische Prozess im Fermenter zum Erliegen kommt.



Einflussfaktoren auf die Biogasentstehung

Da es sich bei der Biogasentstehung um ein Zusammenspiel verschiedenster Konsortien an Mikroorganismen handelt, haben die vorliegenden Umweltbedingungen im Fermenter einen wesentlichen Einfluss auf die mikrobiologische Aktivität.

Wesentliche Prozessparameter:

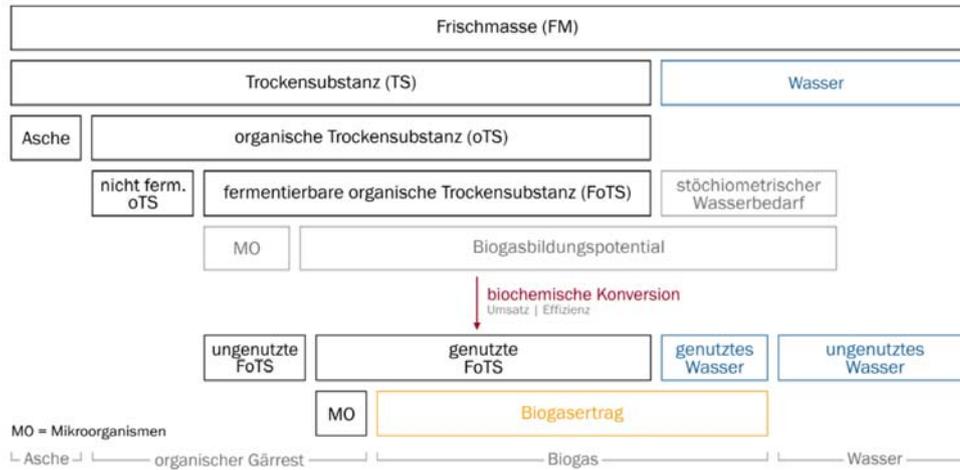
- Temperatur
- pH-Wert
- Pufferkapazität
- Nährstoffe und Spurenelemente (C:N:P-Verhältnis)
- Homogenität & Feuchtigkeit
- Hemmstoffe
- ...

→ mehr dazu im Grundkurs Biogas
(16. und 17.11.2023, St. Pölten)

Anforderungen der unterschiedlichen Bakterienarten

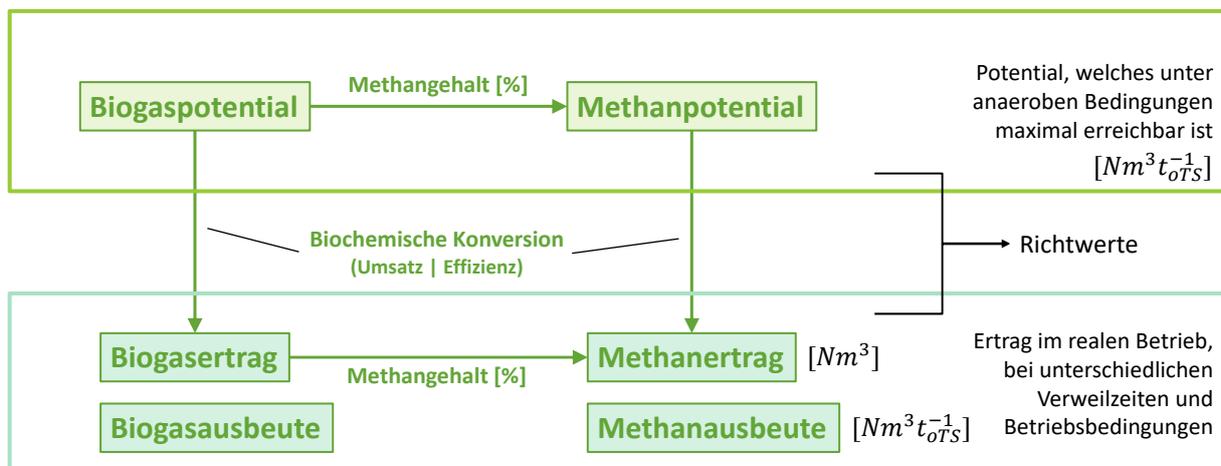
Anforderung an das Milieu	Hydrolytische u fermentative Bakterien	Acetogene und methanogene Bakterien
Trockenmassegehalt	< 40 %	< 30 %
Bevorzugtes C:N Verhältnis	10 – 45:1	20 – 30:1
C:N:P Verhältnis	80 – 125:5:1	80 – 125:5:1
Vorhandensein v Sauerstoff	Kein Problem	Streng anaerob, Einschränkung bereits ab > 0,1 mg l ⁻¹
Ideale Temperatur	20 – 35 °C	Mesophil: 38 °C. Thermophil: 55 °C.
Temperaturänderung	unempfindlich	Intolerant < 1 °C. d ⁻¹
Wachstumsraten	hoch	langsam
Verdoppelungszeit	< 48 h Aerorb: 20 min – 10 h Anaerob: 1 h – 48 h	> 9 h Acetogene: 9 – 18 h Methanogene: 48 – 72 h
pH Wert	4 - 6	6, 5 - 8
Einfluss v Hemmstoffe	gering	hoch

Gasausbeute – wie viel Biogas entsteht?



Quelle: Leitfaden zur Substrat- und Effizienzbewertung an Biogasanlagen, DBFZ

Gasausbeute – Potential vs Ertrag



Gasausbeute – Beispielrechnung anhand Richtwerte

Schweinegülle		Maisstroh	
Frischmasse:	1.000 Tonnen (t_{FM})	Frischmasse:	1.000 Tonnen (t_{FM})
TS-Gehalt:	0,07	TS-Gehalt:	0,86
Trockenmasse:	70 t_{TS}	Trockenmasse:	860 t_{TS}
oTS-Gehalt:	0,80	oTS-Gehalt:	0,72
org. Trockenmasse:	56 t_{oTS}	org. Trockenmasse:	619 t_{oTS}
Biogasausbeute: (KTBL-Wert)	400 $l_n \text{ kg}_{oTS}^{-1}$ 400 $\text{Nm}^3 \text{ t}_{oTS}^{-1}$	Biogasausbeute: (KTBL-Wert)	450 $l_n \text{ kg}_{oTS}^{-1}$ 450 $\text{Nm}^3 \text{ t}_{oTS}^{-1}$
Biogasertrag (theor.)	22.400 $\text{Nm}^3_{\text{Biogas}}$	Biogasertrag (theor.)	278.600 $\text{Nm}^3_{\text{Biogas}}$
Methangehalt: (KTBL-Wert)	63 Vol.-%	Methangehalt: (KTBL-Wert)	53 Vol.-%
Methanertrag (theor.)	14.100 $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4}$	Methanertrag (theor.)	147.600 $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4}$

Möglichkeiten zur Abschätzung der Gasausbeute

Im Rahmen der Projektierung von Biogasanlagen ist die Abschätzung des potentiellen Biogas- bzw. Methanertrags wesentlich.

Substrate unterscheiden sich immens bei dem spez. Potential – Einflussfaktoren sind zudem Lagerung, Konditionierung und Vorbehandlung.

- **Versuche im Labor (empirisch)**
 - Batch Tests, z.B. Bestimmung BMP nach VDI 4630
 - Kontinuierliche Laborversuche (höherer apparativer Aufwand)
- **Theoretische Berechnungen**
 - Elementaranalyse (C, H, N, S, O) – Berechnungsformel nach Buswell
 - Berechnung auf Basis der Futtermittelanalyse nach Weender
 - Berechnung anhand CSB
- **Richtwerte aus Tabellen/Literatur**

Gasausbeute – Richtwerte aus Tabellen/Literatur

- Biogausausbeute LfL Bayern: [Biogausausbeute mobil \(bayern.de\)](http://Biogausausbeute mobil (bayern.de))
- KTBL-Wirtschaftlichkeitsrechner: KTBL-Biogasrechner
- Literatur:



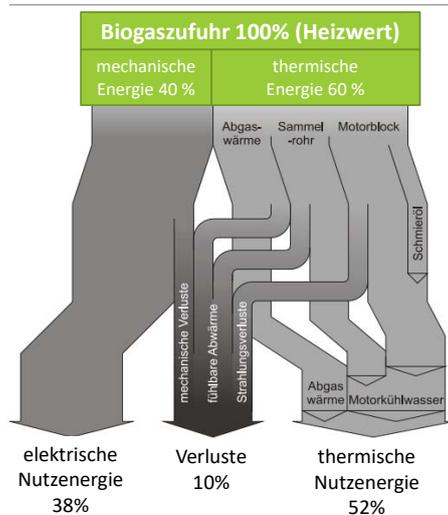
Leitfaden Biogas -
Von der Gewinnung zur
Nutzung

[FNR: Mediathek -
Leitfaden Biogas](#)

Kapitel 4 „Beschreibung
ausgewählter
Substrate“



Berechnung Energieertrag – KWK Anwendung



Energieertrag max. [kWh] =

*Methanertrag [Nm³] * Heizwert [kWh/Nm³]*

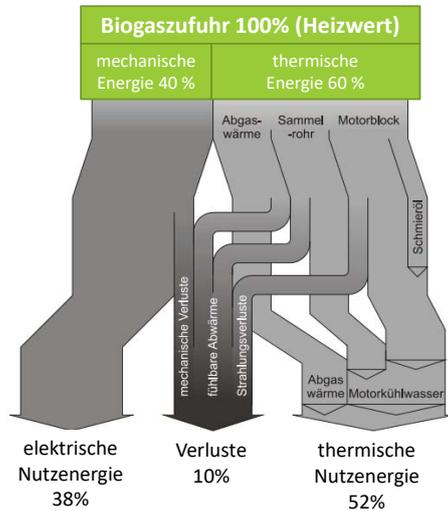
Energieertrag elektrisch [kWh_{el}] =

*Energieertrag max. [kWh] * el. Wirkungsgrad η_{el} [%]*

Energieertrag thermisch [kWh_{th}] =

*Energieertrag max. [kWh] * th. Wirkungsgrad η_{th} [%]*

Berechnung Energieertrag – KWK Anwendung



Schweinegülle

Energieertrag max. [kWh] =

$$14.100 \text{ Nm}^3 * 10 \text{ kWh/Nm}^3 = 141.000 \text{ kWh}$$

Energieertrag elektrisch [kWh_{el}] =

$$141.000 \text{ kWh} * 38 \% = 54.000 \text{ kWh}_{el}$$

Energieertrag thermisch [kWh_{th}] =

$$141.000 \text{ kWh} * 52 \% = 73.000 \text{ kWh}_{th}$$

Berechnung Energieertrag – KWK Anwendung

Schweinegülle		Maisstroh	
Frischmasse:	1.000 t _{FM}	Frischmasse:	1.000 t _{FM}
Methanertrag (theor.)	14.100 Nm ³ _{CH₄}	Methanertrag (theor.)	147.600 Nm ³ _{CH₄}
Heizwert Methan	~ 10 kWh Nm ⁻³	Heizwert Methan	~ 10 kWh Nm ⁻³
Energieertrag ges.	141.000 kWh	Energieertrag ges.	1.476.000 kWh
el. Wirkungsgrad η _{el}	38 %	el. Wirkungsgrad η _{el}	38 %
Energieertrag el.	54.000 kWh _{el}	Energieertrag el.	561.000 kWh _{el}
th. Wirkungsgrad η _{th}	52 %	th. Wirkungsgrad η _{th}	52 %
Energieertrag th.	73.000 kWh _{th}	Energieertrag th.	768.000 kWh _{th}

$$\text{elektrische Leistung BHKW [kW}_{el}] = \frac{\text{Energieertrag el. [kWh}_{el}]}{\text{Volllaststunden [h]}}$$

Berechnung Energieertrag – KWK Anwendung

Maisstroh

1.000 t

$$\text{elektrische Leistung BHKW [kW}_{el}] = \frac{\text{Energieertrag el. [kWh}_{el}]}{\text{Volllaststunden [h]}}$$

$$\text{elektrische Leistung BHKW [kW}_{el}] = \frac{561.000 \text{ kWh}_{el}}{8.000 \text{ h}} = 70 \text{ kW}_{el}$$

$$\text{thermische Leistung BHKW [kW}_{th}] = \frac{768.000 \text{ kWh}_{th}}{8.000 \text{ h}} = 96 \text{ kW}_{th}$$

Faustzahlen für die Ableitung der möglichen elektrischen Leistung nach Substraten

1.000 m ³ Rindergülle	7 kW _{el}
1.000 t Rindermist	15 kW _{el}
1.000 m ³ Schweinegülle	5 kW _{el}
1.000 t Geflügelmist	30 kW _{el}
1.000 t Getreideausputz	130 kW _{el}
1.000 t Obsttrester	25 kW _{el}
1.000 m ³ Molke	8 kW _{el}
1.000 t Zwischenfrüchte	20 kW _{el}
1.000 t Grünland, 3./4. Schnitt	45 kW _{el}
1.000 t Maisstroh (mechanisch aufbereitet)	80 kW _{el}
1.000 t Getreidestroh (mechanisch aufbereitet)	70 kW _{el}

Berechnung Energieertrag - Gaseinspeisung

Schweinegülle		Maisstroh	
Frischmasse:	1000 t _{FM}	Frischmasse:	1000 t _{FM}
Methanertrag (theor.)	14.100 Nm ³ _{CH₄}	Methanertrag (theor.)	147.600 Nm ³ _{CH₄}

Energieertrag max. [kWh_{CH₄}] =

Methanertrag [Nm³] * **Brennwert** [kWh/Nm³] Brennwert Methan ~ 11 kWh/Nm³

Energieertrag max.	155.000 kWh _{hs}	Energieertrag max.	1.624.000 kWh _{hs}
--------------------	---------------------------	--------------------	-----------------------------

Einspeiseleistung [Nm³h⁻¹] bzw. [kWh h⁻¹] = $\frac{\text{Methanertrag [Nm}^3_{\text{CH}_4\text{]}}}{\text{Volllaststunden [h]}}$ = $\frac{\text{Energieertrag max. [kWh}_{\text{hs}}\text{]}}{\text{Volllaststunden [h]}}$

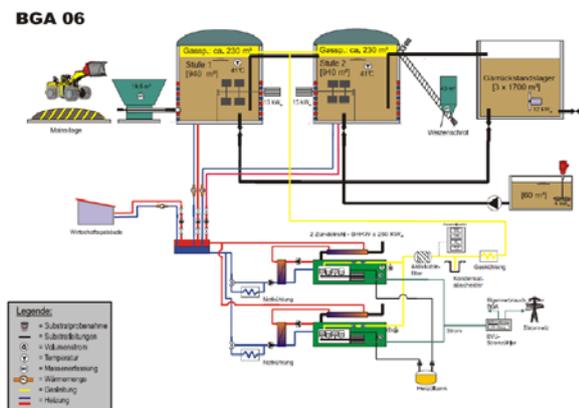
Einspeiseleistung	1,7 Nm ³ h ⁻¹	Einspeiseleistung	18,5 Nm ³ h ⁻¹
Einspeiseleistung	19,4 kWh _{hs} h ⁻¹	Einspeiseleistung	203 kWh _{hs} h ⁻¹

Beispiel: Substrateinsatz einer 250 kW_{el} Biogasanlage mit Vor-Ort-Verstromung (ungefähre Werte)

Substrateinsatz [t_{FM} a⁻¹]:

- Grassilage 1.000 t
- Grünroggensilage 500 t
- Zwischenfrüchte 800 t
- Maisstroh 1.500 t
- Getreideausputz 250 t
- Schweinegülle 1.000 t
- Milchviehgülle 750 t

Summe Input: 5.800 t_{FM} a⁻¹
Methanertrag: 570.700 Nm³_{CH₄} a⁻¹
Gärprodukt: 4.100 t a⁻¹



Beispiel: Substrateinsatz einer Biomethan-Anlage mit $250 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ Einspeiseleistung (ungefähre Werte)



Entspricht einer brennwertbezogenen Einspeiseleistung von $\sim 2,8 \text{ MW}_{\text{hs}}$ bzw. einem Leistungsäquivalent von $\sim 1 \text{ MW}_{\text{el}}$

Substrateinsatz [$\text{t}_{\text{FM}} \text{ a}^{-1}$]:

– Hirse	1.000 t
– Ganzpflanzensilage	1.000 t
– Maisstroh	4.500 t
– Getreideausputz	2.200 t
– Molkereiabfälle	3.000 t
– Obst-, Gemüseabfälle	2.000 t
– Rindermist	4.000 t
– Pferdekot	2.000 t

Summe Input:	$19.700 \text{ t}_{\text{FM}} \text{ a}^{-1}$
Methanertrag:	$2.070.000 \text{ Nm}^3_{\text{CH}_4} \text{ a}^{-1}$
Gärprodukt:	13.500 t a^{-1}



Symbolbild, Fotocredit: KBVÖ



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

BEI FRAGEN GERNE KONTAKTIEREN:



Florian Brunner
brunner@kompost-biogas.info
 +43 664 3907900