

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen

Ausschuss für Bedarfsnormen

Methanproduktion

Federführend: B. Kuhla, M. Schilde, S. Dänicke M. Kreuzer

Warum in den Versorgungsempfehlungen?

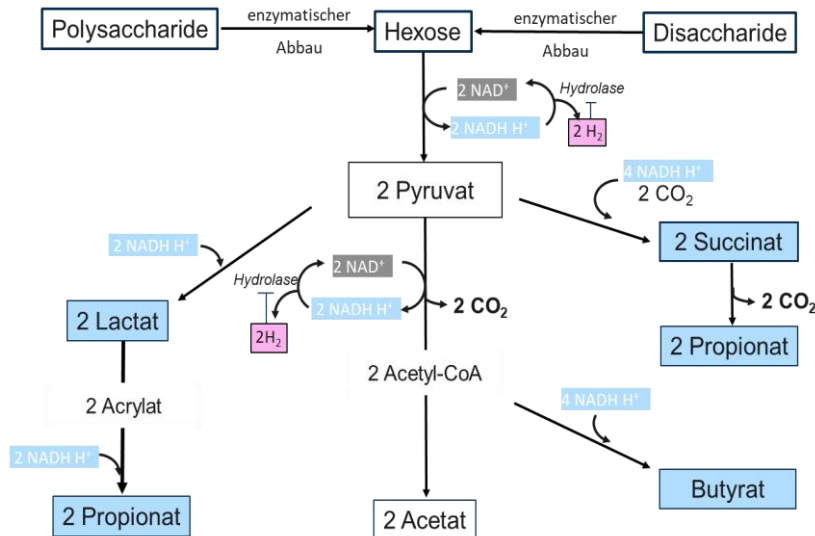
- Relevanz von Methan im Energiebewertungssystem
- Ernährungsphysiologische Bedeutung für den Wirt
- Emissionsinventarisierung
- Entwicklung von Strategien zur Verringerung von Emissionen aus der Wiederkäuerhaltung

Fünf Teilkapitel

1. Grundlegende Zusammenhänge und Biochemie der Methansynthese
2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion
3. Potenziale und Grenzen der Minderung der Methanproduktion
durch Verringerung des Futteraufwandes sowie Rationsgestaltung und
Futterzusatzstoffe
4. Rahmenbedingungen und Schlussfolgerungen für die Implementierung nutritiver
Maßnahmen zur Verringerung der Methanproduktion
5. Abschließende Überlegungen

1. Grundlegende Zusammenhänge und Biochemie der Methansynthese

1.1 Kohlenhydratabbau und Wasserstoffsynthese



- Cellulose und Hemicellulose
- Stärke
- Pektine

1. Grundlegende Zusammenhänge und Biochemie der Methansynthese

1.2 Biochemie der Methansynthese

Mikroorganismen	H ₂ -Akzeptor	Reaktions- produkt	Standardreaktions- enthalpie (ΔG^0), kJ/mol
hydrogenotrophe Methanogene	CO ₂	CH ₄	-135
methylotrophe Methanogene	CH ₃ OH	CH ₄	-113
	CH ₃ SH	CH ₄	-51
Nitratreduzierer	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	-501
Sulfatreduzierer	SO ₄ ²⁻	H ₂ S	-84
Acetogene	CO ₂	CH ₃ COO ⁻	-8,7

1. Grundlegende Zusammenhänge und Biochemie der Methansynthese

1.3 Bedeutung der Methanproduktion für den Wirt

- Entfernung von molekularem Wasserstoff aus dem Fermentationsgemisch
- Abbau toxischer Substanzen
- Aufrechterhaltung des Überdruckes und der Motilität im Pansen

2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion

2.1 Herausforderungen

- routinemäßige Messung der Methanproduktion *in praxi* kaum möglich
- begrenzte Verfügbarkeit notwendiger Prädiktorvariablen (DMI, KM)
- Genauigkeit und Robustheit von Schätzungen abhängig von:
Produktionsbedingungen (Weide/Stall/Region),
Tierkategorie (Milchkühe, Fleisch- und Aufzuchtrinder)
Anwendungsbereich (Praxis, Wissenschaft, Inventare)
- keine universell anwendbare Vorhersagegleichung

2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion

2.2 Zwölf Modelle zur Schätzung der Methanproduktion anhand rations- und tierbasierter Variablen

$$(1) \quad \text{CH}_4\text{-E}_{\text{FAN1}} \text{ (MJ/kg OM)} = 0,7 + 0,014 \times \text{OMD}_{\text{FAN1}}$$

$$(2) \quad \text{CH}_4 \text{ (g)} = 107 \text{ (12,6)} + \text{Trockenmasseaufnahme} \times 14,5 \text{ (0,39)}$$

$$(3) \quad \text{CH}_4 \text{ (g)} = 141 \text{ (18,9)} + \text{energiekorrigierte Milchleistung} \times 4,75 \text{ (0,22)} + \\ \text{Milchproteinkonzentration} \times 27,4 \text{ (3,7)}$$

$$(4) \quad \text{CH}_4 \text{ (g)} = 34,1 \text{ (38,7)} + \text{KM} \times 0,287 \text{ (0,028)}$$

2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion

2.2 Zwölf Modelle zur Schätzung der Methanproduktion anhand rations- und tierbasierter Variablen

$$(5) \quad \text{CH}_4 = -52,2 (21,7) + \text{DMI} \times 13,0 (0,49) - \text{CL} \times 10,9 (1,50) + \text{NDF} \times 2,80 (0,349) + \text{MF} \times 7,26 (1,59) + \text{KM} \times 0,154 (0,0167)$$

$$(6) \quad \text{CH}_4 = \text{FT-MIR-Spektren, Parität, Rasse, Milchleistung am Testtag}$$

- Mit der Kombination rations- und tierbasierter Prädiktorvariablen kann die Genauigkeit des CH_4 -Vorhersagemodells erhöht werden.
- Jede Schätzgleichung führt zu unterschiedlichen Ergebnissen

2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion

2.3 Modellbewertung hinsichtlich:

- **Root Mean Square Prediction Error**

aus geschätzten (P) und beobachteten (O) mittleren Werten

$$RMSPE, \% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \times 100$$

- **Mean Bias**

$$MB, \% = \frac{(\bar{P} - \bar{O})^2}{MSPE} \times 100$$

- **Slope Bias**

aus geschätzten und beobachteten Korrelationskoeffizienten (SD)

$$SB, \% = \frac{(SD_P - r \times SD_O)^2}{MSPE} \times 100,$$

- Verhältnis zwischen RMSPE und SD_O

$$RSR = \frac{RMSPE}{SD_O},$$

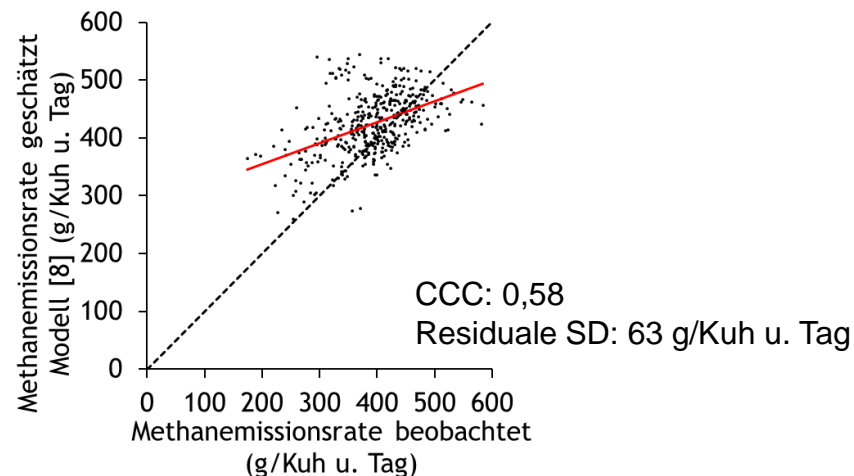
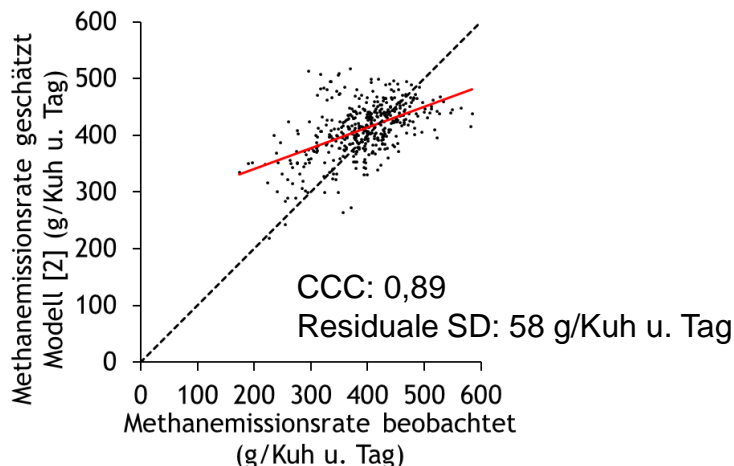
2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion

2.3 Modellbewertung anhand externer Validierung (Schilde et al. 2021)

$$\text{CH}_4 = -26,0 (16,7) + \text{TM-Aufnahme} \times 15,3 (0,41) \\ + \text{NDF} \times 3,42 (0,309)$$

$$\text{CH}_4\text{-E (MJ/kg OM)} = [\text{CH}_4\text{-E}_{\text{FAN1}} \text{ (MJ/kg OM)} + 0,9 \text{ MJ} \\ \times (\text{FAN}_i - 1)] / \text{FAN}_i,$$

wobei $\text{CH}_4\text{-E}_{\text{FAN1}} \text{ (MJ/kg OM)} = 0,7 + 0,014 \times \text{OMD}_{\text{FAN1}}$



2. Möglichkeiten zur Schätzung der Methanproduktion

2.3 Bewertung und Eignung der 12 Modelle hinsichtlich:

- Genauigkeit (+, ++ oder +++)
- Tierkategorie (Milchkuh, Aufzuchtrind)
- Zielanwendung (Praxis/ Wissenschaft/ Inventarisierung)
- Region bzw. Rationstyp (KF/GF)
- nötige Prädiktorvariablen
- Vor- und Nachteile
- Anwendbarkeit bei Minderungsszenarien

Modell	Genauigkeit	Tierkategorie	Zielanwendung	Region und Rationstyp [†]	Variablen [†]	Vorteile	Nachteile
[1]	+	Milchkuh	Praxis	EU	DMI	geringe Anzahl benötigter Variablen	berücksichtigt nicht Rationseigenschaften
[2]	+++	Milchkuh	Inventarisierung, Wissenschaft, Praxis	EU	DMI, Nährstoffe in Ration	robust, ähnlich exakt wie komplexere Modelle, geringe Anzahl benötigter Variablen, Umfang und Variabilität Referenzdaten	
[3]	+	Milchkuh	Praxis	EU	ML, MI	routinemäßig im Rahmen der Milchkontrolle implementierbar	ungenauere Schätzung der Randbereiche
[4]	+	Milchkuh	Praxis	EU	ML	flächendeckend in Routine anwendbar, Umfang und Variabilität Referenzdaten	ungenauere Schätzung der Randbereiche, sehr hohe systematische Schätzfehler, ML als alleinige Variable ungeeignet

3. Potenziale und Grenzen der Minderung der Methanproduktion

3.1 durch Verringerung des Futteraufwandes

- Selektion von Tieren mit einem geringerem Futteraufwand
- höherer Anteil gesunder Tiere
- Verlängerte Laktations- bzw. Nutzungsdauer

3. Potenziale und Grenzen der Minderung der Methanproduktion

3.2 durch Rationsgestaltung und Futterzusatzstoffe

Rationsgestaltung	Einsatzkonflikte
Stärke bzw. Zucker statt Faser	<ul style="list-style-type: none">• Acidosegefahr, CH₄-Emissionen aus Gülle ↑• zur menschlichen Ernährung geeignet
Fette, Öle und fettreiche Futtermittel	<ul style="list-style-type: none">• Nur zwischen 3 – 7 %• z.T. zur menschlichen Ernährung geeignet• Seifenbildung bei hohen Ca-Konzentrationen

3. Potenziale und Grenzen der Minderung der Methanproduktion

3.2 durch Rationsgestaltung und Futterzusatzstoffe

sekundäre Inhaltsstoffe	Einsatzkonflikte
Tannine (hydrolisierbare und kondensierte)	Wirkung von Tanninguelle abhängig Hohe Dosen: Faserverdauung ↓, Leistung ↓
Saponine	Hohe Dosen: Tympanie und Toxizität durch Hämolyse ↑
Ätherische Öle	Wirksame Dosierungen und chem. Verbindungen oft nicht bekannt
Schwefelhaltige Verbindungen	Transfer in die Milch
Br-Verbindungen	Transfer in die Milch, Br-Radikale → Ozonloch
Nitrat	Transfer in die Milch, Toxizität bei hohen Konzentrationen

3. Potenziale und Grenzen der Minderung der Methanproduktion

3.2 durch Rationsgestaltung und Futterzusatzstoffe

Synthetische Zusatzstoffe	Einsatzkonflikte
3-Nitroxypropanol (3-NOP)	Dauer der Wirksamkeit von Rationszusammensetzung abhängig
Ionophore	Antibiotika unterliegen dem Arzneimittelrecht; Keine Routineanwendung in landwirtschaftlicher Praxis

4. Rahmenbedingungen und Schlussfolgerungen für die Implementierung nutritiver Maßnahmen zur Verringerung der Methanproduktion

- Additive Wirkung und Variabilität nutritiver Maßnahmen
- Erwartete Wirkdauer einer Ration bzw. eines Zusatzstoffes
- Nachweis der Höhe der in der Praxis zu erwartenden Effekte

5. Abschließende Überlegungen

- Einige CH₄-Minderungsmaßnahmen wirken auf N₂O- und NH₃-Emissionen
- Zielkonflikte zwischen Methanminderungsmaßnahmen, Nahrungskonkurrenz, Produktionseffizienz, Lebensmittelqualität
- Kostenabwägungen