

# **Von der oTS zur FoTS**

Die Bewertung des Gasbildungspotenzials von  
nachwachsenden Rohstoffen

Prof. Dr. F. Weißbach  
Elmenhorst

## **Die Bewertung des Gasbildungspotenzials ist notwendig, um entscheiden zu können über:**

- die Eignung von Energiepflanzen
- den Substratbedarf einer Anlage
- die tägliche qualitätsabhängige Substratzufuhr
- die qualitätsabhängige Preisbildung bei Arbeitsteilung zwischen Hersteller und Verwerter der Substrate

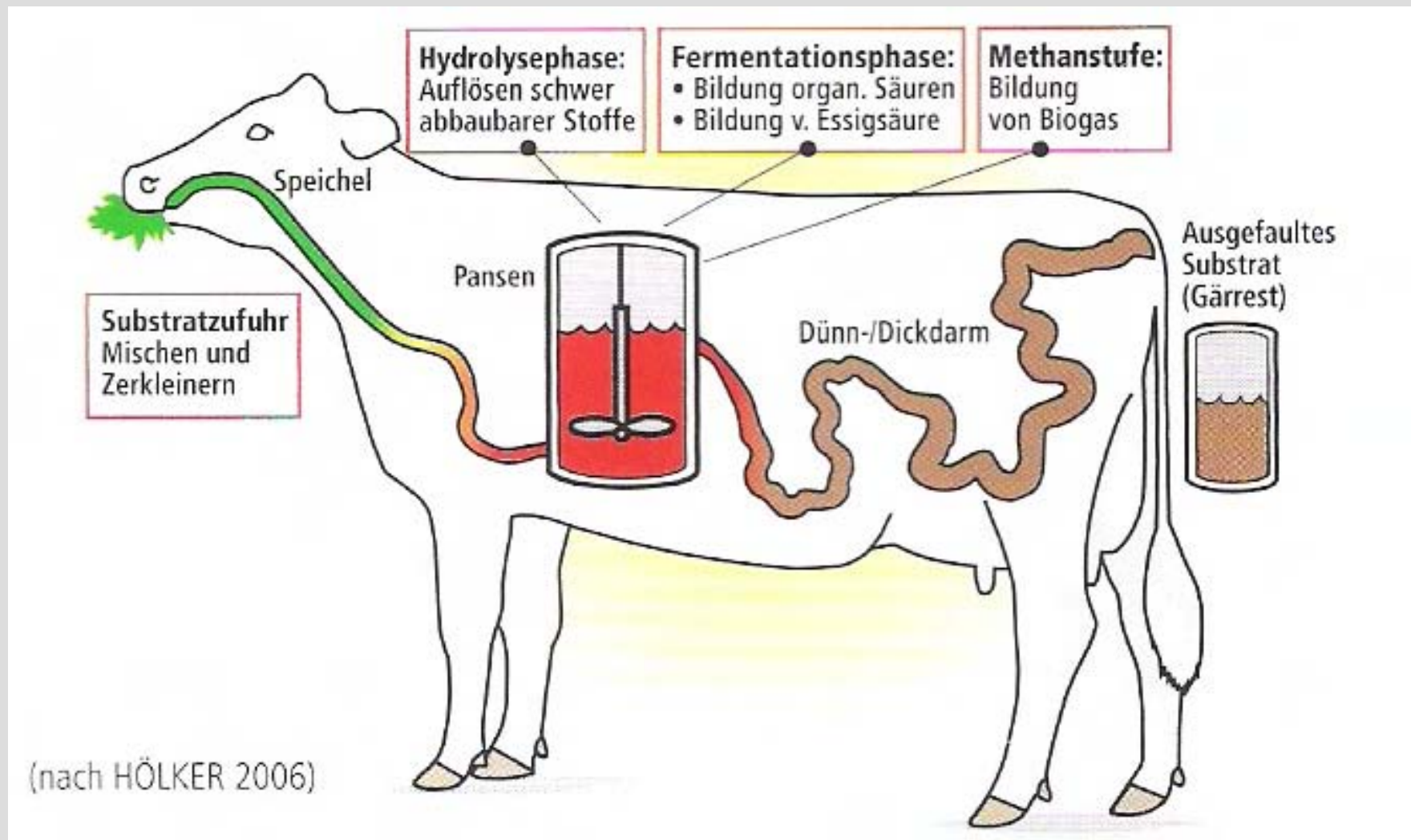
# Die Biogasausbeute hängt ab:

1. vom stofflichen Gasbildungspotenzial des Substrats und
2. vom Ausschöpfungsgrad desselben durch die Verfahrenstechnik

Schlussfolgerung:

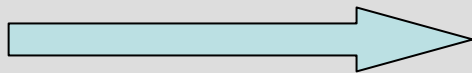


**Gegenstand der Substratbewertung kann nur das von der Verfahrenstechnik unabhängige Gasbildungspotenzial sein.**



# Bisherige Untersuchungsmethode

- Komplette Weender Futtermittelanalyse
- Berechnung der verdaulichen Nährstoffe mit Verdaulichkeit nach DLG-Tabelle
- Berechnung der Gasausbeute mittels Gasbildungswerten nach Baserga



**Mangelhaft, weil fälschlich die scheinbare Verdaulichkeit mit der biologischen Abbaubarkeit gleichgesetzt wird.**

# Arbeitshypothese

- Gasbildungspotenzial kann anhand der *fermentierbaren oTS* (FoTS) bewertet werden.
- FoTS ist die Differenz zwischen oTS und ihrem nicht nutzbaren Anteil.
- Dieser nicht nutzbare Anteil der oTS ist mit der *wahr unverdaulichen OS* identisch.
- Der nicht nutzbare Anteil der oTS lässt sich mittels einfacher Parameter der Futtermittelanalyse bestimmen.

# Fragen

1. Ist es möglich, das Gasbildungspotenzial ohne Berücksichtigung des Nährstoffgehaltes zu bewerten?
2. Kann die FoTS mit einfachen Routinemethoden der Futtermittelanalyse geschätzt werden?
3. Lässt sich das Gasbildungspotenzial je kg FoTS stöchiometrisch ableiten?
4. Kann das so ermittelte Gasbildungspotential in der Praxis bestätigt werden?
5. Wie genau lässt sich das Gasbildungspotenzial bestimmen?

# Frage 1

Einzelne Nährstoffgehalte tatsächlich  
nicht wichtig?

## Gasbildungswerte nach BASERGA (1998)

Nährstofffraktion	Biogas Liter/kg	Methan %
Proteine	700	71
Fette	1250	68
Kohlenhydrate	790	50

## Berechnung der potenziellen Gasausbeute aus den Gehalten an *wahr verdaulichen* Nährstoffen

	Gehalt		Biogas		Methan	
	oTS	FoTS	Liter/kg	Liter/kg	Liter/kg	Liter/kg
	g/kg TS	g/kg TS	oTS	FoTS	oTS	FoTS
<b>Weizenkorn</b>	<b>981</b>	<b>933</b>	<b>749</b>	<b>788</b>	<b>399</b>	<b>419</b>
<b>Maissilage</b>	<b>950</b>	<b>763</b>	<b>638</b>	<b>794</b>	<b>335</b>	<b>417</b>
<b>Weizen-GPS</b>	<b>940</b>	<b>671</b>	<b>567</b>	<b>794</b>	<b>299</b>	<b>419</b>
<b>Grassilage</b>	<b>889</b>	<b>762</b>	<b>672</b>	<b>783</b>	<b>368</b>	<b>429</b>
<b>Weizenstroh</b>	<b>922</b>	<b>493</b>	<b>425</b>	<b>795</b>	<b>220</b>	<b>412</b>
<b>Mittel</b>			<b>610</b>	<b>791</b>	<b>324</b>	<b>419</b>
<b>Standardabweichung</b>			<b>122</b>	<b>5</b>	<b>69</b>	<b>6</b>
<b>Variationskoeffizient</b>			<b>20</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>1</b>

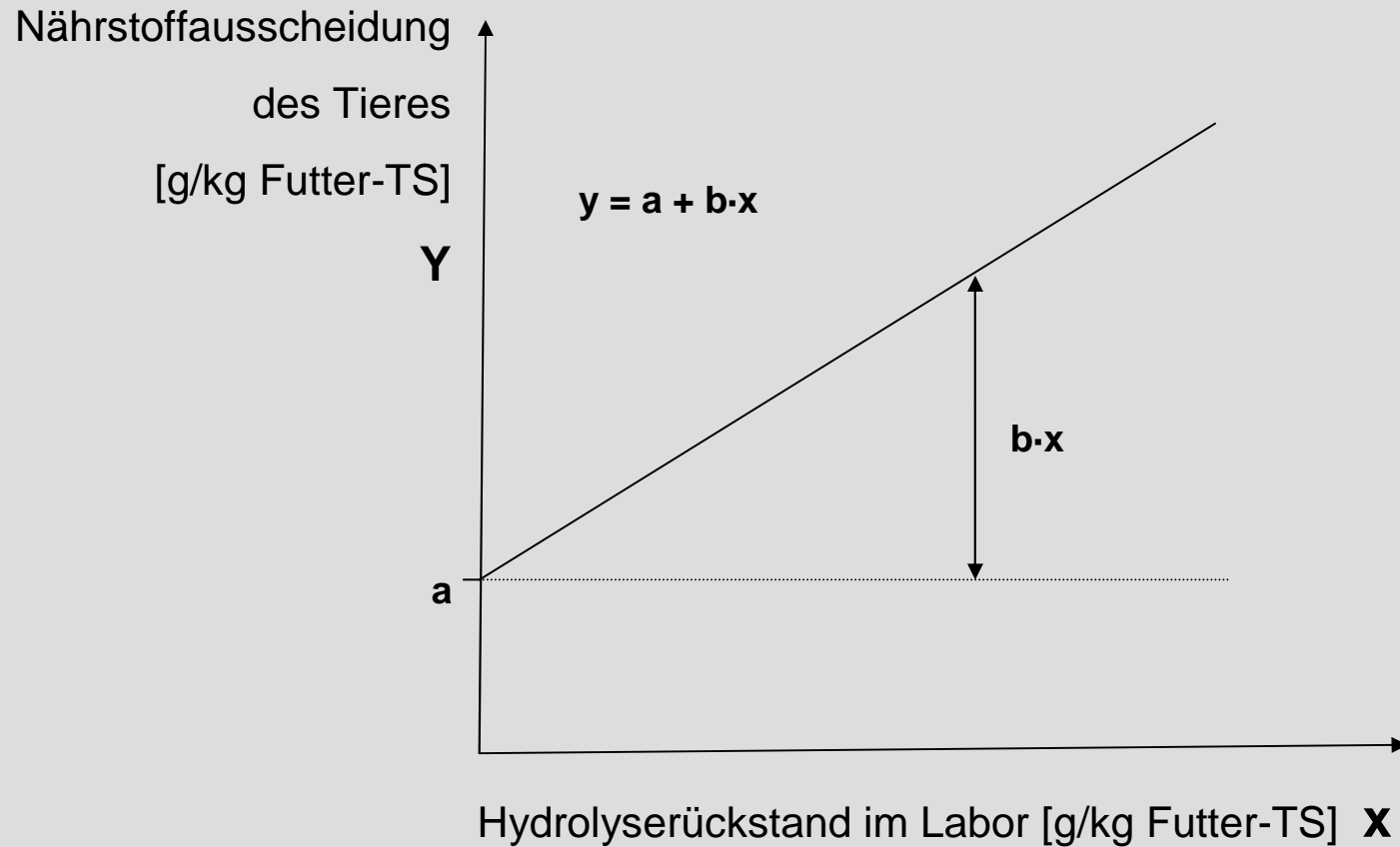
## **Frage 2**

Schätzung von FoTS nur mittels  
simpler Analysen?

$$\text{oTS} = \text{TS} - \text{XA}$$

$$\text{FoTS} = \text{TS} - \text{XA} - (\text{nicht nutzbare oTS})$$

# Modell zur Schätzung der tierischen Exkretion



## Gleichungen zur Schätzung von FoTS

---

Substrate	Gleichungen, alle Parameter in g/kg TS
Getreidekorn	$FoTS = 991 - (XA) - 1,53 (XF)$
Maissilage	$FoTS = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF)^2$
Getreideganzpfl.silage	$FoTS = 982 - (XA) - 0,75 (XF) - 0,00036 (XF)^2$
Grassilage, intensiv*	$FOM = 969 - (XA) + 0,26 (XF) - 0,00300 (XF)^2$
Grassilage, allgemein**	$FOM = 1000 - (XA) - 0.62 (EuIOS) - 0.00022 (EuIOS)^2$

---

\* Intensivgras, nur 1. und 2. Schnitt; \*\* alle Intensitätsstufen und Schnitte

**EuIOS = Enzym-unlösliche Organische Substanz**

## Gleichungen zur Schätzung von FoTS in Silomais und Maissilagen

$$\text{FoTS} = 984 - (\text{XA}) - 0,47 (\text{XF}) - 0,00104 (\text{XF})^2$$

oder

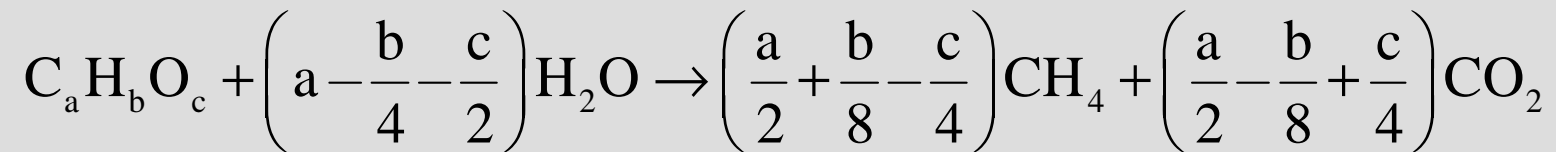
$$\text{FoTS} = 984 - (\text{XA}) - 0,43 (\text{ADF}_{\text{org}}) - 0,00086 (\text{ADF}_{\text{org}})^2$$

## Frage 3

Gasbildung je kg FoTS durch Stöchiometrie ableitbar?

**Gleichung zur Berechnung der potentielle  
Gasbildung aus N-freien chemischen  
Verbindungen**

(Buswell & Mueller, 1952)



## Voraussetzungen für brauchbare Ergebnisse:

- Nur auf die Summenformel der einzelnen chemischen Verbindung anwenden.
- Nur auf Verbindungen des fermentierbaren Anteils der oTS anwenden.
- Abzug des Anteils der FoTS, der von Bakterien inkorporiert wird.

## Stöchiometrisches Gasbildungspotenzial von fermentierbaren Kohlenhydraten und Gärprodukten

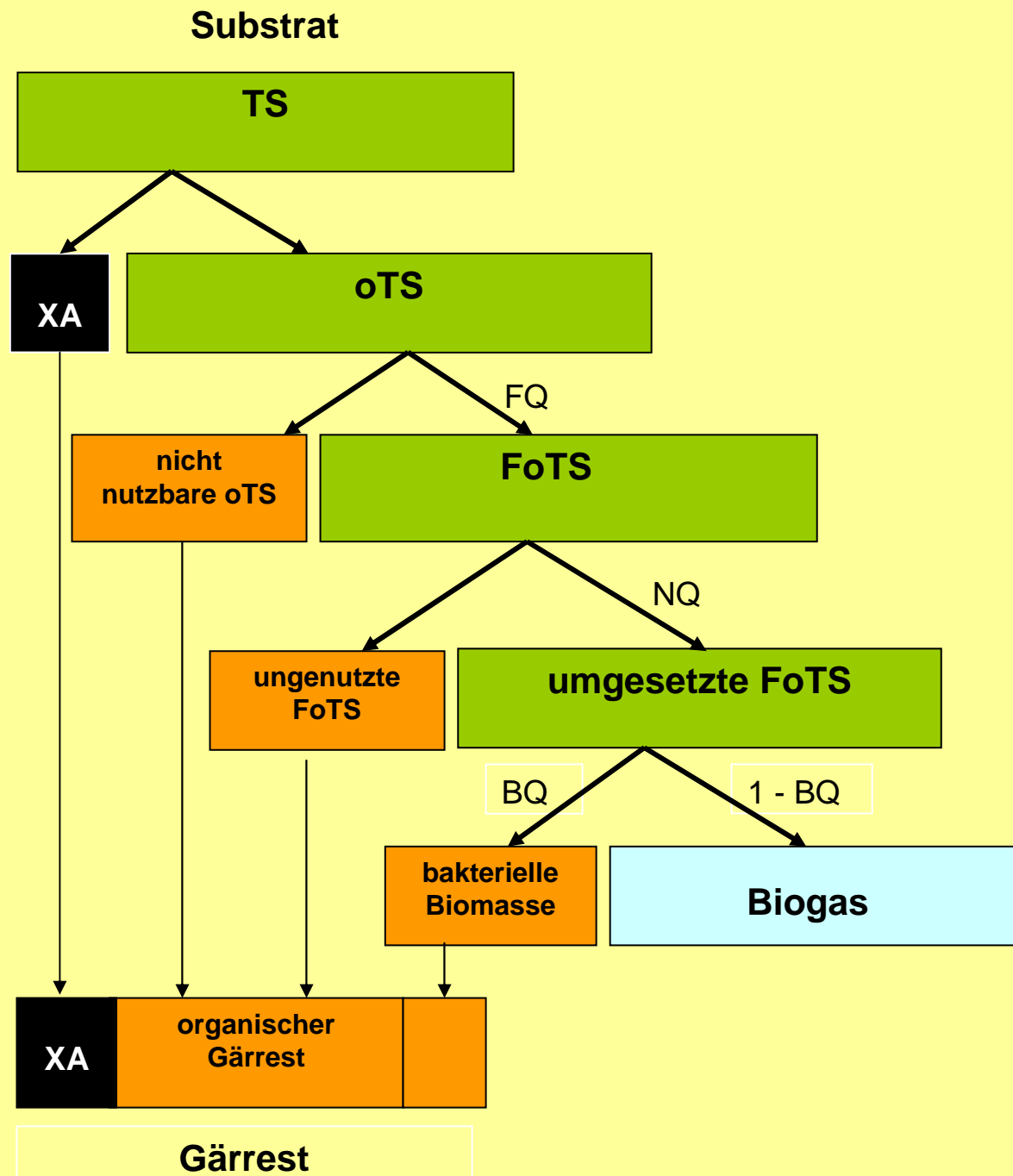
Verbindung	Liter/kg		Methan- gehalt %
	Methan	Biogas	
<b>Kohlenhydrate</b>			
Glucose, Fructose	<b>355</b>	<b>709</b>	50,0
Saccharose	<b>373</b>	<b>746</b>	50,0
Stärke, Cellulose	<b>394</b>	<b>788</b>	50,0
Pentosane	<b>403</b>	<b>806</b>	50,0
Pektine	<b>364</b>	<b>784</b>	46,4
<b>Gärsäuren</b>			
Milchsäure	<b>355</b>	<b>709</b>	50,0
Essigsäure	<b>355</b>	<b>709</b>	50,0
Propionsäure	<b>503</b>	<b>862</b>	58,3
Buttersäuren	<b>604</b>	<b>967</b>	62,5
<b>Alkohole</b>			
Methanol	<b>498</b>	<b>664</b>	75,0
Ethanol	<b>693</b>	<b>924</b>	75,0
Propanole	<b>797</b>	<b>1063</b>	75,0
Butanole	<b>862</b>	<b>1149</b>	75,0
Propandiole	<b>559</b>	<b>839</b>	66,7
Butandiole	<b>650</b>	<b>945</b>	68,8

## Stöchiometrisch abgeleitetes Gasbildungspotenzial der FoTS

	Methan Liter/kg FoTS	Biogas Liter/kg FoTS	Methan %
<b>Maissilagen</b>	<b>422</b>	<b>809</b>	<b>52,1</b>
<b>Getreideganz- pflanzensilagen</b>	<b>425</b>	<b>813</b>	<b>52,3</b>
<b>Grassilagen</b>	<b>419</b>	<b>801</b>	<b>52,3</b>
<b>Getreidekorn</b>	<b>414</b>	<b>812</b>	<b>51,0</b>
<b>Mittel</b>	<b>420</b>	<b>809</b>	<b>51,9</b>

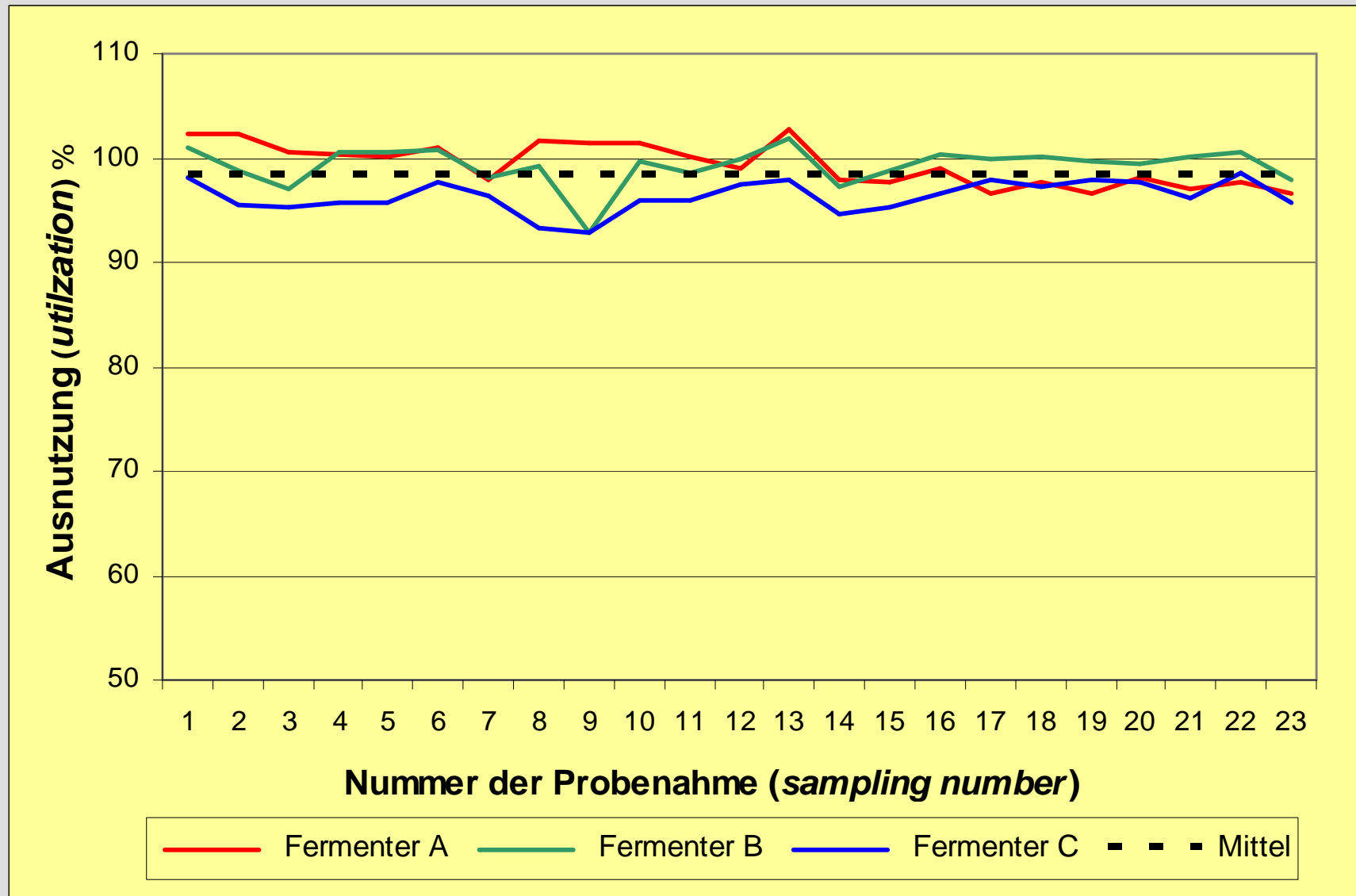
## **Frage 4**

Bestätigung des Gasbildungspotenzials  
durch die Praxis möglich?



## Gleichung zur Berechnung des Ausnutzungsgrades

$$NQ' = \frac{1000}{FoTS(1 - BQ)} \left( 1 - \frac{XA_S}{XA_R} \right)$$



# Vergleich von vorausberechnetem Gasbildungspotenzial mit Fermenterbilanzen

Methode der Ermittlung	Methan Liter/kg FoTS**	Biogas Liter/kg FoTS**	Methangehalt im Biogas %
Stöchiometrische Berechnung*	<b>420</b> (414...425)	<b>809</b> (801...813)	<b>51,9</b> (51,0...52,3)
Messung von Gasvolumen und Methangehalt	<b>418</b> (402...434)	<b>802</b> (789...819)	<b>51,7</b> (48,9...53,2)
Berechnung aus der elektrischen Arbeit (kWh)	<b>414</b> (405...421)		<b>51,6</b> (50,6...52,8)
Bei bisherigen Kalkulationen zur Substratbewertung unterstellt	<b>420</b>	<b>800</b>	<b>52,5</b>

\* Annahme von 5 % Inkorporation der umsetzbaren FoTS in bakterielle Biomasse

\*\*umgesetzte bzw. umsetzbare FoTS

## **Frage 5**

Wie genau ist die Ermittlung des Gasbildungspotenzials?

# Variationskoeffizient (VC) bei der Messung verschiedener biologischer Größen

- **Energetische Futterbewertung** (Jentsch et al. 2000)

Verdaulichkeit	VC = 2 %
Energieverwertung	VC ≥ 6 %

- **Biogasertrag**

HBT (Hellfrich & Oechsner (2003)	VC = 7 %
Batchtest (Heuwinkel et al. 2009)	VC = 10 %



**Die FoTS lässt sich viel genauer ermitteln als der Ertrag des biologischen Gesamtprozesses.**

# Fazit

- Der Gehalt an FoTS eignet sich als Parameter zur Bewertung des Gasbildungspotentials der Substrate.
- Bei allen Halm- und Körnerfrüchten kann mit rund 800 Litern Biogas und 420 Litern Methan je kg FoTS gerechnet werden.
- Mithilfe der Ermittlung von FoTS bzw. des Gasbildungspotenzials der Substrate ist es erstmalig möglich, auch die Effizienz des Fermentationsprozesses zu bewerten.



**Für Ihre Aufmerksamkeit vielen Dank!**

Diese Arbeit wurde finanziell  
unterstützt von:

