Erzeugung vom Biogas

ASUE-Fachtagung am 16.5.2006

Dr. Hubert Zellmann

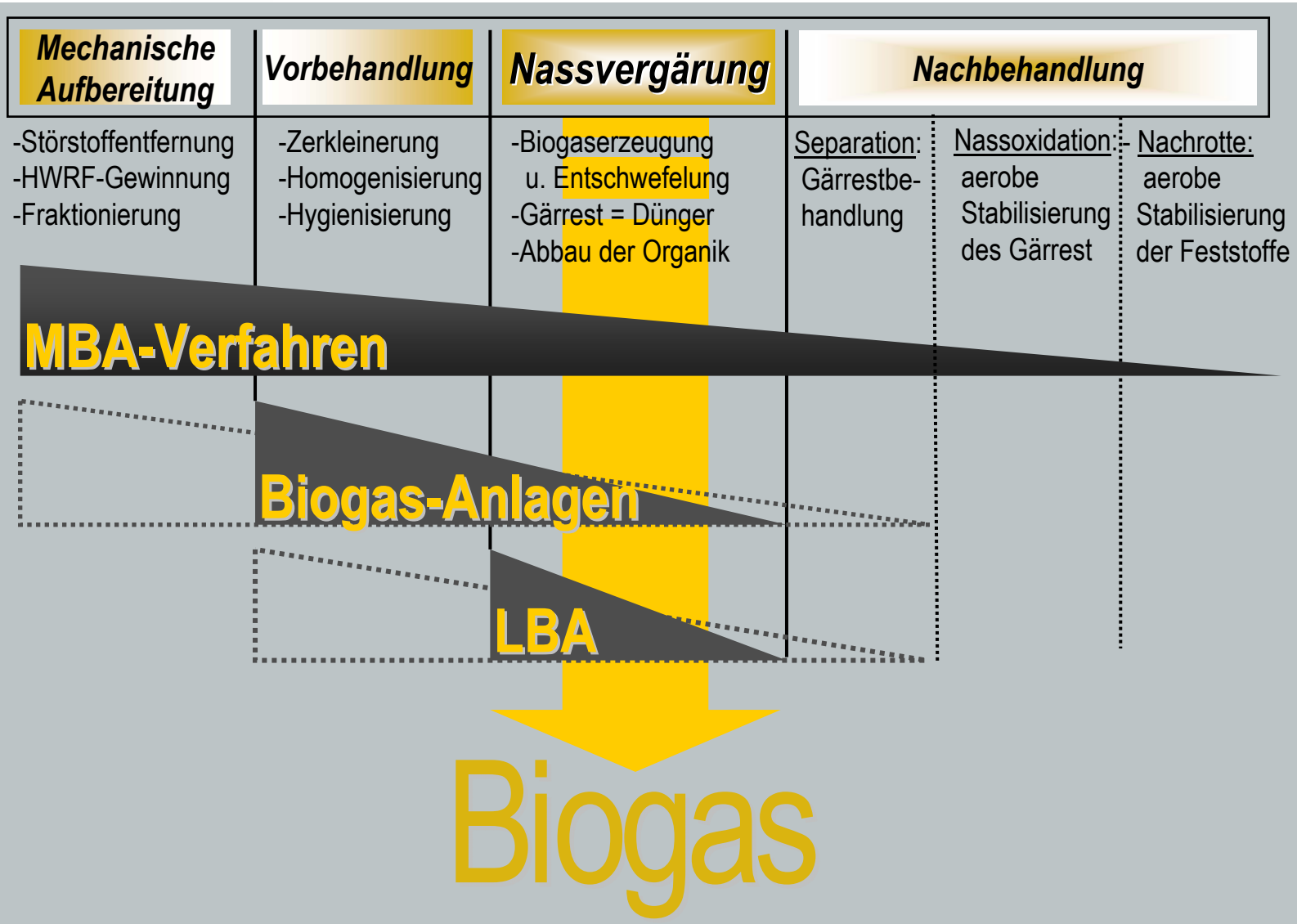
agraferm technologies

.... die einfachste Biogasanlage der Welt

Kuh produziert zwischen 100-200 Liter Methan pro Tag

Anlagentechnik- Übersicht

agraferm technologies



Rahmenbedingungen –rechtl. Voraussetzungen

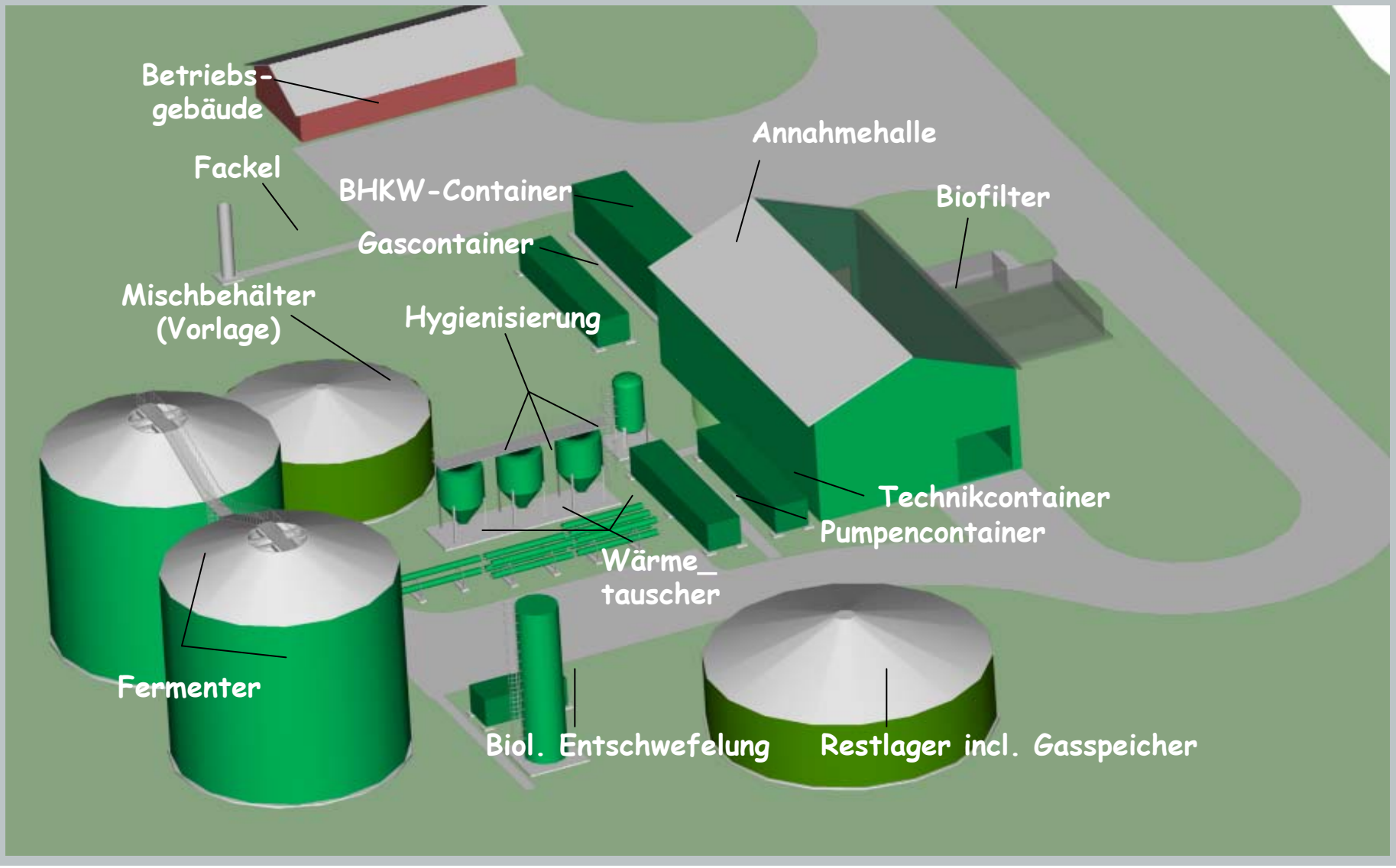
agraferm technologies

	Gesetze / Verordnungen / Techn. Regeln	
Genehmigung	4. BImschV + Durchführungsverordnungen	
Technik/Bau	BauVO Explosionsschutz-Richtlinien TA-Luft /TA Lärm Sicherheitsregeln für landw. Biogasanlagen UVV / Arbeitsstättenverordnung	
Inputstoffe	BiomasseVO: BioabfallV: Europäische Abfallverz.: EU-HygieneVO: (z. Zt TierKBG) AbfKKlärVO: DüMG:	Def. Biomasse - EEG Behandlung + Verwertung Abfallschlüsselnr. Tier. Abfälle (Behandl. + Verwertung) Behandlung + Verwertung landw. Verwertung d. Gärrestes
Stoffverwertung	BioAbfV: AbfKKlärVO: DüMG:	Untersuchungen, Ausbringung usw. Behandlung + Verwertung landw. Verwertung d. Gärrestes

Biogasanlage für Kofermentate

Nassfermentation

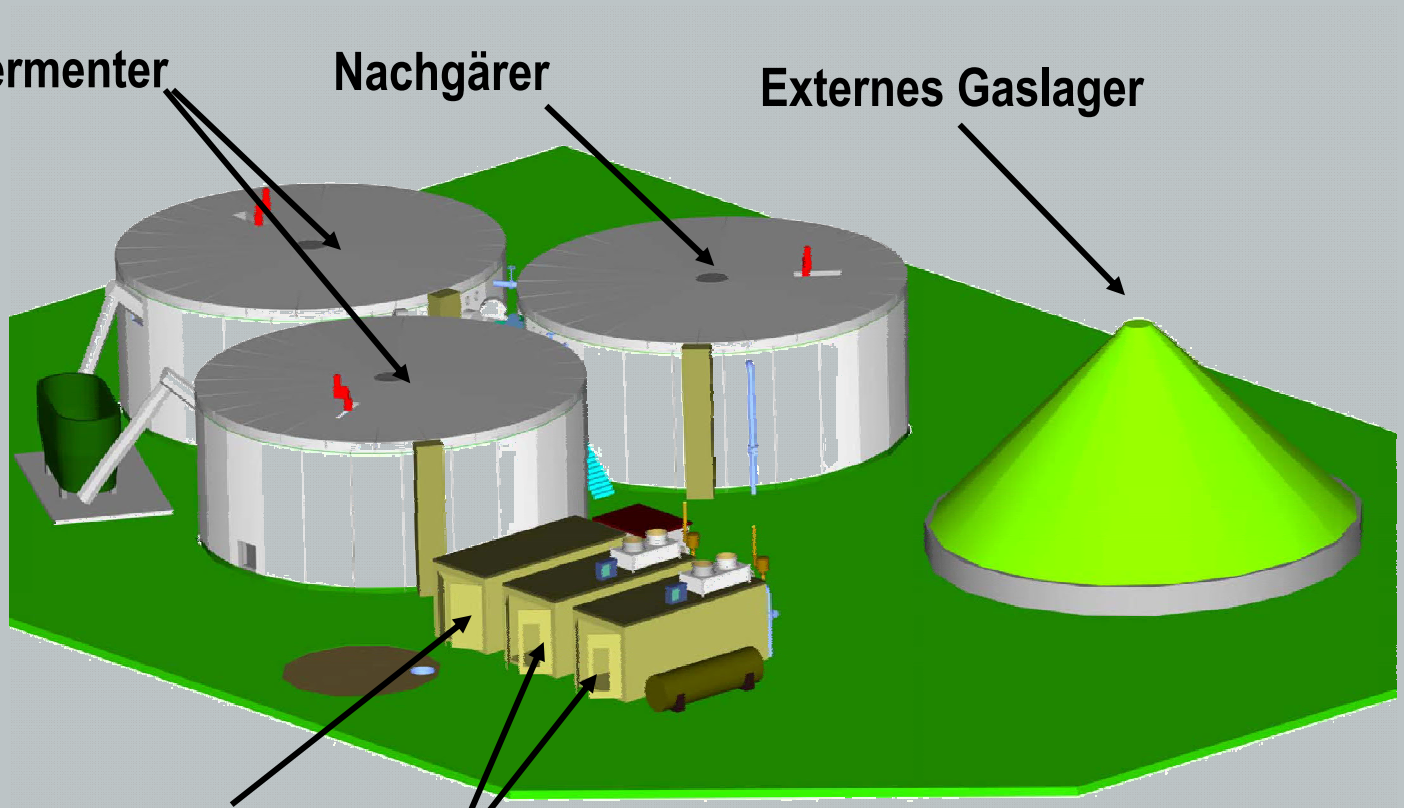
agraferm technologies



Landw. Biogasanlage für NawaRo´s

Nassfermentation

agraferm technologies



Trocken- bzw. Nassfermentation

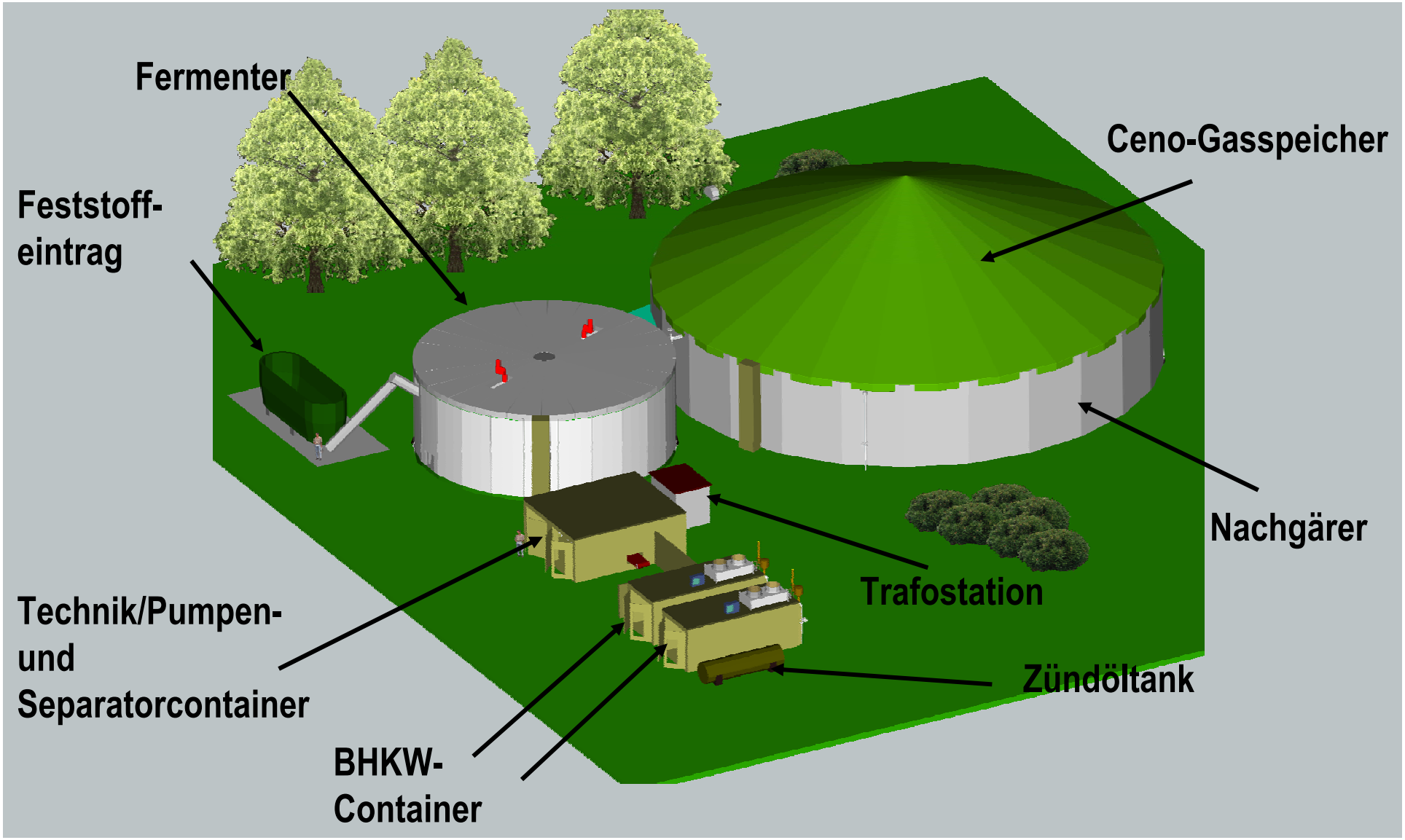
agraferm technologies

		Trockenvergärung	Nassvergärung
Inputmaterial	- Größe - TS-Gehalt	"keine Beschränkung" ca. 30- 45 %	ca. 40 mm abh. vom Eintragssytem
Aufbereitung (stoffabh.)	- Zerkleinerung - Störstoffe - Hygienisierung	abh. von Technik abh. von Technik rechtl. Vorgabe	ja sollten entfernt werden nach rechtl. Vorgabe
Verfahren	- Temperatur-Bereich - Prozessführung - Homogenisierung	mesophil oder/und thermophil einstufig ja (Abbaugrad!)	einstufig / zweistufig
Fermenter	- Durchmischungart	Umsetzung/ durchmischt	durchmischt
Speicherung	- Gärrest (Restlager) - Biogas	ja (gesetzl. Vorgaben) ja	ja (gesetzl. Vorgaben) ja
Management	- SPS-Steuerung - Überwachung - Abluftbehandlung	ja ja abhängig vom Inputmaterial	

Landw. Biogasanlage für NawaRo´s

Trockenfermentation

agraferm technologies



Zusammenfassung Anlagentechnik

agraferm technologies

- **Vielzahl von Vorschriften** regeln den Bau von Biogasanlagen, die Nutzung und Verwertung von Inputstoffen

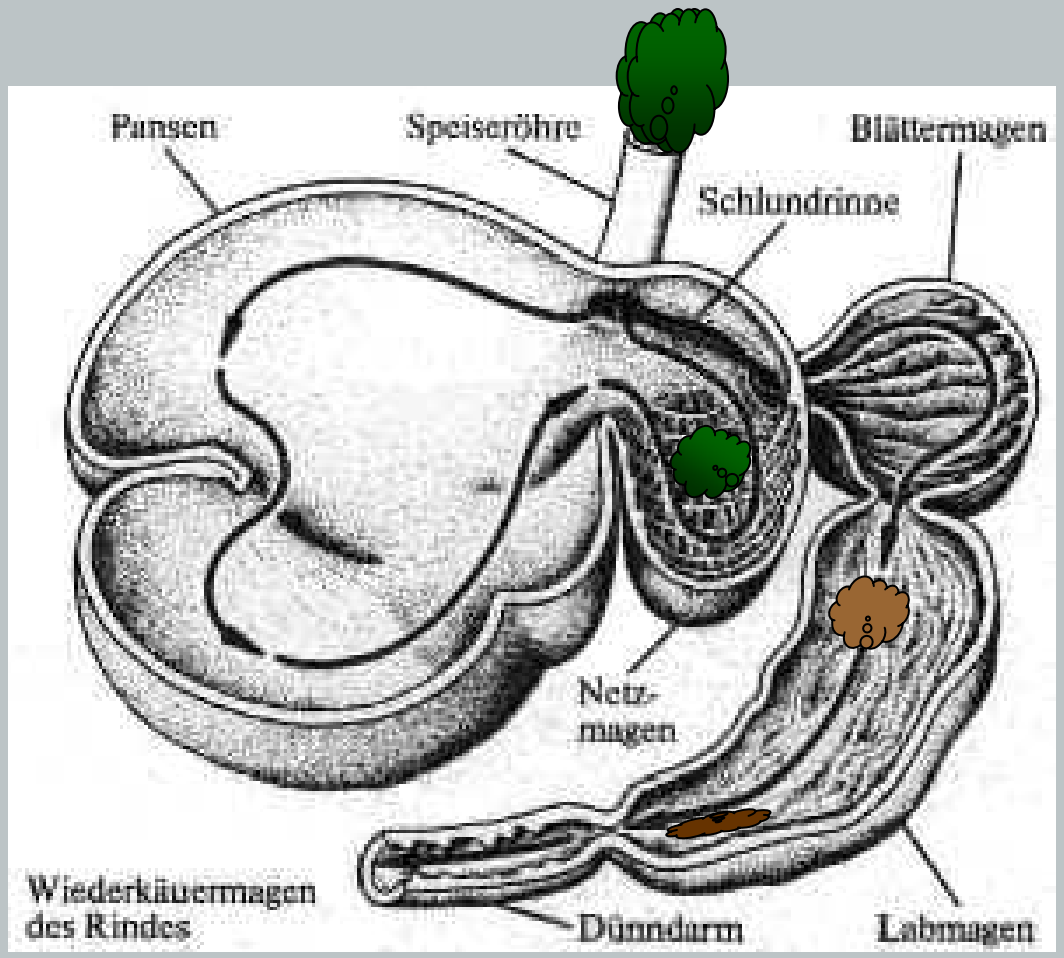
- Die notwendige Anlagentechnik wird letztlich **bestimmt durch die Art der Inputstoffe und deren Verwertung**

- **Trockenfermentation** ermöglicht die **Vergärung von „Fest-stoffen“ - Nassfermentation „benötigt“ Flüssigkeiten**

- **Kofermentationsanlagen** können eine Vielzahl von Inputstoffen vergären – **NawaRo-Anlagen** beschränken sich auf die Ver-gärung von landwirtschaftlichen Stoffen (EEG-Relevanz)

„Der Kuh- Reaktor“

agraferm technologies



Tagesration einer Kuh:
70 kg Gras
50 - 100 l Wasser

***Pansen*:**
Bakterien zersetzen den Grasbrei.
Netzmagen:
Grassbrei wird zu kleinen Ballen geformt und dann durch die Speiseröhre wieder ins Maul zurückbefördert.
Blättermagen:
Hier wird ihm vor allem Wasser entzogen.
Labmagen:
Hier erfolgt schließlich die Verdauung.

„Unsere Mitarbeiter“

agraferm technologies

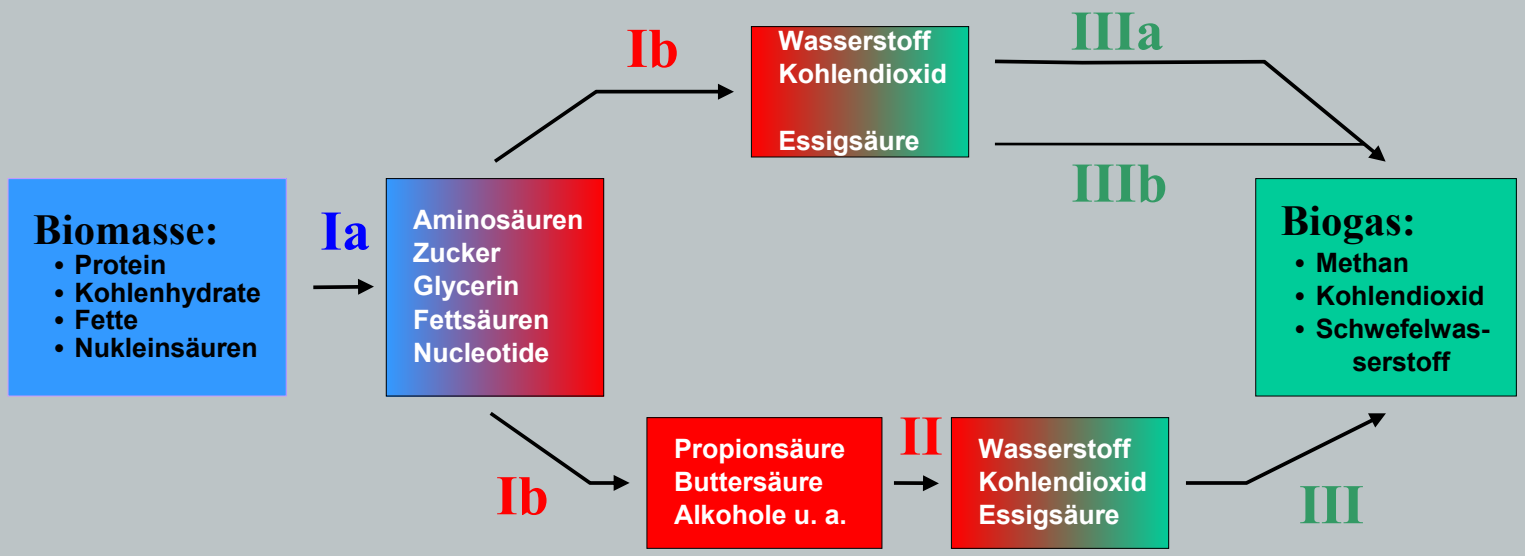
Generationszeiten verschiedener Mikroorganismen

agraferm technologies

Mikroorganismen	Generationszeit
Aerobe Organismen	
Escherichia coli	**20 min**
Belebtschlamm	**2 h**
Bodenbakterien	**1 - 5 h**
Säurebildende Organismen	
Bacterioides	**< 1 d**
Clostridien	**1,5 d**
Acetogene Bakterien	**3,5 d**
Methanogene Bakterien	
Methanosarcina	**5 - 15 d**
Methanococcus	**ca. 10 d**

aber: die Hydrolyse wird bestimmt durch die Aktivität von den Biokatalysatoren (Enzymen), die von den Bakterien in das Medium abgegeben werden

Vergärungsprozesse (1)



Hydrolyse

Ia: fermentative Bakterien (anaerob, fakultativ anaerob, extrazelluläre Enzyme)

Säurebildung

Ib: fermentative Bakterien

II: acetogene Bakterien, Aktivität nur in Symbiose mit methanogenen Bakterien (III)

Methanbildung

III: methanogene Bakterien

IIIa: hydrogenotrophe Bakterien

IIIb: acetoklastische Methanbakterien

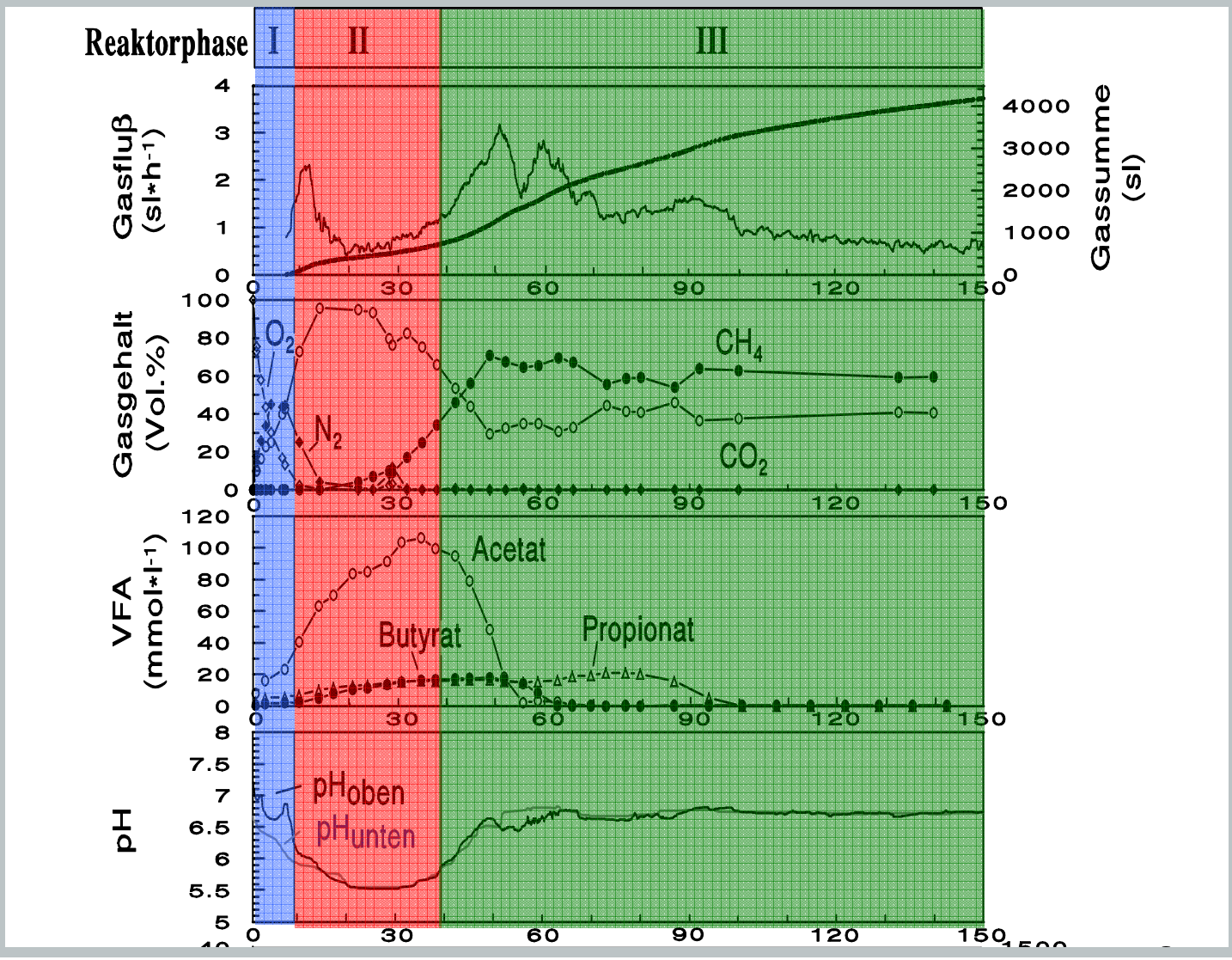
Vergärungsprozesse (2)

agraferm technologies

Abbauphase	Abbaustoffe	„Abbaubakterien“
Hydrolyse (I)	Kohlenhydrate, Fette, Proteine **Biokatalysatoren (Enzyme)**	hydrolytische Bakterien
	Längerkettige Fettsäuren, Gylcerol, Aminosäuren, Zucker	
Säurebildung (II)	**Bakterien-Zelle**	gärende Bakterien
	Intermediärprodukte (Propionat, Butyrat, etc.) **Bakterien-Zelle**	H_2 produzierende und verbrauchende acetogene Bakterien
	Acetat, H_2, CO_2	
Methanbildung (III)	**Bakterien-Zelle**	CO_2-reduzierende und acetoklastische Methanbakterien
	Biogas	

Abbauvorgang – zeitl. aufgelöst

agraferm technologies



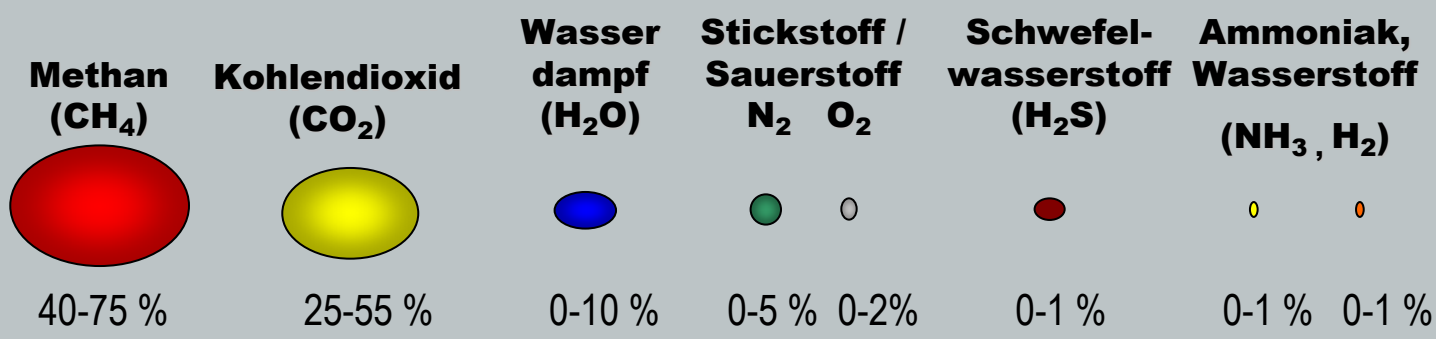
"Unser Produkt": Biogas

agraferm technologies

- resultiert aus dem anaeroben Abbau von organischer Materie
- leichter als Luft (1,2 kg/m^3)
  (Heizwert liegt je nach Methangehalt zwischen 5,5 u. 7,0 kWh/m^3)
- allg. wassergesättigtes Gasgemisch

= hochwertiger Energieträger

Zusammensetzung:



Zusammenfassung Vergärungsprozeß

agraferm technologies

- Biogas entsteht durch den **Abbau von organischen Stoffen unter Luftabschluss (anaerob)**
- = **biologischer Prozess** unter der Beteiligung verschiedener Bakterien (Mikroorganismen)
- Der Abbauprozess unterteilt sich in drei Abbaustufen (**Hydrolyse, Versäuerung, Methanbildung**)
- Die Abbaugeschwindigkeit hängt vorrangig vom Zellenwachstum (Generationszeit) und den Aktivitäten der Enzyme ab
- Biogas besteht hauptsächlich aus **Methan** und **Kohlendioxid**; weitere Bestandteile sind **Schwefelwasserstoff, Wasser, Ammoniak**

Inputstoffe für Biogasanlagen

agraferm technologies

- **Tierische Exkremente (Gülle)**
- **Kofermentate**

  werden von Behörden als Inputstoff zugelassen und überwacht

  werden durch Analysen transparent

  werden vor Fermentation hygienisiert

  unterliegen den Richtlinien der BioAbfallVO und DüngemittelVO

  Zu den Kofermentaten gehören:

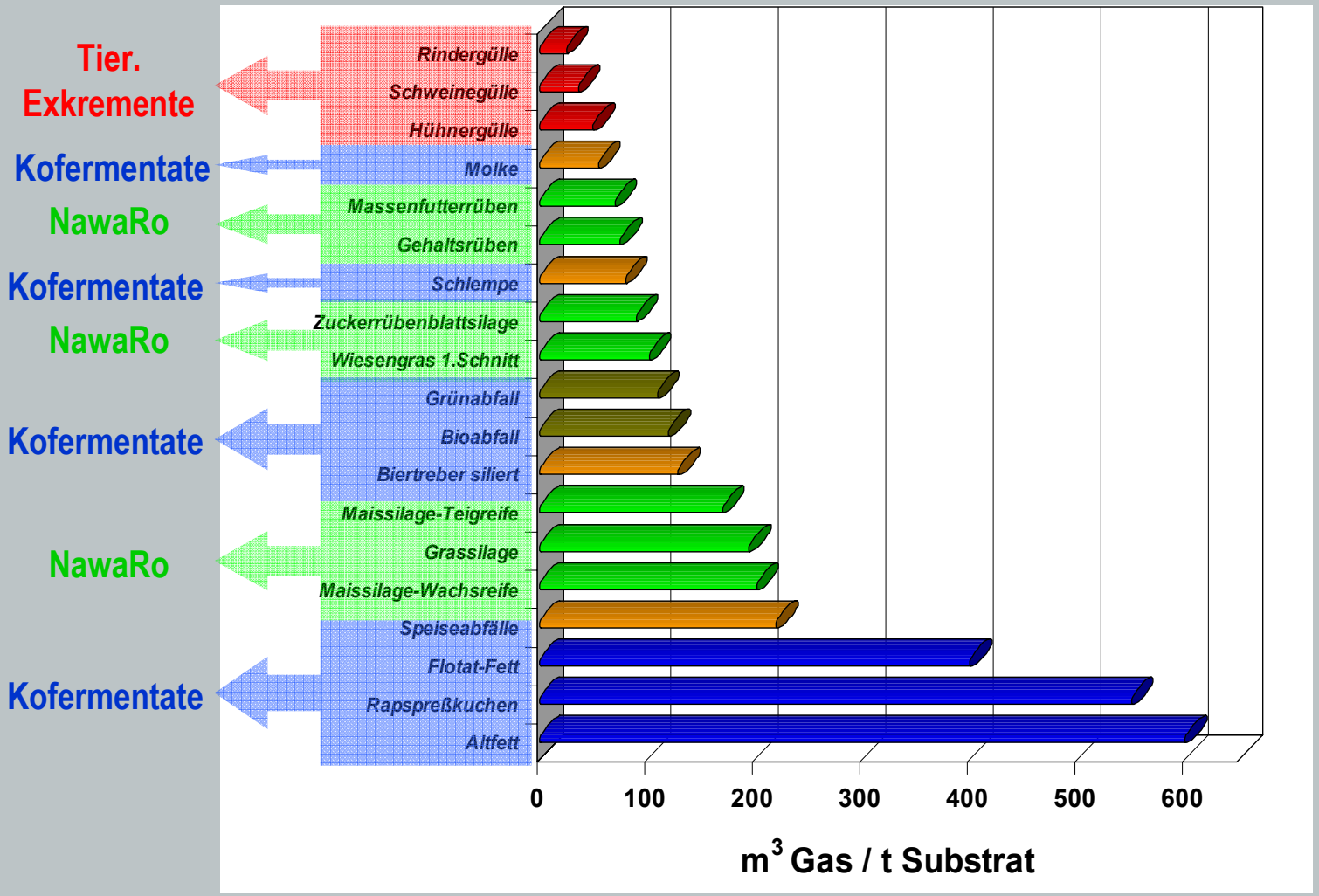
  organische Abfälle aus Kommunen (Grüne Tonne)

  Biogene Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie

  Fettabscheider aus der Gastronomie
- **nachwachsende Rohstoffe (NawaRo)** z. B. Mais, GPS, Grassilage

Input - Gaserträge

agraferm technologies



Biogaspotential

agraferm technologies

Bushwell Formel:

$C_aH_bO + (a - 0{,}25b - 0{,}5c)\ H_2O$
$= (0{,}5a + 0{,}125b - 0{,}25c)\ CH_4 + (0{,}5\ a - 0{,}125b + o{,}25c)\ CO_2$

Boyle Formel n. Boyle:

$C_aH_bO_cN_dS_e + (4a - b - 2c + 3d2e)\ H_2O$
$= 1/8\ (4a + b - 2c - 3d - 2e)\ CH_4$
$+ 1/8\ (4a - b + 2c + 3d + 2e)\ CO_2$
$+ dNH_4 + eH_2S$

	CH_4	CO_2	NH_4	H_2S
Kohlenhydrate (Glc)	**50 %**	**50 %**		
Fette (Tripalmitin)	**71%**	**29 %**		
Proteine (Durchschnitt)	**38 %**	**38%**	**18 %**	**6 %**

Gasqualitäten

agraferm technologies

		Biogasbestandteile			Biogas	ander Brennstoffe				
		CH_4	CO_2	H_2S	Gemisch (65% CH_4)	Normal-benzin	Dieselöl Heizöl	Erdgas L	Erdgas H	Wasser-stoff
Vol.-Anteil	%	55 - 75	24 - 44	0,2 - 0,6	100	100	100	**100**		100
Heizwert	kWh/m³	10	-	6,3	6,5	8,9 1)	10,1 1)	**8,8**	**10,4**	2,9
Wobbeindex	kWh/m³n				7,0			**10,9**	**13,3**	
Dichte	kg / m³	0,72	1,98	1,54	1,2	0,7-0,76 2)	0,82 - 0,84 2)	**0,83**	**0,79**	0,089
Zündtemperatur	°C	700	-	270	650-750	250	210	**640**	**640**	560
Zündgrenze, Gas in Luft	kg / m³	5 - 15	-	4 - 45	6 - 12	0,6 - 8	0,6 - 6,5	**5 - 15**	**4 - 16**	4 - 75

1) kW/l 2) kg/l

Praxiswerte - Gasqualität

agraferm technologies

Soll:

	Erdgas
Siloxane	< 0,18 mg/m³
BTEX –Aromaten	< 0,5 – 72,6mg/m³
chlor. KW	< 10 mg/m³
Methan	**97 Vol.- %**

Ist:

	Roh-Biogas	**aufber. Biogas**
Siloxane	< 0,07 mg/m³	< 0,07 mg/m³
BTEX –Aromaten	< 0,3 - 1,86 mg/m³	< 0,01 - 0,04 mg/m³
chlor. KW	< 1,2 mg/m³	< 1,8 mg/m³
Methan	**58 Vol.- %**	**96 Vol.- %**

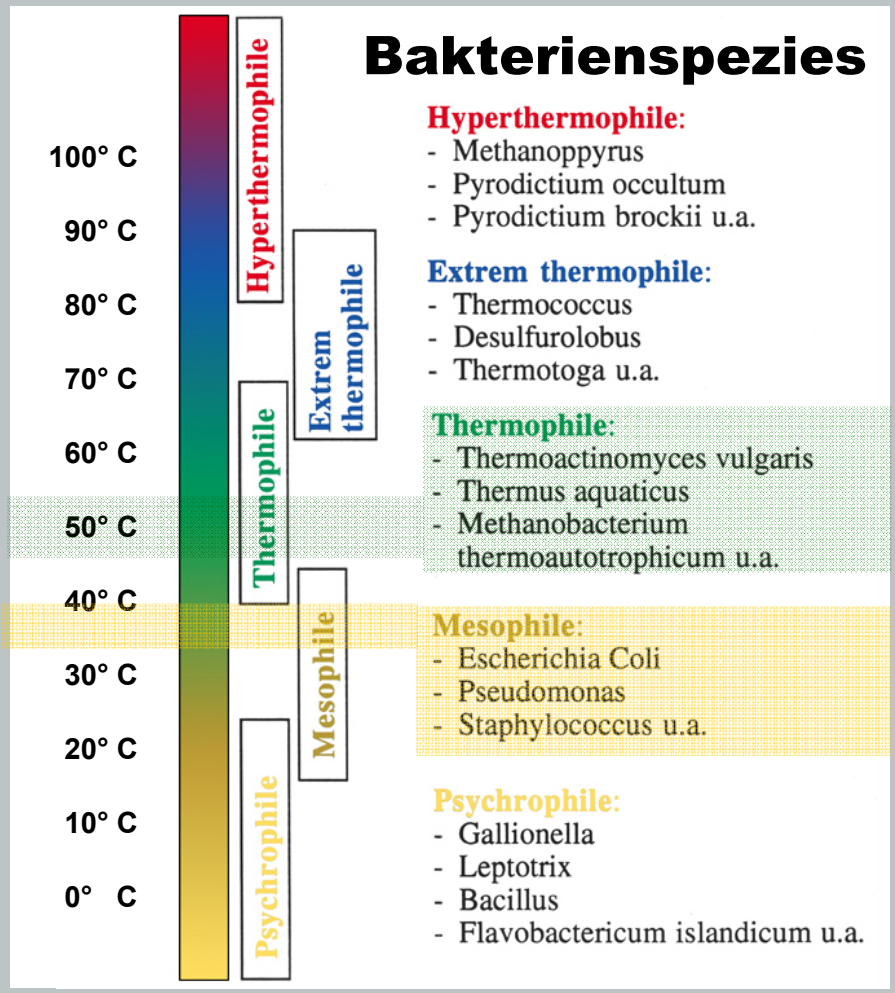
Zusammenfassung Inputstoffe

agraferm technologies

- Einsatz der Stoffe wird **regelt BioAbfallVO** und **DüngemittelVO**
- mögliche Inputsstoffe: unterteilt sich in drei Abbaustufen (**Tier. Exkremente, Kofermentate, NawaRo's)**
- **bessere Wirtschaftlichkeit** durch den Einsatz von Stoffe mit einem **hohem Gaspotential**
- **Methangehalt im Biogas** hängt ab von der Art der Inputstoffe (Fette – Proteine)
- aufbereitetes Biogas enthält **keine schädlichen Inhaltsstoffe**

Einflussfaktoren - Temperatur

agraferm technologies



thermophile Betriebsführung

- Betrieb bei ca. 55 °C
- ~ 10 % höhere Gasausbeuten i. V. zum mesophilen Betrieb
- Akzeptanz gegenüber Temperatur-schwankungen ist geringer

mesophile Betriebsführung

- Betrieb bei 34-38 °C
- geringe Gasausbeuten (s.o.)
- Akzeptanz gegenüber Temperatur-schwankungen ist höher
- bessere Adaption aufgrund höherer Organismenanzahl

Einflussfaktoren - Nährstoffe

agraferm technologies

Makroelemente:
Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium Magnesium, Eisen (C, O, H, N, S, P, K, Na, Ca, Mg, Fe)

Mikro- oder Spurenelemente:
Mangan, Molybdän, Zink, Kupfer, Cobalt, Nickel, Vanadium, Bor, Chlor, Selen, Silicium, Wolfram

Methanbakterien (durchschnittliche Zusammensetzung):

Kohlenstoff	**42,0**	**Gew. %**	**Zink**	**244 ppm**
Wasserstoff	**11,3**	**Gew. %**	**Nickel**	**101 ppm**
Stickstoff	**6,3**	**Gew. %**	**Cobalt**	**50 ppm**
Phosphor	**1,7**	**Gew. %**	**Molypdän**	**38 ppm**
Kalium	**1,6**	**Gew. %**	**Mangan**	**11 ppm**
Schwefel	**1,0**	**Gew. %**		
Natrium	**1,0**	**Gew. %**		
Magnesium	**0,31**	**Gew. %**		
Kalzium	**0,25**	**Gew. %**		
Eisen	**0,15**	**Gew. %**		

Einflussfaktoren - Inputstoff

agraferm technologies

- **Art** (schwer abbaubar – leicht abbaubar)
- **Partikelgröße** (gr. Oberfläche bietet große Angriffs-fläche für Enzyme)
- **Menge** (Monovergärung – Kofermentation)

Weitere Einflussfaktoren

agraferm technologies

- **Verweilzeit:**

  - abhängig von Menge und Art der Inputstoffe (NawaRo-Anlagen: ca. 30- 120 Tage bei einer Raumbelastung von 2,5 kg – 10,0 kg / m^3 Fermentervolumen)
  - Festbettrektoren arbeiten mit kürzen Verweilzeiten

- **einstufige oder mehrstufige Verfahren:**

  Bei schwer abbaubaren Substraten kann der hydrolytische beziehungsweise der acidogene Schritt geschwindigkeitsbestimmend für den Gesamtprozess werden. Deshalb ist es sinnvoll diese Schritte räumlich von der acetogenen und methanogenen Phase zu trennen

Hemmung des Biogasprozesses

agraferm technologies

Prozess interne „Hemmstoffe"

- **„pH"/ Pufferkapazität:**
  - optimal pH-Wert: 7- 8
    - aber: > 8 mögliche Hemmung durch NH_3
    - < 7 mögliche Hemmung durch H_2S
    - optimaler pH-Wert für Methanbildung: 6,7 – 7,4
  - Gülle hat eine hohe Pufferkapazität

- **Flüchtige Fettsäuren (Essigsäure, Buttersäure, Propionsäure):**
  - in frischer Gülle. Konz. zw. 3000 – 10000 mg/l
  - bei stabiler Gärung: Gesamtkonz. < 1000 mg /l
    (Wichtiger Prozessparameter – Anstieg bedeutet Überlastung)
  - Konz. > 15000 mg/l zus. Bruch der Gärung

Hemmung des Biogasprozesses

agraferm technologies

Prozess interne „Hemmstoffe"

- **Schwefelwasserstoff:**
  - kritisch sind Werte über 100 mg / l Gülle
  - wichtige Spurenelemente werden ausgefällt
  - hemmt die Methanbakterien

- **Ammoniak:**
  - Adaption der Mikroorganismen möglich
  - bis 6 –7 g NH_4/l

Hemmung des Biogasprozesses

agraferm technologies

Eingetragene „Hemmstoffe“:

- Antibiotika
- Desinfektionsmittel
- aromatische Verbindungen
- Lösungsmittel
- Herbizide, Insektizide oder Bakterizide

Zusammenfassung
Einflussfaktoren

agraferm technologies

- Biogasanlagen können **mesophil und thermophil betrieben** werden
- **Bakterien** benötigen **zum Wachstum Nährstoffe** (Makro- und Spurenelemente) – Mangel führt zu schlechten Vergärung
- **Art, Größe und Menge des Inputstoffes** sind für den Abbaugrad **mitentscheidend**
- Ist die **Verweilzeit** im Fermenter **zu kurz** wird das **Substrat nicht vollständig umgesetzt** oder die **Bakteriendichte sinkt** im Fermenter
- Optimale Milieubedingungen sind:

  pH-Wert zw. 6.5 – 7,5

  Fettsäuregehalt < 1000 mg/l
- **Ammoniak und Schwefelwasserstoff** sind in Abhängigkeit von Ihrer Konzentration **mögliche Hemmstoffe** für den Prozess neben Antibiotika, Desinfektionsmittel usw.

Wichtige Kenndaten

agraferm technologies

Gaspotential:
= m^3 Biogas / kg organischer Trockensubstanzgehalt (oTS)

Energiegehalt Biogas:
z.B. bei Methangehalt 60% **6,0 kWh/m^3**

Verweilzeit (= hydraulische Verweilzeit):
= Fermentervolumen / zugeführte Substratmenge
(z.B. 1000 m^3/ 20 m^3 = 50 Tage)

Raumbelastung:
- kennzeichnet die „Auslastung“ des Fermenters
= die pro Volumeneinheit des Fermenters täglich zugeführte Substratmenge)

= kg oTS / m^3 * Tag

Biogasanlagen - **Trends**

agraferm technologies

- **Neuanlagen:** **rd. 1000 Biogasanlagen sind 2005 ans Netz – Boom bisher ungebrochen**

- **Errichter:** **i.d.R. Landwirt(e) (Privilegisierung !)**
  zunehmend GmbH & Co KG (Finanzierung über Investoren)

- **Anlagentypen:** **z. Zt. vorwiegend NawaRo-Anlagen (EEG-Vergütung, Entsorgungspreis Abfälle) sowohl Trockenfermentations- als auch Nassfermentationsanlagen**

Biogas – **Ängste**

agraferm technologies

Anlagentechnik

- „Abfallanlagen“ (Gestank, Verkehr)
- Bastleranlagen / Inkompetenz (Betrieb) –
- schlechte Steuerung

d.h. kein Industriestandard / falsche Anlagenauslegung / schlechte Wirtschaftlichkeit

Biogas - die große Unbekannte?

Qualität?

Bereitstellungssicherheit?

generell: Lager - Diskussion

.....aber

agraferm technologies

- **die Biogastechnologie ist zuverlässig**
  (Biogasanlagen mit 8300 h Volllast)
- **die Biogasaufbereitung ist technisch kein Problem**
- **Qualität des aufbereiteten Biogas ist wesentlich besser als nachgesagt**
- **BGW-Studie sieht die Biogaseinspeisung positiv**

agraferm technologies

Vielen Dank

Für Ihre Aufmerksamkeit