

Methangärung & Kompostierung

1. 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 $< -300\text{mV}$), $\text{pH} \approx 7$, Temperatur 30° bis 55°C , Wassergehalt im Substrat mind. 50-60%, geringe Konzentration v. org. Säuren und Fettsäuren

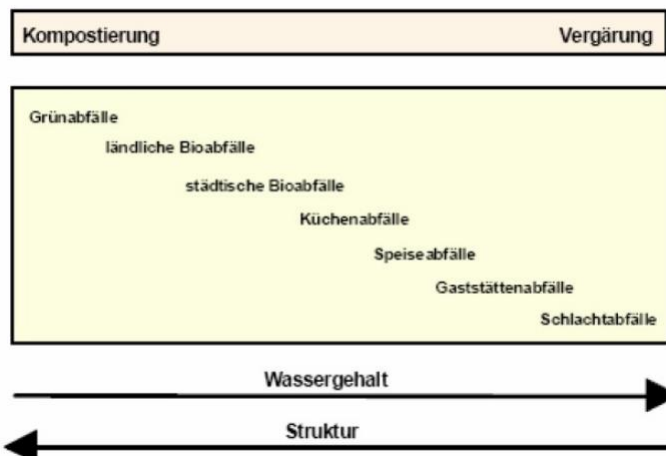
Betriebsbedingungen für die Kompostierung

(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) ¹⁾
Belüftungsrate ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) ²⁾	3-6 (10)

1) Belüftung durch Konvektion; 2) m^3 Mietenvolumen

Anwendungsbereiche biologischer Verfahren



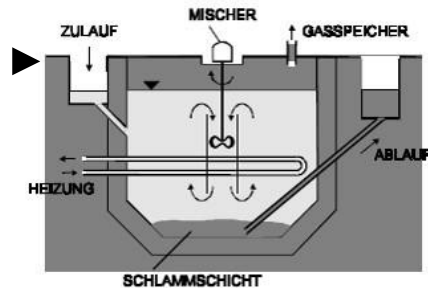
Vergleich von Kompostierung und Methangärung	
Kompostierung	Methangärung (anaerobe Kompostierung)
„Umbauprozess“ → Huminsubstanz	Abbau (Mineralisierungs)prozess
	geschlossenes System, erst geruchsfreies Material gelangt in die aerobe Nachrotte. Geruchs-, Schadstoff- (NH_3 , flüchtige FS, CH_4) oder Keimemissionen (Pilzsporen, Bakterien)
Großteil der chem. Energie wird als Wärme freigesetzt (50-70%), schlecht nutzbar wegen geringem Temperaturgefälle ($40-80^\circ\text{C}$) 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 energetisch gut nutzbar
2-4 Wochen Intensivrotte + mehrere Monate Nachrotte (materialabhängig)	Faulung im Methanreaktor (14 Tage) + 14 Tage aerobe Nachrotte für verkehrsfähiges Produkt

2. Nennen Sie Faulturmsysteme, Betriebsweisen und Beispiele techn. Anwendungen!

Zur Schlammfäulung verwendete Reaktortypen:

1. Einstufige homogene kontinuierliche Reaktoren [Rührkessel] Charakteristika: hohe Verweilzeit (ca. 30d), meist quasikontinuierlich, $x_F =$ (ca. $1-2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)

x_S , P_G klein

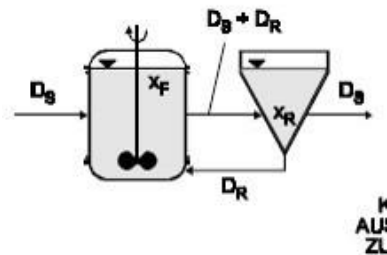


2. Einstufige homogene kontinuierliche Reaktoren mit Biomasserückführung [Kontaktprozess] Charakteristika: $x_S < x_F < x_R$, hohe Produktivität, kurze Verweilzeit (Std bis d), Nachteil: Aggregation (Flockulation) nötig!

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

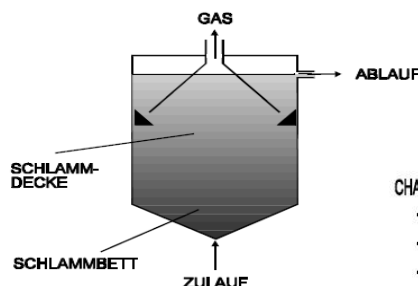
$$x_F = \frac{P_F + D_F \cdot x_R}{D_S + D_R} \rightarrow = D_S \cdot x_S$$

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



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)

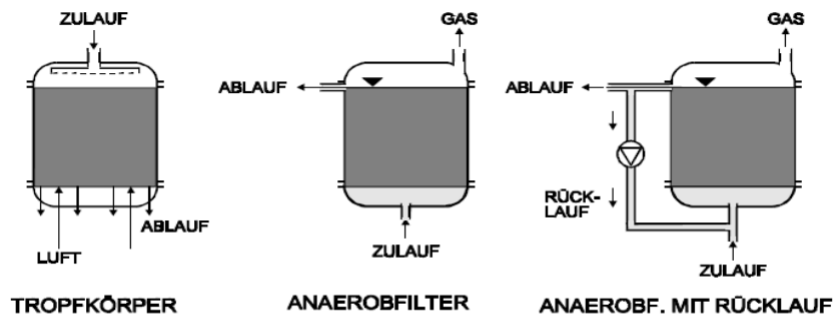
NACHTEIL:
 - suspendierte Feststoffe stören
 - maximale Substratkonz. bis 20 g/l CSB
 - Schlammbett oft instabil

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

NACHTEIL:
 - suspendierte Feststoffe stören
 - maximale Substratkonz. bis 20 g/l 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.

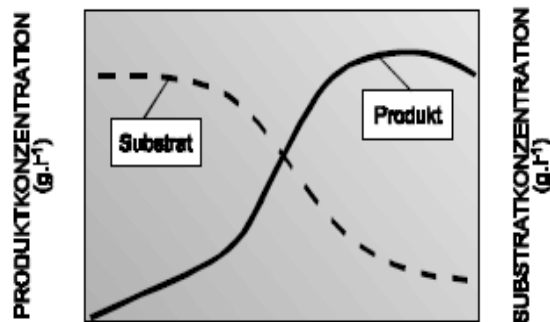
Charakteristika: $x_S < x_F$, hohe Biogasproduktivität (bis $20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$), geringe Aufenthaltszeit (Std. bis d); Nachteil: ungelöste Feststoffe stören (Zuwachsen des Reaktors)



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 ($L \gg \gg dm$) keine Längsdurchmischung (Pfropfenströmung), Verwendung bei Bildung toxischer Endprodukte

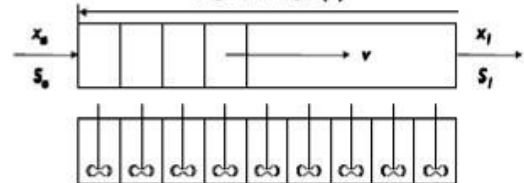


VERWEILZEIT = DURCHSTRÖMZEIT = t

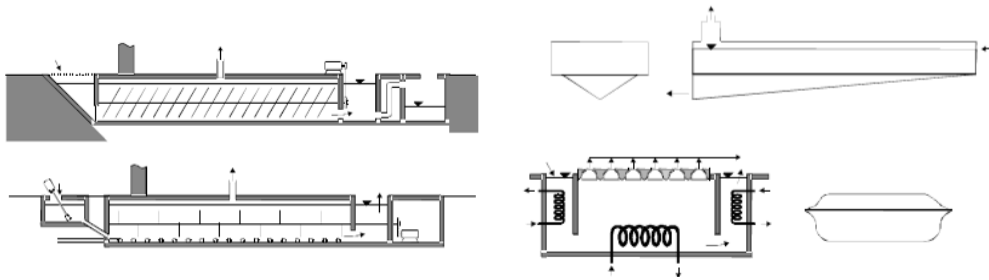
$$t = \frac{L}{v} \left(\frac{m}{m \cdot h^{-1}} \right) - (h)$$

$$P = \frac{x_1 - x_0}{t} \quad (g.l^{-1} \cdot h^{-1})$$

ROHRLÄNGE (L)



b. „Plug-Flow“-Reaktor)



5. Mehrstufige Reaktoren [Rührkesselkaskade]

Technische Anwendungen:

Abwasserreinigung, Abfallbeseitigung, Faulgrube für landwirtschaftliche Anwendungen zur Stromerzeugung, zur Verwertung tierischer Exkremente (Mist, Gülle) das Restsubstrat der Faulung 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)

3. 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: $0,25 \text{ m}^3/\text{kg OTS}$

	GEWICHT (kg)	EXKREMENTE (kg·d ⁻¹)	TS in EXKREMENT (%)
MILCHKUHN	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

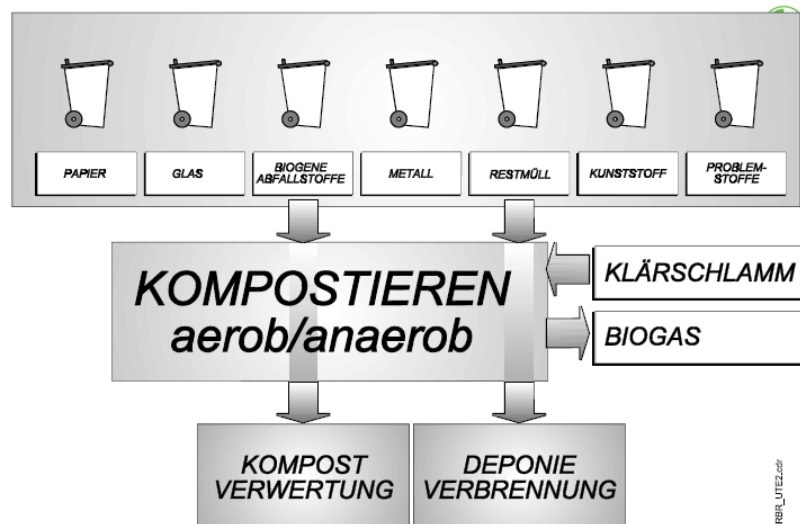
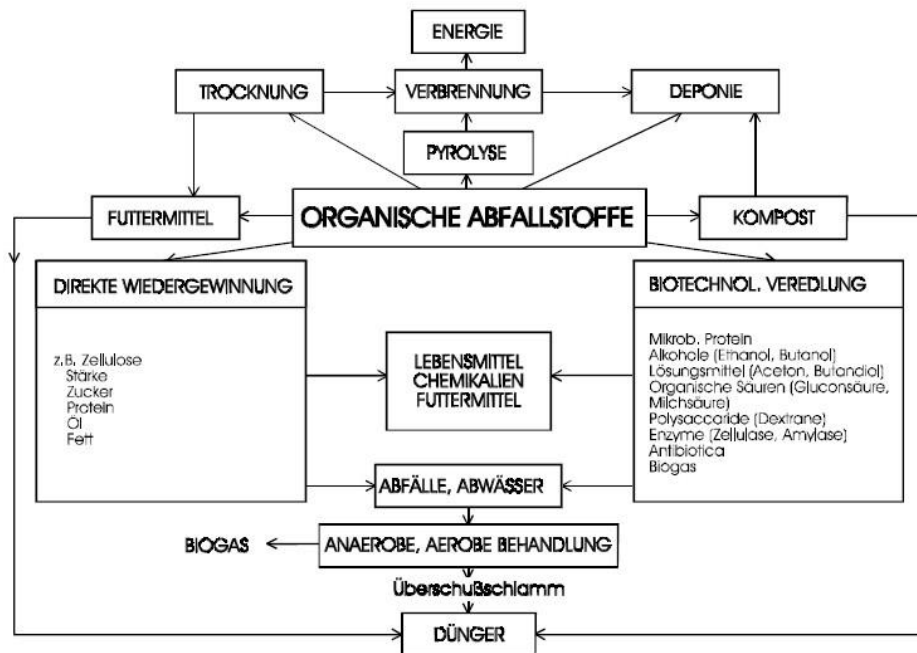
BIOGASAUSSBEUTE pro GVE und TAG
 ca. 1 - 1,5 m³

Biogener Abfall	Trocken- masse TM [%]	Organische Trocken- masse [% der TM]	C:N Verhältnis	Biogasauss- beute ³⁾ [m ³ · kg ⁻¹ OTM]	Hydraul. Verweilzeit [d] ⁷⁾
Schweinegülle	3-8 ⁴⁾	70-80	3-10	0,25-0,50	20-40
Schweinejauche	1,1	45	15	0,25	20-30
Rindergülle	5-12 ⁴⁾	75-85	6-20 ¹⁾	0,20-0,30	20-30
Geflügelkot	10-30 ⁴⁾	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 ²⁾	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 ⁵⁾	10-50 ⁵⁾
Gartenabfälle	60-70	90	100-150	0,20-0,50	8-30
Gras	20-25	90	12-25	0,55	10

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

4. Wie können organische Abfallstoffe genutzt bzw. entsorgt werden?

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

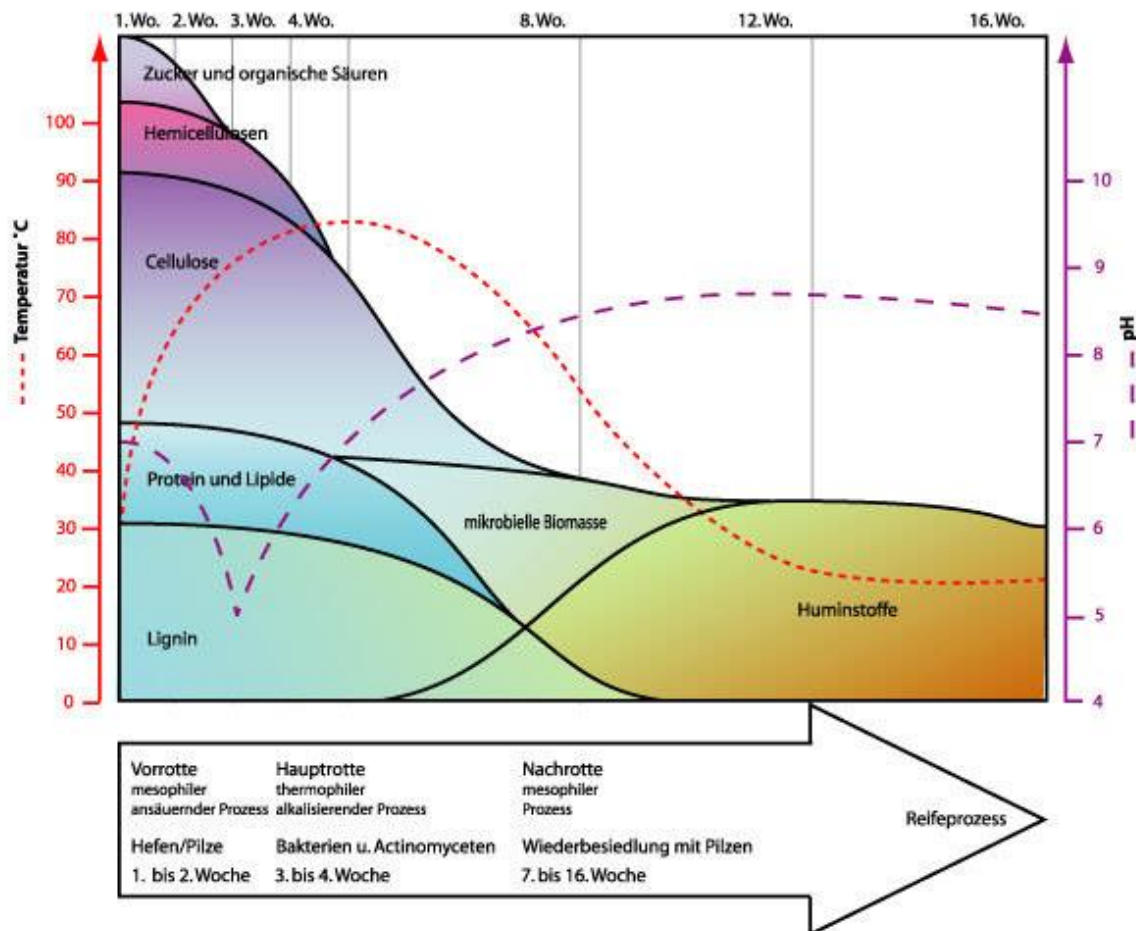


REBR_LUTEZ.2019

5. Nennen Sie Einflussfaktoren auf die Abfallverwertung.

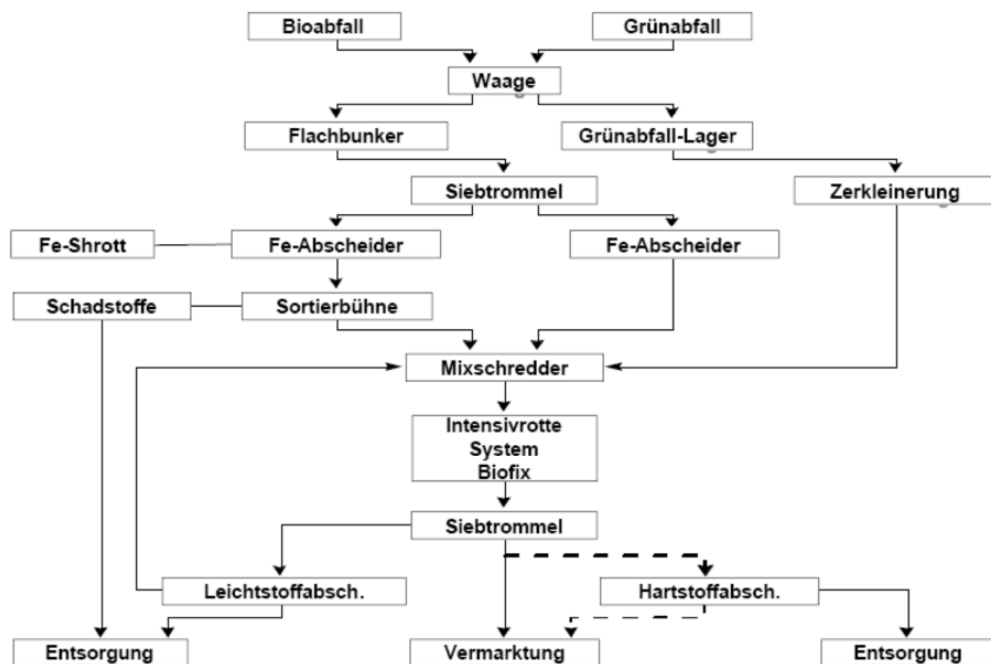
- Mischabfall
- Störstoffe, Schadstoffe
- Nährstoff- und Konzentrationsverhältnisse
- Wechselnde Zusammensetzung
- Saisonaler- / fluktuierender Anfall
- Sammlungs- / Transportkosten
- Rechtsunsicherheit / Verfahrensdauer
- Produktqualität / Haltbarkeit / Lagerfähigkeit
- Absatzunsicherheit / Akzeptanz

6. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf einer Kompostierung.



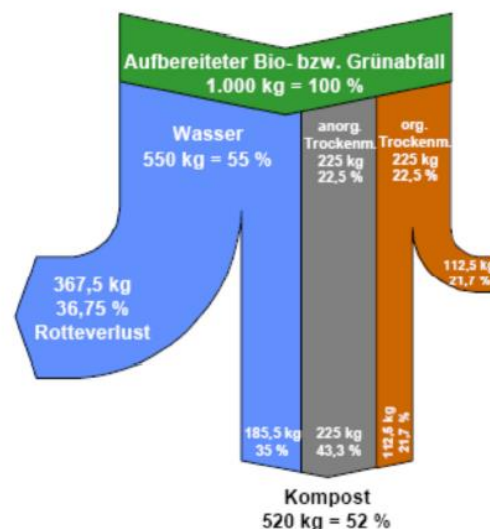
7. Skizzieren Sie ein generelles Verfahrensschema für die Bio- und Grünabfallkompostierung

Generelles Verfahrensschema der Bio- und Grünabfallkompostierung



8. Wie sieht die Massenbilanz der Kompostierung von Bioabfällen aus?

Massenbilanz der Kompostierung von Bio- / Grünabfall



9. Eine Kompostieranlage wird wegen Geruchsbelästigungen von den Anrainern bei der Behörde angezeigt. Welche Maßnahmen zur Minimierung von Geruchsemissionen würden Sie als BetriebsleiterIn ergreifen?

Vermeidung von Geruchsemissionen

PRIMÄRMASSNAHMEN

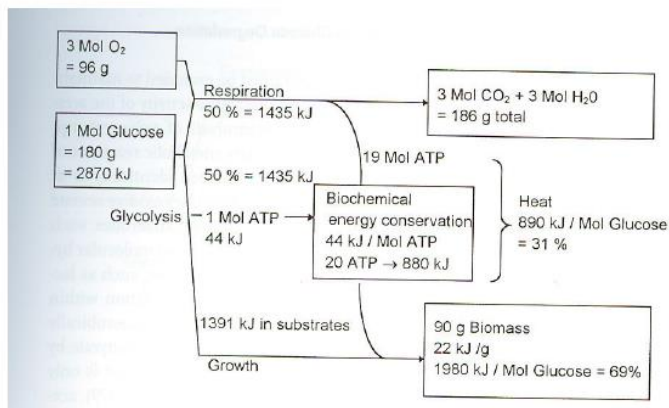
Luft- / Wasserführung
Kein Überbelastungsbetrieb
Bauliche Massnahmen
(Einhausung, Einkapselung)

SEKUNDÄRMASSNAHMEN

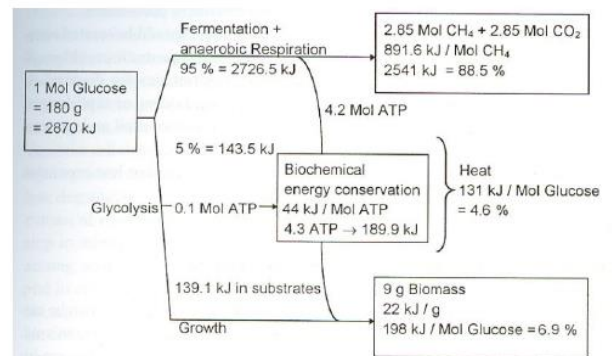
Thermische Nachverbrennung
Adsorptions-/Kondensationsverfahren
Ozonierung / Gaswäsche
Biofilter

10. Vergleichen Sie die Massen- und Energiebilanzen von Atmung und Gärung.

ATMUNG



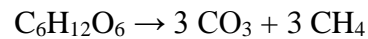
GÄRUNG



11. Welche Nährstoffansprüche haben die Mikroorganismen Methangärung und Kompostierung?

- Energiequelle
- C-Quelle
- N- Quelle
- P- Quelle
- Mineralstoffe (K, Mg, Ca, Fe)
- Spurenelemente (Zn, Mn, Na, Cl, Mo, Se, Co, Cu, Ni)
- Vitamine und Wachstumsstoffe

12. Berechnen Sie die theoretische Biogasausbeute von 1 Mol Glucose (Molekulargewicht 180 g mol^{-1}).



Avogadro'sches Molvolumen = 22,4 L

$$\text{Gasausbeute} = \frac{22,4 * 6}{180} * 1000 = 747 \text{ L kg}^{-1} \text{ Glucose}_{abgeb}$$

13. Skizzieren Sie einen sogenannten Gärtest. Wozu verwendet man einen solchen?

Laborversuchsanlage zur Durchführung von Gärtests zur Bestimmung der Biogasausbeute

