

1. Welche umweltbiotechnologischen Verfahren kennen Sie, wo werden diese eingesetzt, welche Vor – und Nachteile weisen sie auf?

**Biotechnologische Abfall – und Nebenproduktverwertungsverfahren:**

Biotechnologische Veredelung von organischen Abfallstoffen zu Kompost, Dünger, Energie, Biogas.

Biotechnologische Verwertungs- und Entsorgungsverfahren haben den Vorteil, dass sie

- Umweltkonform, d.h. kreislauffähig sind
- Zu keiner Problemverlagerung führen
- rückstandsfrei ablaufen
- Meist energie- und kostensparend ablaufen
- Eine positive Akzeptanz haben

• **Kompostierung** zur Müll- und teilweisen Klärschlammverwertung (Trockene Abfälle 30 – 40% TS)

- Lange Prozessdauer, C wird in Huminstoffen angereichert; Geruchs- und Keimemissionen, Sickerwasseranfall

• **Faulung** (Methangärung) zur Entsorgung feuchter und pastöser Abfallstoffe sowie zur **Ausfaulung von Klärschlamm** und **Industrieabwasserreinigung**;

- sensibler Prozess, wechselnde Substratzusammensetzung problematisch; C in Biogas

- Biosynthese (Biopolymere, Biochemikalien)
- Biologische N-Fixierung
- Biopestizide
- Resistenzzüchtung
- Biologische Delignifizierung
- Biologischer Materialschutz
- Biologische Entschwefelung
- Kompostierung
- Faulung
- Dünger
- Futtermittel
- Biorecovery
- Bodenreinigung
- Bioakkumulation
- Biosorption
- Detoxifikation
- Grundwasserreinigung
- Abwasserreinigung
- Abluft(Gas)reinigung

**Vergleichende Gegenüberstellung von aerober und anaerober Kompostierung**

	AEROB	ANAEROB
<b>Energie</b>	Luftbedarf 4 m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> OTS	Biogas 0,3-0,5 m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> OTS
<b>Gesamtkosten<sup>1</sup></b>	70-105 (150) €/t Rohmaterial	150-250 €/t Rohmaterial
<b>Kompostqualität</b>	Norm erreichbar	K.E.
<b>Hygiene</b>	Norm erreichbar	K.E.
<b>Gewichtsverlust</b>	31-62 %	~80 % <sup>2</sup>
<b>Behandlungsdauer</b>	Einige Monate	Einige Wochen
<b>Emissionen</b>	NH <sub>3</sub> , Fl.Fettsäuren, Sulfide, CH <sub>4</sub> , Pilzsporen, Bakterien	Keine
<b>CO<sub>2</sub>-Bilanz</b>	1,47 kg CO <sub>2</sub> /kg Glucose <sup>3</sup>	1,47 kg CO <sub>2</sub> /kg Glucose <sup>4</sup>
<b>Wärmetönung</b>	2.803 KJ/Mol Glucose	132 KJ/Mol Glucose
<b>C:N - Verhältnis</b>	7-15	~20
<b>Ges.-N (% d. TS)</b>	~0,9	~1,7
<b>Organ. TS (% d. TS)</b>	~79	~64

1-Scheucher (1992); 2-Wiljan (1992), DeBaere et al, (1985); 3-Vollst. Oxidation; 4-Inkl. CH<sub>4</sub>-Verbrennung; K.E.-Keine Erfahrungswerte

• **Biologische Bodenreinigung:**

Mieten- oder Reaktorverfahren (on-site, off-site),

Das Mieten-verfahren ist eine spezielle Form der Kompostierung. Der Bodenaushub wird zunächst klassiert und homogenisiert sowie entsprechend der Ergebnisse von Voruntersuchungen mit Struktur- und Nährstoffen konditioniert. Die Homogenisierung und Konditionierung bewirkt eine Verteilung der Schadstoffe im Boden, eine Auflockerung der Bodenstruktur sowie eine gute Durchlüftung des Materials. Der aufbereitete Boden wird zum mikrobiellen Schadstoffabbau in Tafelmieten von ca. 1,5 m bis 2 m Höhe (je nach Bodenart) aufgesetzt. Die Mieten können über Belüftungsrohre und/oder Berieselungssysteme oder durch regelmäßiges Wenden des Bodens mit Sauerstoff, Wasser und Nährstoffen versorgt werden. Verglichen mit dem Landfarming ist der Flächenbedarf von Mietenverfahren deutlich geringer. Die Einhausung der Mieten durch Zelte bzw. die Behandlung einer ortsfesten Anlage schützt den Boden vor Witterungseinflüssen und ermöglicht die Einstellung optimaler Abbaubedingungen. Ausgasende Schadstoffe können gefaßt und die Luft in Bio- und oder Aktivkohlefiltern gereinigt werden. Die Behandlungszeiten liegen im Zeitraum von Wochen bis Monaten.

in-situ Verfahren; genaue Voruntersuchungen notwendig, Bioverfügbarkeit, ausreichend aktive Organismen, gute Wachstumsbedingungen (Nährstoffe, Wasser, Temperatur), lange Prozessdauer, Sanierung bebauter Flächen möglich, keine Kosten für Deponierung von Aushub

- **Biologische Abluftreinigung:**

**Biofilter, Biowäscher, Tropfkörper, Membranbioreaktoren;**

Verfahrenswahl abhängig von **Rohgaskonzentration** und **Henry-Koeffizient des Rohgases**;

- **Biofilter:** Filtermaterial **Kompost**, v.A. zur Geruchsbeseitigung,
- **Biowäscher:** Schadstoffe werden in **Waschwasser absorbiert**, dann **Belebungsbecken (für wasserlösliche Schadstoffe)**
- **Tropfkörper: Mischverfahren**

→ Die Reinigung erfolgt dabei durch Verrieselung des **Abwassers** über ein Festbett (Kunststoff, Lavaschlacke etc.). Die Belüftung erfolgt im Gegenstrom. Auf das Festbett aufgewachsene Bakterienrasen nehmen den Abbau biologisch abbaubarer Abwasserinhaltsstoffe vor. Der zuwachsende Bakterienrasen wird durch das durchrieselnde Abwasser abgeschwemmt und im Nachklärbecken abgetrennt.

## 2. Was ist Mineralisierung? Vergleichen Sie anaerobe und aerobe Verfahren zur Behandlung (Verwertung) organischer Abfälle?

**Umwandlung von organisch gebundenen chemischen Elementen in anorganische Verbindungen.**

Mineralisierung ist der **Abbau organischer Substanzen** zu v.A. den Endprodukten **CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O**, weiters entstehen **Biomasse und Wärme**

- **Kompostierung:** Bakterien, Pilze und MOs setzen org. Material zu Huminstoffen, Biomasse, Wärme, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O um. **Ausreichende O<sub>2</sub>-Versorgung und Feuchtigkeit** müssen gewährleistet werden.

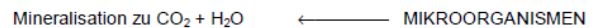
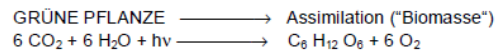
**50%** der Substratenergie in **Zellvermehrung**, **Großteil in Wärme**, **Gewichtsverlust: 30 – 60%**, Behandlungsdauer: 2-4 Wochen Intensivrotte,

mehrere Monate Nachrotte

- **Methangärung:** nur **5-10%** der Substratenergie gehen in die **Biomasseproduktion**, Großteil in Biogas (ca. 2/3 CH<sub>4</sub>, 1/3 CO<sub>2</sub>), **Gewichtsverlust 60 – 90%**,

Behandlungsdauer: 2 Wochen Reaktor,

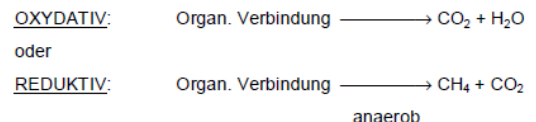
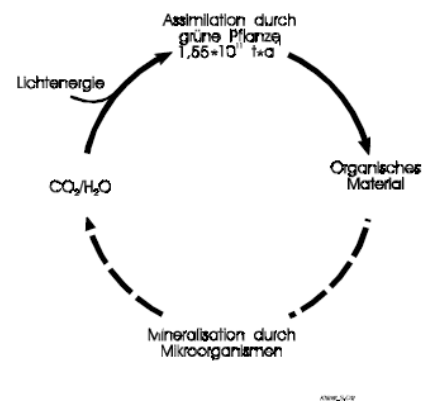
2 Wochen Nachrotte



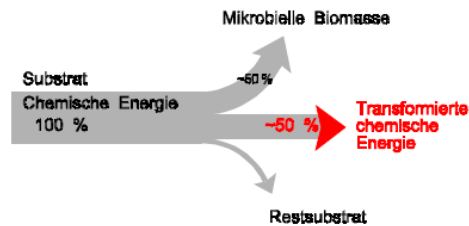
Vergleichende Gegenüberstellung von aerober und anaerober Kompostierung

	AEROB	ANAEROB
<b>Energie</b>	Luftbedarf 4 m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> OTS	Biogas 0,3-0,5 m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> OTS
<b>Gesamtkosten<sup>1</sup></b>	70-105 (150) €/t Rohmaterial	150-250 €/t Rohmaterial
<b>Kompostqualität</b>	Norm erreichbar	K.E.
<b>Hygiene</b>	Norm erreichbar	K.E.
<b>Gewichtsverlust</b>	31-62 %	~80 % <sup>2</sup>
<b>Behandlungsdauer</b>	Einige Monate	Einige Wochen
<b>Emissionen</b>	NH <sub>3</sub> , Fl.Fettsäuren, Sulfide, CH <sub>4</sub> , Pilzsporen, Bakterien	Keine
<b>CO<sub>2</sub>-Bilanz</b>	1,47 kg CO <sub>2</sub> /kg Glucose <sup>3</sup>	1,47 kg CO <sub>2</sub> /kg Glucose <sup>4</sup>
<b>Wärmetönung</b>	2.803 KJ/Mol Glucose	132 KJ/Mol Glucose
<b>C:N - Verhältnis</b>	7-15	~20
<b>Ges.-N (% d. TS)</b>	~0,9	~1,7
<b>Organ. TS (% d. TS)</b>	~79	~64

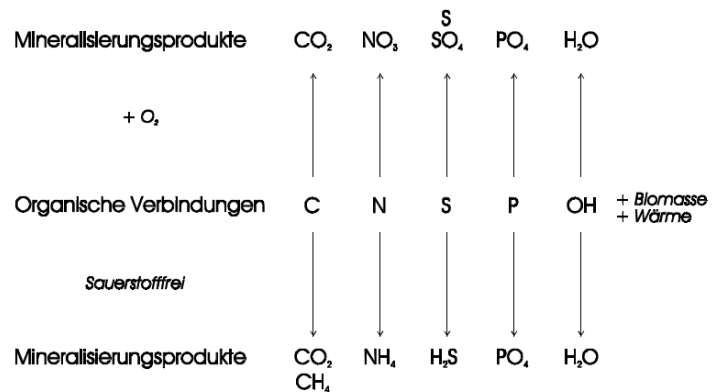
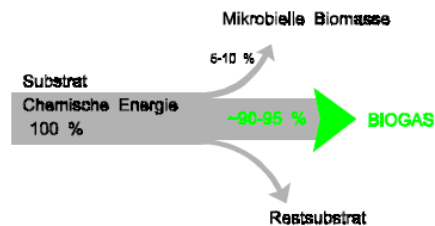
1-Scheucher (1992); 2-Wiljan (1992), DeBaere et al, (1985); 3-Vollst. Oxidation; 4-Inkl. CH<sub>4</sub>-Verbrennung; K.E.-Keine Erfahrungswerte



### AEROBE ENERGIETRANSFORMATION



### ANAEROBE ENERGIETRANSFORMATION



### 3. Welches sind weltweit die wichtigsten Umweltschutzprobleme, welche betreffen Österreich?

- **Treibhauseffekt**, zu viele Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CKW...) in der Atmosphäre, u.A. aus Verbrennung fossiler Brennstoffe, Brandrodungen, Verkehr
- **Kontamination von Boden und Gewässern** durch Schadstoffe (alte Deponien, Raffinerien, chem. Industrie, Landwirtschaft)
- **Steigender Energieverbrauch** einerseits durch das Bevölkerungswachstum, andererseits durch schleppende Umsetzung nachhaltiger Betriebsweisen (Ressourcenschonung, energieeffizientere Prozesse, Kreislaufprozesse)

Österreich: **Altlasten**, Verkehr, Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe (Lösungsmittel), konsequentere Klimapolitik von Nöten

### 4. Was ist eine Mischkultur bzw. Reinkultur? Beschreiben Sie die Kulturen der Methangärung bzw. der Kompostierung!

Reinkultur: nur eine Art von Mikroorganismen (Bsp. Zitronensäuregärung – *A. niger*; alkohol. Gärung – *S. cerevisiae*; Xanthan – *Xanthomonas campestris*)

Mischkultur: verschiedene MiOs (Sauerkraut, Silage – *Leuconostoc mesenteroides* + *Lactobacillus brevis* + *L. plantarum*; Kompostierung; Methangärung)

TYPISCHE REINKULTUREN		TYPISCHE MISCHKULTUREN		MISCHKULTUR der KOMPOSTIERUNG	
					Zellzahl (je g Kompst feucht)
Zitronensäuregärung	<i>A. niger</i>	Sauerkraut (Silage)	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> <i>Lactobacillus brevis</i> <i>L. plantarum</i>	BAKTERIEN	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>9</sup>
Alkohol. Gärung	<i>S. cerevisiae</i>	Sojasauce	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>L. delbrückii</i> <i>S. rouxii</i> <i>Zygosacch. sojae</i> <i>Z. major</i>	ACTINOMYCETEN	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>
Aceton-Butanol-Gärung	<i>Cl. acetobutylicum</i>	Pulque	<i>S. cerevisiae</i> <i>L. plantarum</i> <i>Zymononas mobilis</i>	SCHIMMELPILZE	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>
Essigsäuregärung	<i>Ab. acetii</i>	Methangärung	Hydrolytische Bakterien Acetogene Bakterien Methanbakterien	ALGEN	10 <sup>4</sup>
Aminosäuren	<i>Corynebact. glutamicum</i>			PROTOZOEN	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>
Vitamine	<i>Propionibact. freudenreichii</i>			VIREN	
Dextran	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Belebtschlamm	Diverse Bakterien Diverse Protozoen Div. höh. Organismen	HÖHERE PILZE (zB. Champignon)	
Xanthan	<i>Xanthomonas campestris</i>	Kompost	Diverse Bakterien Diverse Pilze Diverse höh. Organismen	KLEINTIERE (Würmer, Käfer, Ameisen, Milben, Spinnen, Tausendfüßer)	

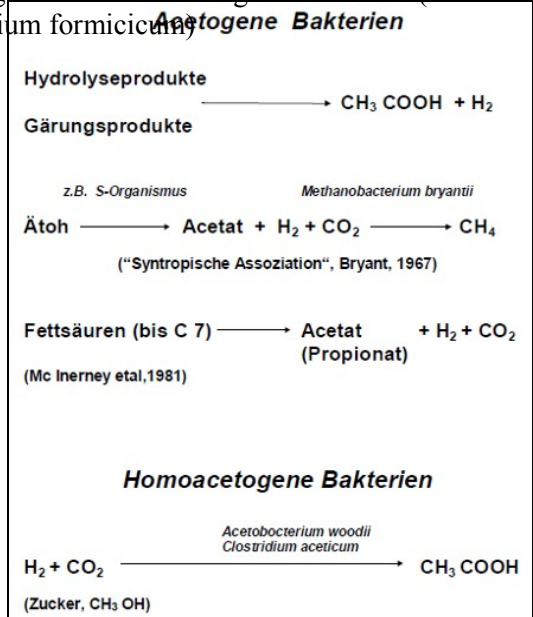
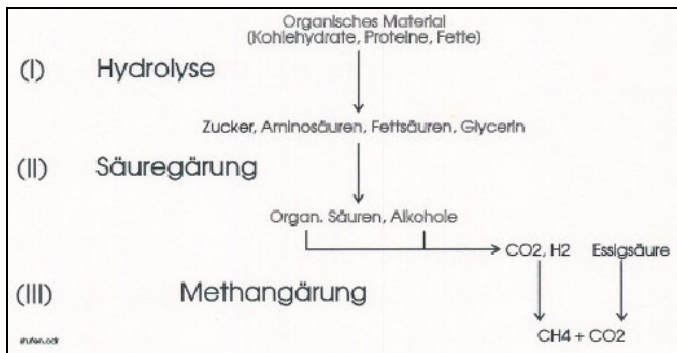
Bei beiden Prozessen liegen Mischkulturen vor, das heißt der Abbau erfolgt durch mehrere Lebensformen.

• **Kompostierung:**

1. Bakterien (Zellzahl je g Kompost feucht  $10^8 - 10^9$ ),
2. Actinomyceten ( $10^5 - 10^8$ ),
3. Schimmelpilze ( $10^4 - 10^6$ ),
4. Algen ( $10^4$ ),
5. Protozoen ( $10^4 - 10^5$ ),
6. höhere Pilze (z.B. Champignon),
7. Kleintiere (Würmer, Käfer, Ameisen, Milben, Spinnen, Tausendfüßer)

• **Methangärung:**

1. Hydrolytische Bakterien (z.B. Bacillus, Pseudomonas),
2. Abbau der Hydrolyseprodukte durch versch. MOs, acetogene und homoacetogene Bakterien (z.B. Clostridium aceticum), Methanbakterien (Methanobacterium formicicum)



MIKROBIOLOGIE DER METHANGÄRUNG

In der Mischkultur beteiligt sind:

- Hydrolytische Bakterien
- Fermentative Bakterien
- Acetogene Bakterien
- Methanbakterien

HYDROLYTISCHE BAKTERIEN

Zellulolytische

Zellulose  $\rightarrow$  Glukose, Essigsäure, Äthanol,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$   
 zB. *Ruminococcus flavefaciens*, *Clostridium thermocellum*  
 ca.  $4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^5$  Keime/ml

Amylolytische

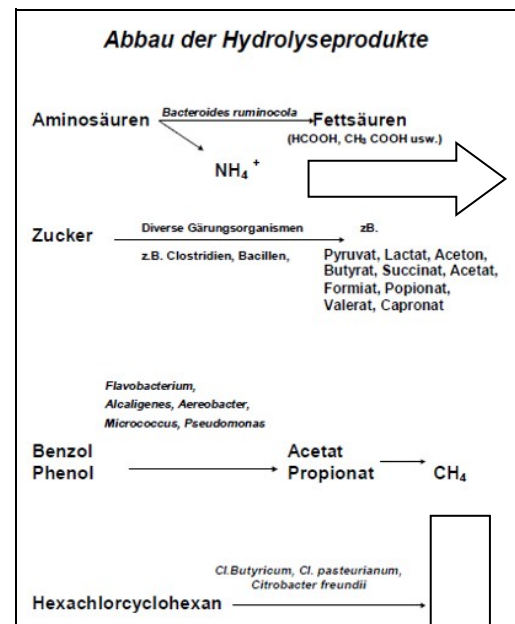
Stärke  $\rightarrow$  Glucose  
 zB. *Clostridium butyricum*, *Bacteroides*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Mikrococcus*  
 ca.  $10^4 - 10^5$  Keime/ml

Proteolytische

Proteine  $\rightarrow$  Aminosäuren  
 zB. *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Clostridien*  
 ca.  $4 \cdot 10^4 - 6,5 \cdot 10^7$  Keime/ml

Lipolytische

Lipide Fette  
 zB. *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*,  
 ca.  $10^4 - 10^5$  Keime/ml



METHANBAKTERIEN

Substrat:  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$

Von allen bisher isolierten M. verwertet  
 zB. *Methanobacterium formicicum*  
*Methanosarcina barkeri*  
*Methanobacterium thermoautotrophicum*  
*Methanobrevibacter arborophilus*  
*Methanospirillum hungatei*  
*Methanobacterium bryantii*  
*Methanomicrobium mobile*  
*Methanobrevibacter smithii*  
*Methanogenium cariaci*  
*Methanogenium maris nigr*

\*) verwerten nur  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$

Substrat:  $\text{HCOOH}$

*Methanobacterium formicicum*  
*Methanobrevibacter smithii*  
*Methanogenium marisnigri*  
*Methanogenium cariaci*

Substrat:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;  $\text{CH}_3\text{OH}$

*Methanosarcina barkeri*

METHANBAKTERIEN

Substrat:  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$

Von allen bisher isolierten M. verwertet  
 zB. *Methanobacterium formicicum*  
*Methanosarcina barkeri*  
*Methanobacterium thermoautotrophicum*  
*Methanobrevibacter arborophilus*  
*Methanospirillum hungatei*  
*Methanobacterium bryantii*  
*Methanomicrobium mobile*  
*Methanobrevibacter smithii*  
*Methanogenium cariaci*  
*Methanogenium maris nigr*

\*) verwerten nur  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$

Substrat:  $\text{HCOOH}$

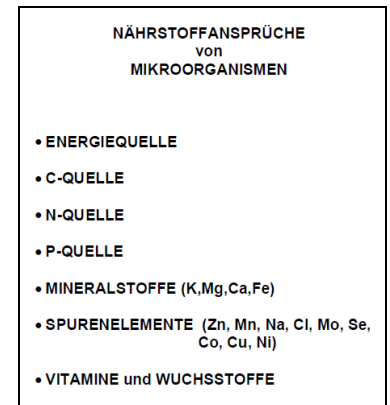
*Methanobacterium formicicum*  
*Methanomicrobium mobile*  
*Methanobrevibacter smithii*  
*Methanogenium marisnigri*  
*Methanogenium cariaci*

Substrat:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;  $\text{CH}_3\text{OH}$

*Methanosarcina barkeri*

## 5. Die wichtigsten Wachstumsvoraussetzungen für Mikroorganismen?

**Kompostierung:** ausreichende Nährstoffverfügbarkeit, Temperatur (jeweiliger Bereich Optimum für bestimmte MO-Gruppe), Sauerstoffzufuhr, pH-Wert (zu Beginn sauer, gegen Ende leicht alkalisch), Wassergehalt  
**Methangärung:** streng anaerob, stark reduzierendes Milieu, pH  $\approx$  7, Temperatur 30° bis 55°C, Wassergehalt mind. 50-60%, geringe Konzentration v. org. Säuren und Fettsäuren



## 6. Nennen Sie Beispiele möglicher Vorsorgeverfahren!

Vorsorgetechnologien = Verfahren bei denen Umweltschäden von vornherein vermieden werden. „Clean Technologies“

- Generierung von Bioenergie (Biomasse, Biogas, Biosprit),
- Biosynthese von Chemikalien (organ. Säuren, Lösungsmittel),
- Herstellung von Biopolymeren (Polyhydroxybutyrat aus Bakterien),
- Biopestiziden, biologische Stickstofffixierung, Resistenzzüchtung v. Pflanzen, biolog. Holzschutzverfahren, biolog. Delignifizierung

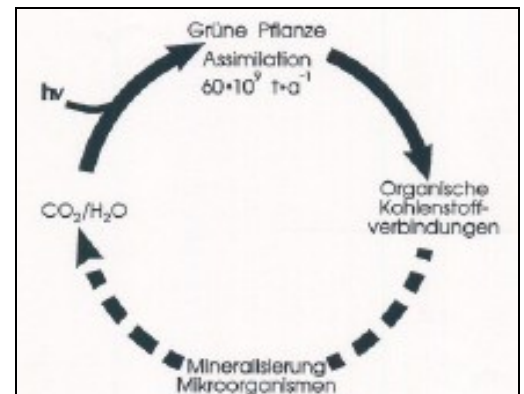
Diese Verfahren sind CO<sub>2</sub> neutral (keine zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen) und durch Verwendung von Biomasse prinzipiell kreislauffähig.

## 7. Was sind anthropogene Störungen natürlicher Stoffkreisläufe?

Vom Menschen nicht auf ihre Konsequenzen hin durchdachte Eingriffe in die Natur.

Biomasse unterliegt ständigem Assimilations-Mineralisierungs-Kreislauf. Dieser Vorgang ist in der Natur exakt bilanziert, d.h. im Mineralisierungsprozess der MiOs entstehendes CO<sub>2</sub> wird von Pflanzen wieder vollständig assimiliert. Anthropogene (menschliche) Eingriffe in den Kreislauf (exzessive Verwendung fossile Rohstoffe und Energieträger) führen zu einer Gleichgewichtsverschiebung, d.h. Zunahme des CO<sub>2</sub> Gehaltes.

Die KWs fossiler organischer Rohstoffe (Erdöl, Kohle, Gas) gelangen als zusätzliches CO<sub>2</sub> in den Kreislauf. Riesige Rinderherden und Reisfelder produzieren zusätzlich Methan. Verschärft wird die Problematik durch gleichzeitige massive Entwaldung (Brandrohung, nicht nachhaltige Holznutzung)



## 8. Potentiell verwert- und veredelbare Abfälle

Abfälle mit einem hohen Anteil organischer Inhaltsstoffe, z.B. aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, Gärungsindustrie, Papier – und Zellstoffindustrie

Zur Kompostierung vorgeschlagene industrielle org. Nebenprodukte und Abfälle

### Einflußfaktoren auf die Abfallverwertung

- Mischabfall
- Störstoffe, Schadstoffe
- Nährstoff- und Konzentrationsverhältnisse
- Wechselnde Zusammensetzung
- Saisonaler- / fluktuierender Anfall
- Sammlungs- / Transportkosten
- Rechtsunsicherheit / Verfahrensdauer
- Produktqualität / Haltbarkeit / Lagerfähigkeit
- Absatzunsicherheit / Akzeptanz

### INDUSTRIE

Konserven  
Mühlen  
Zucker  
Süßwaren  
Gärungsprodukte  
Fett und Öl  
Gewürze  
Schlachthof  
Tierfutter  
Winzerei  
Pharma  
Textilwaren  
Papier u. Zellstoff  
Holzverarbeitung

### NEBENPRODUKTE und ABFÄLLE

Schalen, Hülsen, Häute, Wurzeln, Kerne  
Reinigungsabfall, Schoten, Spreu, Hülsen, Staub,  
Preßschnitzel, Rübenenteile  
Kaffee-, Kakaorückstände  
Preßrückstände, Melassen, Ablaugen  
Pflanzenschleime, Preßkuchen, Preßrückstände  
Pflanzenrückstände  
Panseninhalt, Exkrememente  
Pflanzenrückstände  
Kämme, Trester, Rebschnitt  
Pflanzenrückstände  
Flachsreste, Kardierrückstände, Wollfett, Wollstaub  
Papierschlamm, Holzabfälle, Sägespäne, Rinde  
Sägespäne, Holzspäne

## 9. Nennen Sie die wichtigsten gesetzlichen Regelungen in der Abfallwirtschaft!

### Das Abfallwirtschaftsgesetz 2002

Das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002) wurde 2002 neu beschlossen (BGBl. I Nr.102/2002).

Bei der Neufassung des AWG 2002 wurde das Prinzip der Abfallvermeidung stärker verankert. Unter Beachtung des Kosten-Nutzen-Prinzips soll eine ökologisch sinnvolle Abfallverwertung unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit verstärkt umgesetzt werden.

Das AWG 2002 ist in zehn Abschnitte gegliedert und umfasst 91 Paragraphen.

Wesentliche Neuerungen und Ergänzungen erfolgten hinsichtlich

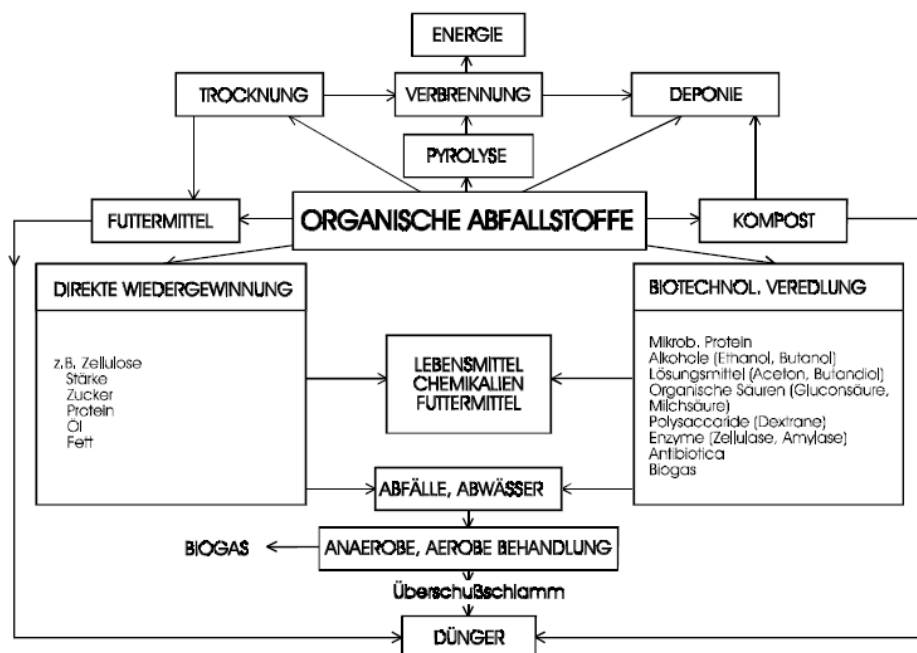
- Aufnahme des Prinzips der Nachhaltigkeit und des Vorsorgeprinzips
- Änderung des Abfallbegriffs und einiger Definitionen
- Fortschreibung des Abfallwirtschaftskonzepts alle fünf Jahre
- Neugestaltung der Regelungen bezüglich Abfallbeauftragten
- Festlegung von Behandlungspflichten
- Einführung des elektronischen Datenmanagements für Abfallsammler und -behandler
- Einführung einer Missbrauchsaufsicht für haushaltsnahe Sammel- und Verwertungssysteme
- Änderungen im Anlagenrecht

#### GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

- Verbot der Deponierung von Abfällen mit mehr als 5% organischem Kohlenstoff (TOC) ab 1.1.2004 (Abfallwirtschaftsgesetz, §5, Abs. 7)
- Deponieverordnung BGBl.Nr. 164/1996).
- EU-Richtlinie zur vermehrten Nutzung erneuerbaren Energien in Europa (2001/77/EC). Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion soll bis 2010 EU-weit auf 22% angehoben werden.
- EU-Richtlinie zur Reduzierung der Umweltverschmutzung durch Deponien (1999/31/EC).
- Hygieneverordnung (EU) 1774/2002 für tierische Nebenprodukte, die nicht zum menschlichen Verzehr geeignet sind.
- Kulturpflanzenflächenzahlungsverordnung 2000 BGBl. 496/1999 (Anbau auf Stilllegungsflächen)
- Ökostromgesetz mit Verordnungen über Strom Einspeisetarife

## 10. Prinzipielle Verwertungsverfahren für org. Abfallstoffe

- Direkte Verwertung (Verbrennung, Futtermittel, Dünger)
- Verwertung nach Trocknung und Konditionierung
- Stoffliche Wiedergewinnung (Zellulose, Stärke, Zucker, Protein, Öl)
- Biotechnologische Veredelung (Kompost, Dünger, Biogas, Biochemikalien)



### 11. Nennen Sie die Beurteilungskriterien zur Verfahrenswahl eines Behandlungsverfahrens!

Wechselnde Zusammensetzung (z.B. saisonal)	Hoher Zellulosegehalt erschwert Methangärung
Feste und halbfeste org. Materialien haben eine große Schwankungsbreite betreffend Wasser - und Nährstoffgehalt.	Trockene Abfälle (> 30 – 40% TS) für Kompostierung, feuchte und pastöse Materialien für Methangärung
Verfahrensdauer	
Schadstoffe, Störstoffe, Produktqualität	
Akzeptanz	
Sammlungs- und Transportkosten	

### 12. Welches sind die Betriebsbedingungen für die Kompostierung bzw. die Methangärung?

- Kompostierung: ausreichende Nährstoffverfügbarkeit, Temperatur (jeweiliger Bereich Optimum für bestimmte MO-Gruppe), Sauerstoffzufuhr (v.a. am Anfang durch Umsetzen der Mieten und günstige Materialstruktur), pH-Wert (zu Beginn sauer, gegen Ende leicht alkalisch), Wassergehalt
- Methangärung: streng anaerob, stark reduzierendes Milieu (Absenkung Redoxpotential <-300mV)), pH ≈ 7, Temperatur 30° bis 55°C, Wassergehalt im Substrat mind. 50-60%, geringe Konzentration v. org. Säuren und Fettsäuren

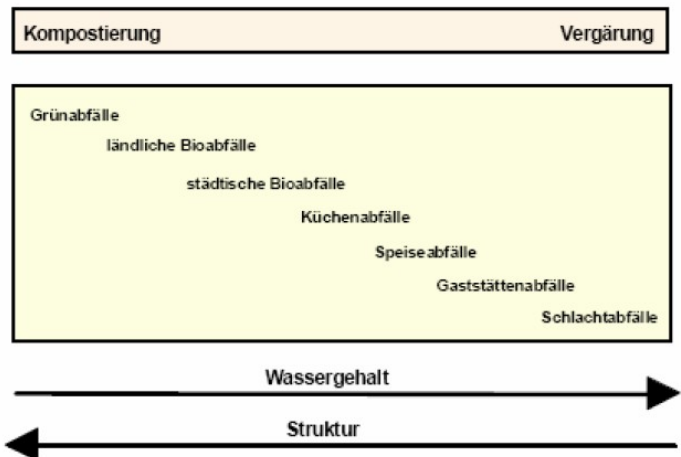
#### Betriebsbedingungen für die Kompostierung

(Klammerwerte: Minima und Maxima)

Wassergehalt (%)	(25) 50 - 60 (70)
Luftporenvolumen (%)	(20) 30 - 35
C:N:P-Verhältnis	100 : 4 : 1
Partikelgröße (mm)	12,5 - 15 (50) <sup>1)</sup>
Belüftungsrate (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> ) <sup>2)</sup>	3-6 (10)

1) Belüftung durch Konvektion; 2) m<sup>3</sup> Mieten volumen

#### Anwendungsbereiche biologischer Verfahren

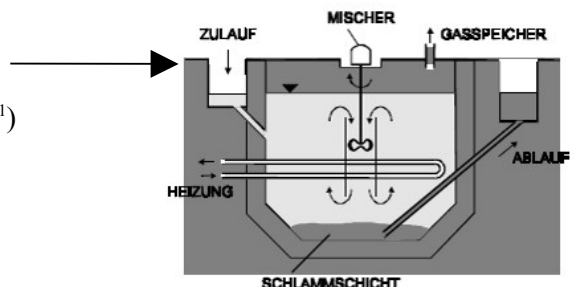


Vergleich von Kompostierung und Methangärung	
Kompostierung	Methangärung (anaerobe Kompostierung)
„Umbauprozess“ → Huminsubstanz	Abbau(Mineralisierungs)prozess
	geschlossenes System, erst geruchsfreies Material gelangt in die aerobe Nachrotte. Geruchs-, Schadstoff- (NH <sub>3</sub> , flüchtige FS, CH <sub>4</sub> ) oder Keimemissionen (Pilzsporen, Bakterien) treten nicht auf
Großteil der chem. Energie wird als Wärme freigesetzt (50-70%), schlecht nutzbar wegen geringem Temperaturgefälle (40-80°C) 30-50% werden als chem. Energie in Form von ATP zur Synthese neuer Zellen verwendet	Energieinhalt der organischen Masse bleibt nahezu vollständig in Form verwertbarer Biogase erhalten Verbrennungsenergie von Biogas engergetisch gut nutzbar
2-4 Wochen Intensivrotte + mehrere Monate Nachrotte (materialabhängig)	Faulung im Methanreaktor (14 Tage) + 14 Tage aerobe Nachrotte für verkehrsfähiges Produkt

### 13. Nennen Sie Faulturmsysteme, Betriebsweisen und Beispiele techn. Anwendungen!

Zur Schlammfäulung verwendete Reaktortypen:

1. Einstufige homogene kont. Reaktoren [Rührkessel]  
Charakteristika: hohe Verweilzeit (ca. 30d), meist quasikontinuierlich,  $x_F = x_S$ ,  $P_G$  klein (ca. 1-2m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>)

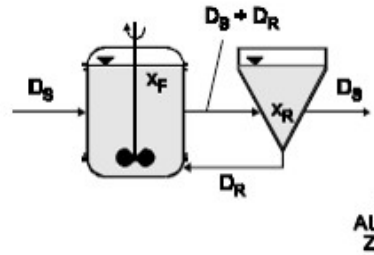


2. Einstufige homogene kont. Reaktoren mit Biomasserückführung [Kontaktprozess]  
 Charakteristika:  $x_S < x_F < x_R$ , hohe Produktivität, kurze Verweilzeit (Std bis d), Nachteil: Aggregation (Flockulation) nötig!

$$P_F = (D_S + D_R) \cdot x_F - D_R \cdot x_R$$

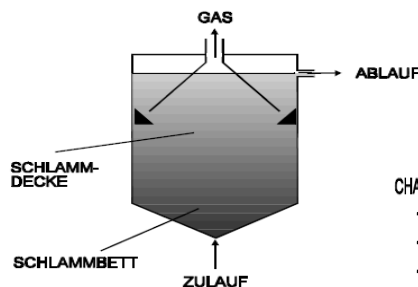
$$x_F = \frac{P_F + D_F \cdot x_R}{D_S + D_R} \rightarrow D_S \cdot x_S$$

$$x_F = \frac{D_S x_S + D_R \cdot x_R}{D_S + D_R}$$



3. Nicht homogene einstufige kontinuierliche Reaktoren

a. Schlammbett- bzw. UASB (upflow anaerobic sludge blanket) Reaktor: erfordert zum sicheren Betrieb einen granularen Schlamm (Einarbeitungszeit). Durch die hohe Aufströmgeschwindigkeit werden alle nicht granulationsfähigen (nicht absetzbaren) Bakterien durch Auswaschung verloren. Betrieb nicht unproblematisch, da Störstoffe Granulatbildung verhindern und dadurch Probleme verursachen können.



CHARAKTERISTIKA:

- $x_S < x_F$
- hohe  $P_G$  (bis 14)
- geringe Verweilzeit (5 - 24h)

NACHTEIL:

- suspendierte Feststoffe stören
- maximale Substratkonz. bis 20 g.l<sup>-1</sup> CSB
- Schlammbett oft instabil

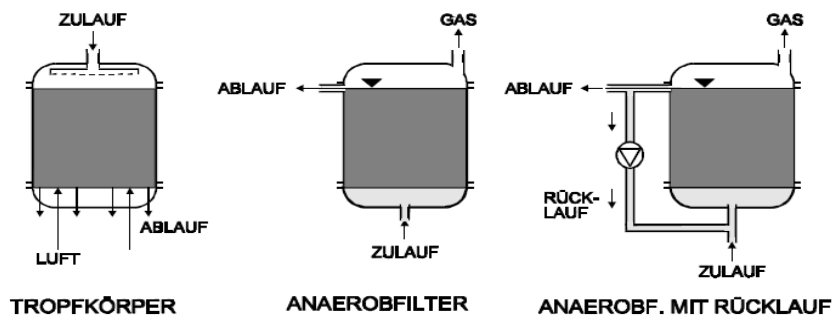
CHARAKTERISTIKA:

- $x_S < x_F$
- hohe  $P_G$  (bis 14)
- geringe Verweilzeit (5 - 24h)

NACHTEIL:

- suspendierte Feststoffe stören
- maximale Substratkonz. bis 20 g.l<sup>-1</sup> CSB
- Schlammbett oft instabil

b. Anaerobfilter: dem in der Abwassertechnik verbreiteten Tropfkörper nachempfunden. Fließrichtung des Substrates wurde von unten nach oben geändert, sodass Überstauung der Füllkörper und damit anaerobe Verhältnisse eintreten. Charakteristika:  $x_S < x_F$ , hohe Biogasproduktivität (bis 20 m<sup>3</sup> · m<sup>-3</sup> · d<sup>-1</sup>), geringe Aufenthaltszeit (Std. bis d); Nachteil: ungelöste Feststoffe stören (Zuwachsen des Reaktors)



c. Fließbettreaktor: Prinzip ist Fähigkeit zur Immobilisierung der Zellen (Aufwachsen an Träger). Häufig Sand als Träger, wird durch hydraulischen Kreislauf in Schwebelage gehalten.

4. Rohrreaktoren

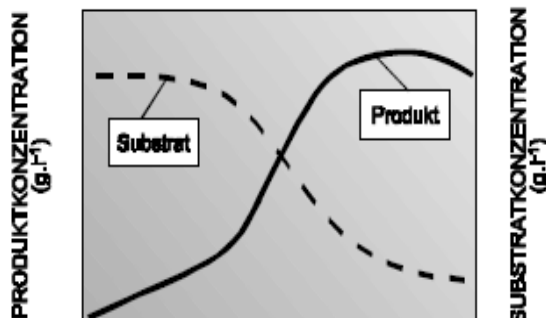
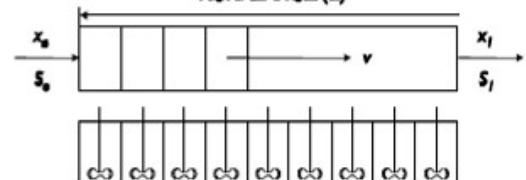
a. Echter Röhrenreaktor ( $L \gg \gg \gg d$ ) keine Längsdurchmischung (Pfropfenströmung), Verwendung bei Bildung toxischer Endprodukte

VERWEILZEIT = DURCHSTRÖMZEIT =  $t$

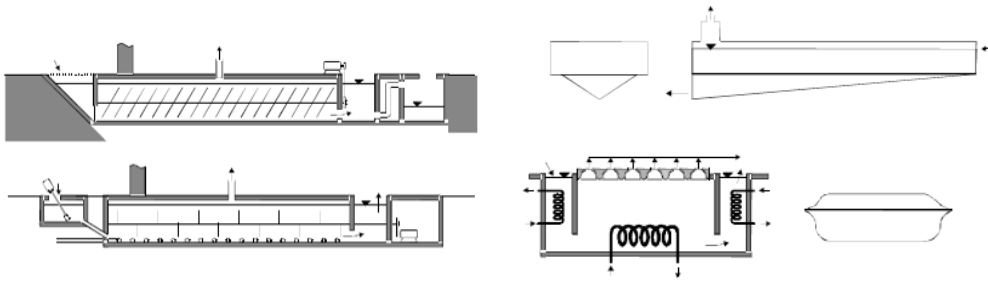
$$t = \frac{L}{v} \left( \frac{m}{m \cdot h^{-1}} \right) \quad (h)$$

$$P = \frac{x_I - x_0}{t} \quad (g \cdot l^{-1} \cdot h^{-1})$$

ROHRLÄNGE (L)



b. „Plug-Flow“-Reaktor)



5. Mehrstufige Reaktoren [Rührkesselskaskade]

Technische Anwendungen:

Abwasserreinigung, Abfallbeseitigung, Faulgrube für landwirtschaftliche Anwendungen zur Stromerzeugung, zur Verwertung tierischer Exkremente (Mist, Gülle) das Restsubstrat der Fäulung weist verbesserte Düngeeigenschaften und Pflanzenverträglichkeit auf. zur Ausfäulung v. Klärschlamm, Industrieabwasserreinigung (Lebensmittelproduktion, Tierkörperbeseitigung, Papier, Schlachthof) Aufgrund der besonderen Anforderungen haben sich u.a. zur Industrieabwasserreinigung Sonderbauformen von Methanreaktoren mit künstlich erhöhter Biomassekonzentration entwickelt. Aufarbeitung von kommunalem Müll (Biotonne)

14. Warum wird im Bioreaktor eine große Organismendichte angestrebt und wie wird diese erreicht?

Die Umsatzgeschwindigkeit soll verbessert werden

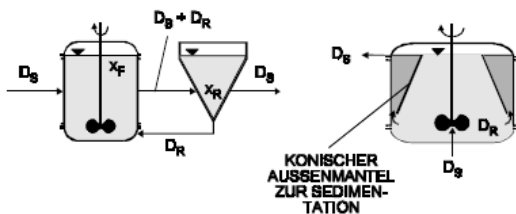
- UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) Reaktor
- Fließbettreaktor
- Anaerobfilter
- Membranbioreaktor
- Klassisch: Es wird ein Nachklärbecken nachgeschaltet, wo sich der Schlamm absetzt und in den Reaktor rückgeführt wird (TS – Konzentration 3-5 mal höher als ohne Rückführung). Bezeichnung: Kontaktprozess.

Konzentrationserhöhung entweder durch Absetzverhalten (Kontaktverfahren, UASB) oder Immobilisierungsverhalten (Anaerobfilter, Tropfkörper, Fließbettreaktor)

**CHARAKTERISTIKA:**

- $x_S < x_F$
- $x_R > x_F$
- hohe Produktivität
- kleine Verweilzeit (Bereich Stunden - Tage)

2. EINSTUFIG KONT. KULTUR MIT BIOMASSERÜCKFUHR



$$P_F = (D_S + D_R) \cdot x_F - D_R \cdot x_R$$

$$x_F = \frac{P_F + D_R \cdot x_R}{D_S + D_R} = D_S \cdot x_S$$

$$x_F = \frac{D_S \cdot x_S + D_R \cdot x_R}{D_S + D_R}$$

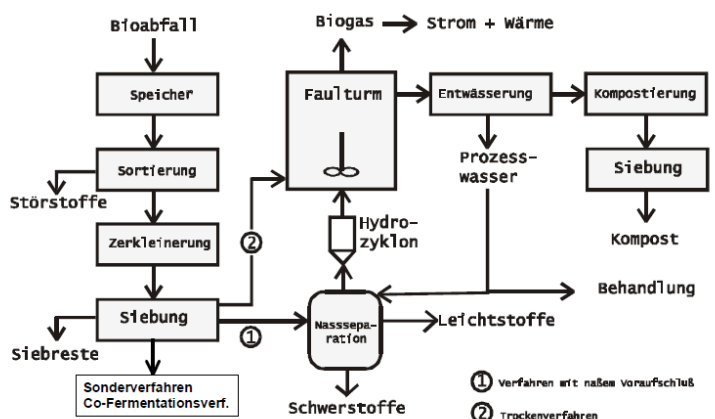
**NACHTEIL:** Aggregation (Flockulation) nötig

Verfahrensschemata von Nass- bzw. Trockenverfahren

15. Gegenüberstellung Trockengär- bzw. Nassgärverfahren

Trockenverfahren (TS im Reaktor 15-30%)  
DRANCO, VALGORA, KOMPOGAS u.a.

anaerober Gärungsprozess und aerobe Nachrotte



Anlieferung in Annahmetrichter mit Dosierboden

→ Vorbehandlung d. Abfalls (Sortierung, Siebung, Zerkleinerung, Metallabscheidung)

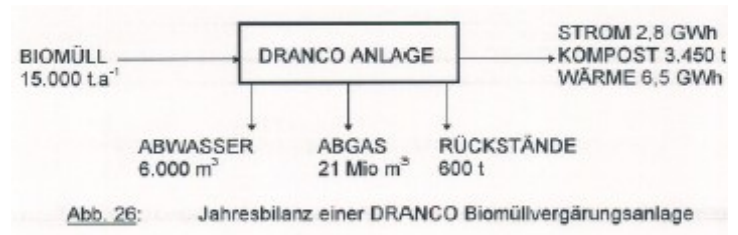
→ Anwärmen des Faulgutes mit Dampf (55°C) und Beschickung d. Methanreaktors (Beimpfung mit ausgefaultem Gärgut) 35% TS im Reaktor → Ausfäulung 3 Wochen bei 55°C,

→ Austragen und Abpressen des Faulgutes auf 50% TS, Vermischen mit Grünschnitt als Strukturmaterial

→ aerobe Nachrotte und Hygienisierung im geschlossenen Rottetunnel während 2-3 Wochen

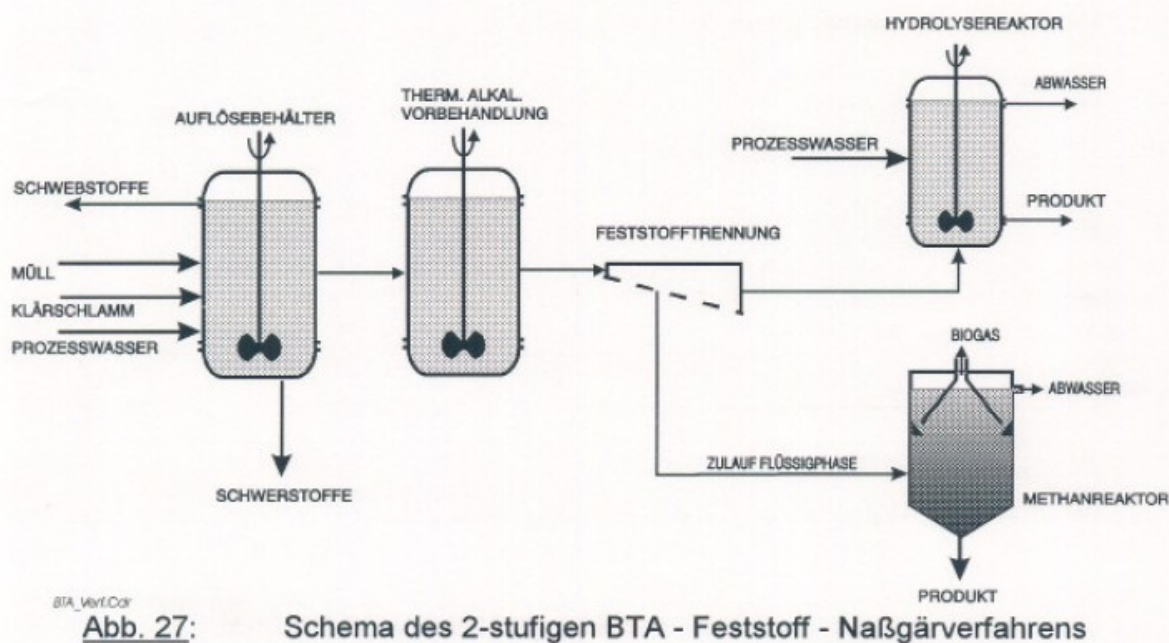
Betriebsparameter

- Raumbelastung  $2,9 - 5,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$
- Biogasproduktivität  $2,53 \text{ Nm}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$
- Biogasausbeute  $146 \text{ Nm}^3/\text{t Biomüll}$
- Abbaugrad des Biomülls ( $\eta_{\text{OTS}}$ ) durchschnittlich 86%

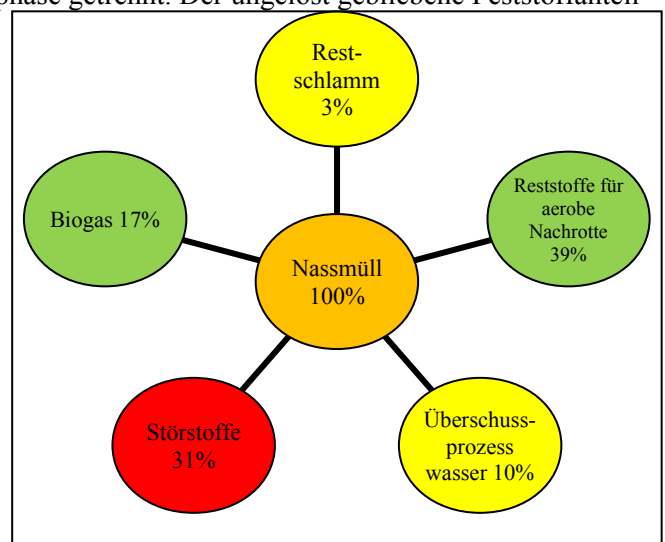


Nassverfahren (TS im Reaktor 6-8%) BTA, WAASA, LINDE KCA, PAQUES, BIOSTAB, BIOCOMP u.a.

Dosierung des Mülls in den Auflösebehälter gemeinsam mit Prozesswasser und Klärschlamm. Die Auflösebehälter werden analog den Stofflösern in der Papierindustrie eingesetzt. In diesen erfolgt die Abtrennung der Schwebstoff- und der Schwerstofffraktion. Der verbleibende Stoffstrom mit etwa 10% TS gelangt in die thermisch-alkalische Vorbehandlung. Hier erfolgt eine Teilhydrolyse unter alkalischen Bedingungen (NaOH bis pH 10) und erhöhter Temperatur (60-70°C). nach der thermisch-alkalischen Vorbehandlung sind etwa 35% der vorhandenen OTS in Lösung gegangen.



Der Stoffstrom wird anschließend in Fest- und Flüssigphase getrennt. Der ungelöst gebliebene Feststoffanteil (30-40% TS) gelangt in den Hydrolysereaktor, wo der biologisch abbaubare Anteil mikrobiell hydrolysiert wird. Dazu wird in den Hydrolysereaktor Prozesswasser zudosiert um einen TS-Gehalt von 10% einzustellen. Innerhalb einer Aufenthaltszeit von 2-3 Tagen werden hier weitere 26% der OTS gelöst. Der ungelöste Rest wird aus dem System in eine Reststoffkompostierung abgezogen. Der gelöste Anteil des Hydrolysereaktors gelangt zusammen mit der Flüssigphase der Feststoffseparation in den Methanreaktor. Dieser kann als Kontaktprozess oder als Schlammbedreaktor (UASB) ausgeführt sein. Bei einer Aufenthaltszeit von ca. 2 Tagen erfolgt die Methangärung der gelösten Phase. Der Überschussschlamm aus dem Methanreaktor gelangt



wie der feste Hydrolyserest in eine nachgeschaltete aerobe Kompostierung. Das entstehende Biogas wird in einer Kraft- Wärme-Kopplung verwertet.

Typische Betriebsergebnisse der Methangärung einer BTA Nassmüllvergärung sind

- CSB-Raumbelastung von  $6-9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$
- Biogasausbeute von  $115-140 \text{ Nm}^3/\text{t}$  Müll
- Biogasproduktivität von  $3-4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$

## 16. Nennen Sie Beispiele von Biogasausbeuten organischer Abfallstoffe!

Praktische Biogasausbeuten  $\approx 0,2 - 0,6 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS

- Tierische Exkremente: z.B. Rindermist:  $0,2 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS, Hühnermist:  $0,5 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS
- Pflanzenabfälle: z.B. Gras:  $0,55 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS
- Industrieabfälle: z.B. Kartoffelstärkeerzeugung  $0,4 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS
- Kommunalabfälle: z.B. Klärschlamm  $0,4 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS, org. Müllfraktion:  $0,25 \text{ m}^3/\text{kg}$  OTS

Biogener Abfall	Trockenmasse TM [%]	Organische Trockenmasse [% der TM]	C:N Verhältnis	Biogasausbeute <sup>3)</sup> [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ OTM]	Hydraul. Verweilzeit [ $\text{d}$ ] <sup>7)</sup>
Schweinegülle	3-8 <sup>4)</sup>	70-80	3-10	0,25-0,50	20-40
Schweinejauche	1,1	45	15	0,25	20-30
Rindergülle	5-12 <sup>4)</sup>	75-85	6-20 <sup>1)</sup>	0,20-0,30	20-30
Geflügelkot	10-30 <sup>4)</sup>	70-80	3-10	0,35-0,60	>30
Molke	1-5	80-95	n.a.	0,80-0,95	3-10
Fermentations-schlempen	1-5	80-95	4-10	0,35-0,55	3-10
Laub	80	90	30-80	0,10-0,30 <sup>2)</sup>	8-20
Melasse	80	95	14-27	0,30	n.b.
Obsttrester	45	93	50	0,40	n.b.
Stroh	70	90	90	0,35-0,45 <sup>5)</sup>	10-50 <sup>5)</sup>
Gartenabfälle	60-70	90	100-150	0,20-0,50	8-30
Gras	20-25	90	12-25	0,55	10

	GEWICHT (kg)	EXKREMENTE ( $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ )	TS in EXKREMENT (%)
MILCHKUH	500	55,5	12,7
MASTRIND	250-400	19	8,7
	400-500	24	12
SCHWEIN	15	1,04	5,6-9,5
	70	4,6	
	125	4,03	
	170	14,9	
LEGEHÜHNER	1,8	0,1	30
MASTHÜHNER	0,9	0,06	30

1 GROSSVIEHEINHEIT (GVE) = 500 kg GEWICHT

= 1 KUH (RIND)  
7 SCHWEINE  
270 LEGEHÜHNER  
540 MASTHÜHNER

BIOGASAUSBEUTE pro GVE und TAG  
ca. 1 - 1,5 m<sup>3</sup>

Biogener Abfall	Trockenmasse TM [%]	Organische Trockenmasse [% der TM]	C:N Verhältnis	Biogasausbeute <sup>3)</sup> [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ OTM]	Verweilzeit [ $\text{d}$ ] <sup>7)</sup>
Grassilage	15-25	90	10-25	0,56	10
Fruchtabfälle	15-20	75	35	0,25-0,50 <sup>5)</sup>	8-20
Speisereste	5-15	90-95	15-20	0,50-0,60 <sup>5)</sup>	10-20
Tierhomogenisat	33-39	90-93	35-40 <sup>6)</sup>	1,14	62
Tierfett	90-99	90-99	100-200 <sup>6)</sup>	1,00	33
Flotatschlamm	9-18	95-98	30-60 <sup>6)</sup>	0,69	12
Magen- und Darminhalte	15-18	80-84	20-40 <sup>6)</sup>	0,68	62
Blut	8-10	95	8-12 <sup>6)</sup>	0,65	34
Panseninhalte	12-16	85-88	40-60 <sup>6)</sup>	0,35	62
Primärschlamm	3-4,5	65-75	20-50	0,30-0,40 <sup>4)</sup>	20
Sekundärschlamm	1-8	60-80	20-40	0,2 - 0,35 <sup>4)</sup>	20
Eiabfälle	25	92	25 <sup>6)</sup>	0,97	45

**17. Nennen Sie das Prinzip der einstufig, homogenen, kontinuierlichen Kultur und deren mathematischen Formulierung!**

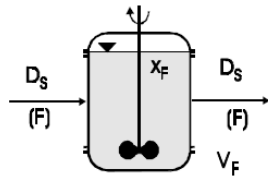
Permanenter Zu – und Ablauf des Substrates (Fließrate F)

Statistisch gleichmäßige Verteilung der Partikel im Reaktor,

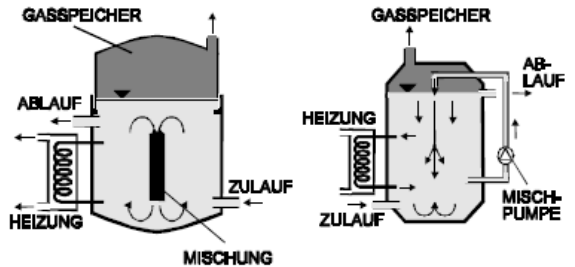
unter der Bedingung Verdünnungsrate ( $D_s$ ) < Wachstumsrate ( $\mu$ )

Mittlere Aufenthaltszeit des Substrates  $\theta$  (theta) =  $V_f / F$  (h) =  $1/D_s$

**EINSTUFIG KONTINUIERLICHE KULTUR**



$F$  (l/h) Substratzulauftrate  
 $D_s$  (1/h) Verdünnungsrate  
 $x_f$  (g/l) Bakterienkonzentration  
 $V_f$  (l) Reaktorvolumen  
 $\mu$  (1/h) Spezif. Wachstumsrate



**CHARAKTERISTIKA:**

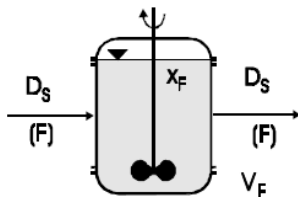
- hohe Verweilzeit von ~ 30 d
- meist quasikontinuierlich
- $x_f = x_s$
- $P_G$  klein ~ 1-2 m<sup>3</sup>·m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>

$$x_f = x_0 \cdot e^{\mu \cdot t} \quad \mu = \frac{dx}{x \cdot dt} \quad D_s < \mu$$

**18. Nennen Sie den Zusammenhang zwischen Wachstumsgeschwindigkeit und hydraulischer Verdünnungsrate!**

Wenn die Substratzulauftrate (Verdünnungsrate) die Wachstumsrate übersteigt, wird die Kultur allmählich ausgewaschen (bei einstufig homogenen Systemen)

**EINSTUFIG KONTINUIERLICHE KULTUR**



$F$  (l/h) Substratzulauftrate  
 $D_s$  (1/h) Verdünnungsrate  
 $x_f$  (g/l) Bakterienkonzentration  
 $V_f$  (l) Reaktorvolumen  
 $\mu$  (1/h) Spezif. Wachstumsrate

$$x_f = x_0 \cdot e^{\mu \cdot t} \quad \mu = \frac{dx}{x \cdot dt} \quad D_s < \mu$$

**19. Dimensionieren Sie ein umweltbiotechnologisches Verfahren eigener Wahl (Biogasanlage)**

a. Abfallverwertungs-, Behandlungsanlage; Vorgegebene jährliche Abfallmenge z.B. 15 000t (Frischmasse)  
 Dichte 150kg/m<sup>3</sup> → 15000 : 0,15t/m<sup>3</sup> = 100 000m<sup>3</sup>

• Dimensionierung anhand erforderlicher hydraulischer Verweilzeit: z.B. 20 Tage

100m<sup>3</sup> : 365 Tage = 273m<sup>3</sup>/Tag \* 20 Tage = 5460m<sup>3</sup> Faulraumvolumen

• Dimensionierung entsprechend maximaler Raumbelastung ( $B_R$ ) z.B.  $B_R = 1,5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d TS}$

15000 t Frischmasse mit 15% TS → 15000 x 0,15 = 2250 t TS/ Jahr : 365 = 6,2 t TS/ Tag

6200kg TS/ Tag : 1,5 = 4133 m<sup>3</sup> Faulraumvolumen

## Allgemeine Planungsparameter: - DICHTe

### Dichte von Silage

Grassilage (Ballen):	600 - 800 kg / m <sup>3</sup>
Maissilage:	ca. 650 kg / m <sup>3</sup>

### Dichte von Abfällen

Gemischte Siedlungsabfälle:	100 – 200 kg / m <sup>3</sup> (lose geschüttet)
	ca. 300 kg / m <sup>3</sup> (nach Schredder)
	bis 600 kg / m <sup>3</sup> (im Müllsammelfahrzeug)
Holzabfälle, Sägemehl, Rinde:	bis 500 kg / m <sup>3</sup>
Papierabfälle:	bis 1.000 kg / m <sup>3</sup>
Klärschlämme, Erdschlämme:	bis 1.500 kg / m <sup>3</sup>

$$\text{Masse (Mg)} = (\text{Schütt-})\text{Dichte (Mg/m}^3) \times \text{Volumen (m}^3)$$

## Berechnung wichtiger Betriebsparameter

### 1. Biogasausbeute ( $Y_G$ ):

Einheit: m<sup>3</sup> Biogas / kg Trockensubstanz (TS)<sub>zugeführt</sub>

$$Y_G = 1.840.000 \text{ m}^3 / (2.790 \text{ t} \cdot 1.000) = 0,66 \text{ m}^3 \text{ Biogas} / \text{kg TS}_{\text{zugeführt}}$$

### 2. Biogasproduktivität ( $P_G$ ):

Einheit: m<sup>3</sup> Biogas / m<sup>3</sup> Reaktovolumen und Tag

$$P_G = 1.840.000 \text{ m}^3 / (2.000 \text{ m}^3 + 1.850 \text{ m}^3) \cdot 365 \text{ d} = 1,3 \text{ m}^3 \text{ pro m}^3 \text{ und Tag}$$

### 3. Massenbilanz

2.790 t / a TS (Substrat) ergeben 1.840.000 m<sup>3</sup> Biogas und 507 t/a TS Gärrückstand

$$1.840.000 \text{ m}^3 \text{ Biogas} \times 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 (\text{Dichte}) = 2.208 \text{ t/a Biogas}$$

$$2.208 \text{ t Biogas} + 507 \text{ t Gärrückstand} = 2.715 \text{ t}$$

$$2.790 - 2.715 = 75 \text{ t Differenz ist Reaktionsenergie (Wärmetönung)}$$

### 4. Abbaugrad

$$100 - (100 \times 507 \text{ t TS} / 2.790 \text{ t TS}) = 82 \%$$

Parameter	Einheit	Optimale, kritische und toxische Wertebereiche der Fermentationsparameter		
		Grün	Gelb	Rot
pH	[-]	7,5 – 8,1	7,1 – 7,5	< 7,1; > 8,1
CSB	[g/kg]	40 – 90	< 40; 90 - 110	> 110
TS	[%]	3 – 9	< 3	> 9
OTS	[%]	2,4 – 5,5	< 2,4; 5,5 – 6,5	> 6,5
TKN	[g/l]	< 6	> 6	-
NH <sub>4</sub> -N	[g/l]	< 5	> 5	-
UAN *	[mg/l]	< 600	600 – 800	> 800
Essigsäure	[mg/l]	0 – 1.000	1.000 – 3.000	> 3.000
Propionsäure	[mg/l]	0 – 250	250 – 1.000	> 1.000
i-Buttersäure	[mg/l]	0 – 50	50 – 300	> 300
Buttersäure	[mg/l]	0 – 50	50 – 100	> 100
i-Valeriansäure	[mg/l]	0 – 50	50 – 150	> 150
Valeriansäure	[mg/l]	0 – 20	20 – 100	> 100
VFA gesamt	[g/l]	0 – 1.500	1.500 – 4.500	> 4.500
UFA gesamt **	[mg <sub>HAc</sub> /l]	0 – 2,5	2,5 – 20	> 20

\* abhängig von der Konzentration von NH<sub>4</sub>-N und dem pH-Wert

\*\* abhängig von der Gesamtsäurekonzentration VFA und dem pH-Wert