

Möglichkeiten zur Minderung der Methan- und Ammoniakemission bei Wiederkäuern

Dr. W. Richardt und Prof. M. Hoffmann

Methanminderungsstrategien

Geeignete Strategien zur Minderung der Methanausscheidung setzen definierte Ziele voraus. Sollte die Methanproduktion je Tag bzw. je Flächeneinheit und Tag reduziert werden, wäre die Reduzierung des Tierbestandes an großen Wiederkäuern die effektivste Maßnahme. Dies zieht jedoch einen geringeren Konsum bzw. Verfügbarkeit an Milch- und Fleischprodukten nach sich. Soll jedoch die Methanausscheidung je Kilogramm Produkt (z. B. kg Milch, kg Fleisch, kg essbares Eiweiß) reduziert werden, kann über Einflussfaktoren wie die Fütterung, Leistungshöhe, Tiergesundheit, Lebensdauer und Futtereffizienz entscheidend Einfluss genommen werden.

Im Laufe der Millionen Jahre andauernden Anpassung der Wiederkäuer an die Aufnahme von zellulosereichen Gräsern in unterschiedlichen Regionen hat sich eine Symbiose mit einem Mikrobiom im Pansen und dem Wirtstier entwickelt. In den Vormägen der Wiederkäuer, vorrangig im voluminösen Pansen (bei ausgewachsenen Milchkühen > 150 l) ist eine artenreiche Mikrofauna (Bakterien) angesiedelt, die mit ihrem Enzymsystem zwei besondere Leistungen ermöglicht.

- Die Verwertung von Zellulose, indem sie die spezielle Bindung der langen Glukosekette (β -glukosidische Verknüpfung im Gegensatz zur Stärke, bei der die Glukosemoleküle α -glukosidisch gebunden sind) aufspalten können. Nur die Pansenbakterien des Wiederkäuers sind in der Lage, dieses Kohlenhydrat für die Erzeugung von Milch und Fleisch nutzbar zu machen. Je nach Leistung kann er dafür Futter nutzen, besonders von den auf der Erde befindlichen großen Grasflächen, die von Menschen und monogastrischen Tierarten nicht verwertet werden können (absolutes Tierfutter).
- Die Pansenbakterien können mit ihrem Enzymsystem alle stickstoffhaltigen Verbindungen (Proteine und NPN = Nichtprotein-Stickstoff- Verbindungen) zu Ammoniak abbauen und diesen mit verfügbarer Energie zu wertvollem Bakterieneiweiß synthetisieren, das dann im Dünndarm als Aminosäurequelle zur Verfügung steht.

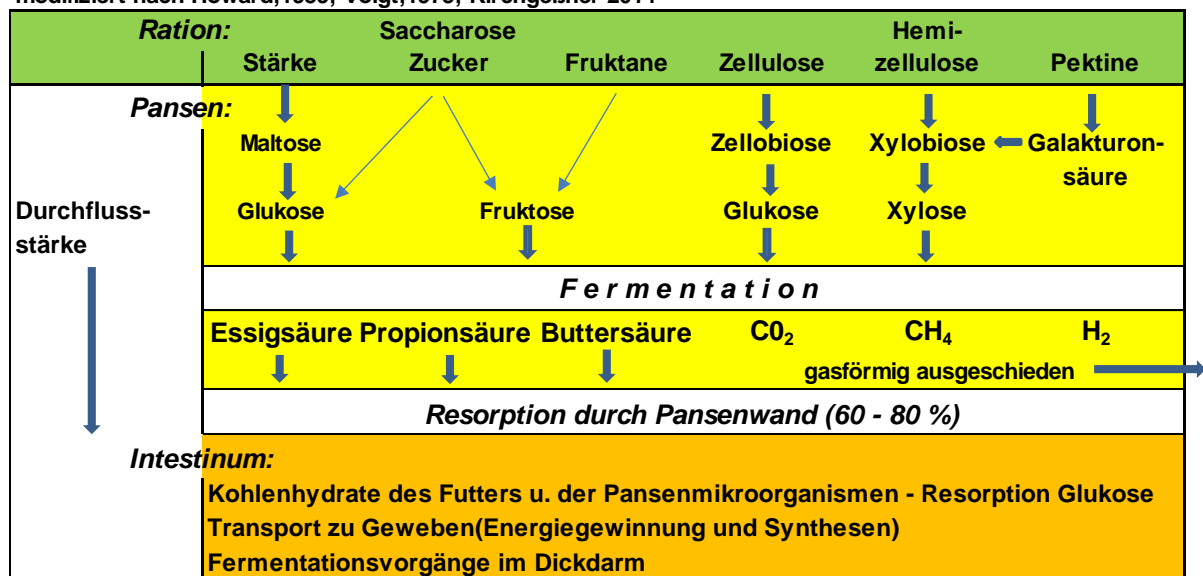
Im Zusammenhang mit dem gestellten Thema interessiert vor allem die Wirkung der Kohlenhydrate. Alle mit der Ration gefütterten Kohlenhydrate (Zellulose, Hemizellulosen,

Stärke, Fruktane, Zucker u.a.) werden durch die anaerobe, d.h. unter Luftabschluss im Pansen stattfindende Fermentation zu flüchtigen Fettsäuren (vorrangig Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure) und den Gasen Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Wasserstoffe (H₂) abgebaut. Die Methanbildung erfolgt vorrangig durch Archaeen. Die flüchtigen Fettsäuren werden direkt durch die Pansenwand resorbiert und zu den entsprechenden Geweben zur Energiegewinnung und zu Syntheseleistungen transportiert (siehe Tabelle „Grundlagen des Kohlenhydratumsatzes beim Wiederkäuer“).

Abb. 1:

Grundlagen des Kohlenhydratumsatzes beim Wiederkäuer

modifiziert nach Howard,1959; Voigt,1975; Kirchgeßner 2014



Die Funktion der Methanbildung sind die Aufnahme des H⁺-Überschuss und die deutliche Reduzierung des Gasvolumens. Die gebildeten Gase werden mit dem Ruktus (= Abgabe der im Vormagensystem des Wiederkäuers gebildeten Gase an die Umwelt) ausgeschieden. Die Zusammensetzung der Gase beträgt ungefähr 66% CO₂, 31% Methan und 3% andere Gase (N₂, H₂, O₂).

Aus der Gärbiologie ist bekannt, dass etwa 70 % des Methans aus Essigsäure entstehen. Die restlichen 30 % Methan entstehen aus Kohlendioxid und Wasserstoff, wobei Wasser frei wird. Piatkowski und Jentsch (2012) konnten für die Methanbildung in Abhängigkeit je Kilogramm verdauten Nährstoff folgende Werte ermitteln:

43 g Methan/kg verdaulicher Rohfaser

26 g Methan/kg verdaulicher NfE (Stärke, Zucker, Hemizellulose, lösl. Faser)

19 g Methan/kg verdauliches Rohprotein

5 g Methan/kg verdauliches Rohfett

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Faser (Rohfaser, NDFom) und leicht fermentierbare Kohlenhydrate

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass ausgerechnet die Verdauung der Zellwand (Rohfaser, Zellulose-Lignin-Komplex) mit 43 g/kg zu den höchsten Methanbildungswerten führt. Gerade der ökologische Vorteil des Wiederkäuers, nämlich die Nutzung von Biomasse welche nicht für den Menschen geeignet ist, wird aus Sicht der Methanbildung zum Nachteil. Da die Verdauungsvorgänge des Wiederkäuers aber an die Verwertung von Zellulose angepasst sind, gibt es in der Rationsgestaltung nur geringen Spielraum. In Tab. 1 sind die Anforderungen an die Versorgung mit Kohlenhydraten für laktierende Rinder dargestellt.

Tabelle 1: Anforderungen an die Versorgung mit Kohlenhydraten für laktierende Rinder

Parameter	Einheit	Optimum
Stärke ¹⁾ + wasserlösliche Kohlenhydrate ²⁾	g/kg TM	240 - 260
NDFom (Zellwand, Zellulose, Hemizellulose)	g/kg TM	320 - 360
lösliche Faser (z. B. Pektine)	g/kg TM	80 - 120

1) nach VDLUFA Bd.3, 7.1.3., 2) Glukose + Fruktose + Saccharose + Fruktane

Rohfett

Die niedrigste Methanbildung je Kilogramm verdauten Nährstoff weist das Rohfett auf (5 g/kg). Da Rohfett im Vergleich zu den Kohlenhydraten mehr als das Doppelte an Energie enthält, stellt Rohfett eine gute Möglichkeit dar, die Energieversorgung des Wiederkäuers abzusichern. Es muss jedoch beachtet werden, dass aufgrund der negativen Effekte von hohen Fettmengen auf die mikrobielle Proteinsynthese, die Zellwand-Verdaulichkeit sinkt, mit der Folge eines Rückgangs von Milcheiweiß und Milchfett. Deshalb sollten nicht mehr als 120 g/100 kg Lebendmasse ungeschützte Fette und nicht mehr als 100 g/100 kg Lebendmasse zusätzlich pansengeschützte Fette gefüttert werden. Aus diesen Werten ergibt sich, dass für eine Kuh mit 700 kg Lebendmasse die Obergrenze bei etwa 850 g Rohfett bzw. 1400 g Rohfett + pansengeschütztes Fett pro Tag liegt. Bezogen auf die Ration liegen die maximalen Werte bei 4,5-5 % je Kilogramm Trockenmasse. Es können also etwa 6-7 % des Energiebedarfs über das Rohfett gedeckt werden.

Futteraufnahme

Die Höhe der Futteraufnahme ist positiv mit der Methanbildung (g/d) korreliert (vgl. Abb. 2). Dies impliziert die Haltung und Züchtung von Tieren mit geringer Futteraufnahme. Da aber die Milch- und Fleischleistung positiv mit der Futteraufnahme korreliert ist, kann die Lösung des Problems nur in einer effizienten Verwertung des aufgenommenen Futters bestehen.

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Abb. 2: Einfluss der Futteraufnahme auf die Methanbildung (g/Tier und Tag)

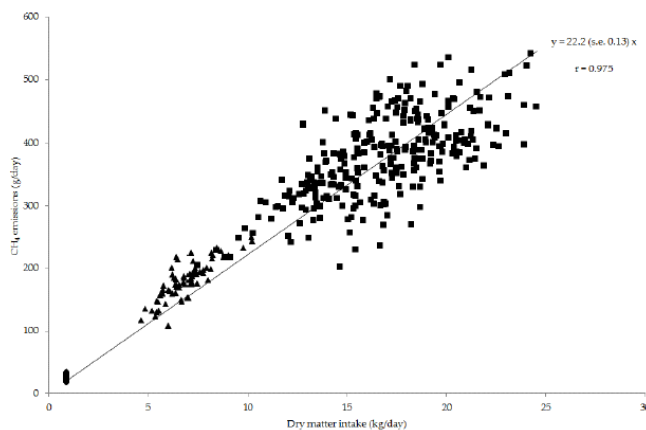


Figure 1. Observed dry matter intake and CH₄ emissions per day for sheep (◆; n = 288), beef cattle (▲; n = 71) and dairy cows (■; n = 284) included in the analysis. The line of best-fit through the origin across all values is shown with the Pearson correlation coefficient (r).

Quelle: Bell et al. (2016)

Nutzungsdauer/Lebensstage

Bei den Milchkühen liegt das Erstkalbealter zwischen 22 und 28 Monaten. In dieser Zeit (Jungrinderaufzucht) wird unvermeidlich Methan erzeugt, ohne dass eine Leistung in Form von Milch erbracht wurde. Dieser Betrag belastet in den nachfolgenden Laktationen den Methanwert je Kilogramm Milch. Je länger die Nutzungsdauer eines Tieres, desto geringer ist der Anteil des unvermeidlichen Methans aus der Jungrinderaufzucht. Langlebige Tiere sind also die Voraussetzung für einen niedrigen Methanwert je Kilogramm Milch (vgl. Abb. 2). Das Ziel sollte eine Nutzungsdauer von über 3,5 Jahre sein (aktuell ca. 2,9 Jahre).

Tab. 2 Einfluss der Anzahl Laktationen (Nutzungsdauer) auf den Carbon Footprint je kg Milch

Laktationsnummer	1	2	3	5	8
kg CO _{2eq} pro Kuh ¹⁾	10.200	15.400	20.600	31.000	46.600
g CO _{2eq} ¹⁾ pro kg Milch ¹⁾	1280	960	860	770	730

Quelle: D. von Soosten et al. (2020); 1) CO_{2eq} = CO₂ x 1 ; CH₄ x 23, N₂O x 296

Milchleistung

Ein weiterer entscheidender Einfluss auf die Methanbildung je Kilogramm Milch ist die Höhe der Leistung. In Abbildung 3 ist dargestellt, wie sich der Wert von 30 g Methan/kg Milch auf 15 g Methan reduziert, wenn sich die Jahresleistung von 4000 auf 10.000 kg erhöht. Hintergrund ist die Tatsache, dass ein Teil der aufgenommenen Nahrung für die Erhaltung aufgewendet werden muss. Dadurch entstehen unvermeidliche Methanverluste (ca. 72 kg/Tier und Jahr, bei 650 kg LM), welche unabhängig von der Leistung sind. Je höher die Leistung desto geringer ist der Anteil an den unvermeidlichen Verlusten.

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Die Tabelle wurde ausgewählt, weil es sich hier um direkt in Respirationsapparaturen des Oskar-Kellner-Instituts Rostock gemessene Werte handelt.

Abb. 3:

Methanbildung bei Milchkühen (Körpermasse 650 kg)

Milchleistung kg / Tier u. Jahr	Methanbildung			Energieverlust %
	g / kg TS	kg / Jahr	g / kg Milch	
4000	25	118	30	7,2
6000	23	132	33	6,9
8000	22	139	17	6,6
10 000	21	145	15	6,3
Mutterkühe	27	98		
Erhaltung	28	72		

DGfZ, 2011; Piatkowski, B. und Jentsch, W. 2012

Futtermittelzusatzstoffe

In der Forschung werden aktuell verschiedene Konzepte geprüft, die Methanbildung zu reduzieren. Nachfolgend sollen einige Konzepte und Präparate aufgeführt werden.

- Ätherische Öle (Terpene): Verringerung der Ammoniak- und Methanbildung (Gemisch aus Ölen und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen wie Thymol, Vanillin, Eugenol u.a.)
- Agolin® Ruminant (A. Belanche et al. 2020)
- 3-Nitrooxypropanol (3-NOP) Quellen: J. Dairy Sci, 2014-2021
- Bovaer® 10 (seit 19.11.2021 von der EFSA zur Zulassung empfohlen)
- Präparate aus Knoblauchpulver und Extrakten aus Citrusfrüchten (Vrancken et al. 2019)
- roten Alge Asparagopsis (Kinley et al. 2016)
- Saponine und Tannine (z. B. Actifor® Pro)
- Zitronengras (100 g getrocknetes Zitronengras senkte den Methangehalt in der Atemluft von Mastbullen um 15 % (G. Terler, MBLFA Raumburg-Gumpemnstein, in Milchpraxis, 2022 56 Jg., Heft 1, S.6.).

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass viele Untersuchungen in vitro Studien sind und bisher keine Langzeitstudien vorliegen. Die nachhaltige Beeinflussung des Mikrobioms des Pansens ist nicht ohne weiteres möglich, da die Pansenflora und -fauna über starke Regulationsmechanismen verfügen.

Züchterische Beeinflussung

Eine weitere Möglichkeit die Methanproduktion zu senken liegt möglicherweise in züchterischen Maßnahmen (Brade, W., Wimmers, K. Berichte über Landwirtschaft 2016, Bd. 16, Heft 1). In Tabelle 3 sind die Heritabilitäten für die Methanproduktion (g/Tag) abgebildet. Hintergrund für diese (wenn auch geringen) Erblichkeiten ist die Tatsache, dass es offenkundig Zusammenhänge zwischen der Zusammensetzung des Mikrobioms im Pansen und des

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Genoms des Wirtstieres (des Wiederkäuers) gibt. Ähnliche Zusammenhänge sind auch für die Zusammensetzung der Darmflora bekannt.

Tabelle 3: Heritabilitäten für die Methanproduktion (g/Tag)

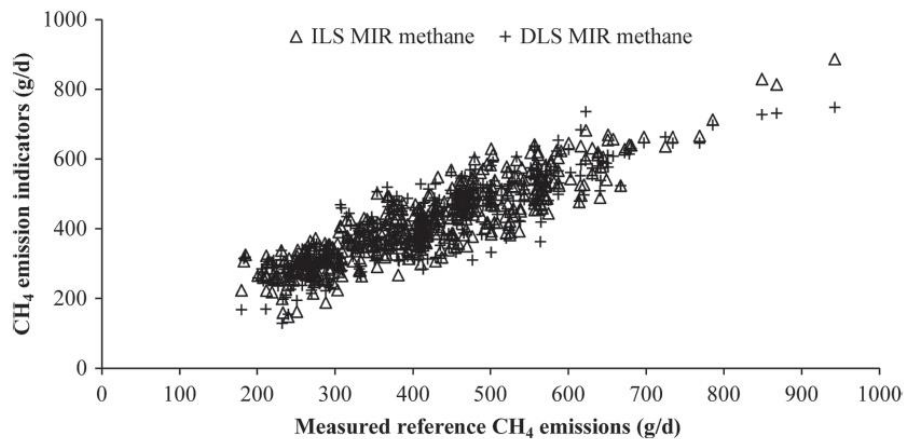
Merkmal	1. Laktation	2. Laktation	3. Laktation
h^2 (MIR-CH ₄ g/Tag)	0,12 +/- 0,005	0,10 +/- 0,005	0,09 +/- 0,007

Quelle: Kandel et al. 2013, Advances in Animal Biosciences 4:279

Messung der Methanbildung über die Milch

Zahlreiche Untersuchungen konnten zeigen, dass es möglich ist den Methanausstoß einzelner Tiere bzw. einer Herde über die Milch zu messen. Damit ist eine effektive Kontrolle gegeben.

Abb. 4: Messung der Methanbildung über Milchspektren (Vanlierde et al. 2015)



Aktuell werden zwei Ansätze verfolgt. Der eine Ansatz beschäftigt sich mit der Berechnung der Methanbildung auf Basis von Milchsäuren (z. B. Chillard et al. 2009). Ein weiterer Ansatz beschäftigt sich mit der Möglichkeit die Methanbildung auf Basis von Milch-MIR-Spektren vorherzusagen (siehe Abbildung 4).

Der Sächsische Landeskontrollverband nimmt aktuell an einer großen Studie zur Erfassung der Futtereffizienz und der Methanbildung auf Landwirtschaftsbetrieben teil (ReMissionDairy, BLE-Projekt, 313-06.01-28-1-B1.008-16). Im Rahmen dieser Studie konnte für sieben Betriebe folgende Methanbildungswerte (in g/Tag und g/kg Milch) ermittelt werden. Die Daten wurden nach der Methanbildung in g/Tag aufsteigend sortiert. Wie in der Tabelle 4 zu sehen ist, haben die Betriebe mit der geringsten Methanbildung je Kilogramm Milch auch die geringste Methanbildung pro Tag und tendenziell die höchsten Milchleistungen.

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Tab. 4: Messung der Methanbildung über die Milch (Richardt, 2021, unveröffentlicht)

Betrieb	Milchleistung	Methan g/d	Methan g/kg Milch
A	36,7	475	12,9
C	37,2	509	13,7
B	35,6	497	13,9
D	33,4	509	15,2
E	32,8	509	15,5
G	32,4	527	16,3
F	28,5	518	18,2

Entwicklung der Rinderbestände in Deutschland

Aufgrund der gestiegenen Leistung verringern sich in Deutschland seit mehreren Jahrzehnten die Rinderbestände kontinuierlich um etwa 2-3 % pro Jahr. Dies hat Auswirkung auf die jährliche Methanproduktion (Gg/a).

Tabelle 5: Rinderbestände und Methanproduktion in Deutschland

	1850	1910	1990	2018	2030
Rinder [in Mio.]	13,1	20,8	19,5	11,9	9,8
CH ₄ [kg/Tier u. a]	17,3	39,8	69,7	80,1	
CH ₄ [Gg/a]	226	827	1.357	957	

Quellen: Berichte über Landwirtschaft, Band 99, Heft 2, S. 7, <http://buel.bmel.de>

In Tab. 5 ist zu sehen, dass die Methanproduktion von 1990 bis 2018 von 69,7 auf 80,1 kg Methan/Tier und Jahr gestiegen ist. Hintergrund ist die gestiegene Futteraufnahme aufgrund höherer Lebendmassen und höherer Leistungen. Gleichzeitig ist aber die jährliche Gesamtmethanmenge ist von 1.357 Gg/a auf 957 Gg/a zurückgegangen. Dies hängt ursächlich mit dem Rückgang der Population zusammen.

Entwicklung der Rinderbestände in Sachsen

Der Bestand an Milchrindern im Freistaat Sachsen unterlag in den letzten 30 Jahren einer deutlichen Veränderung. Die Entwicklung war geprägt durch eine Halbierung des Milchrindbestandes von 1989 bis 1991 (458.624 vs. 220.429). Bis 1993 stieg der Bestand auf 249.023 Tieren wieder an. Seitdem geht der Bestand pro Jahr um ca. 3.000 Tiere zurück und

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

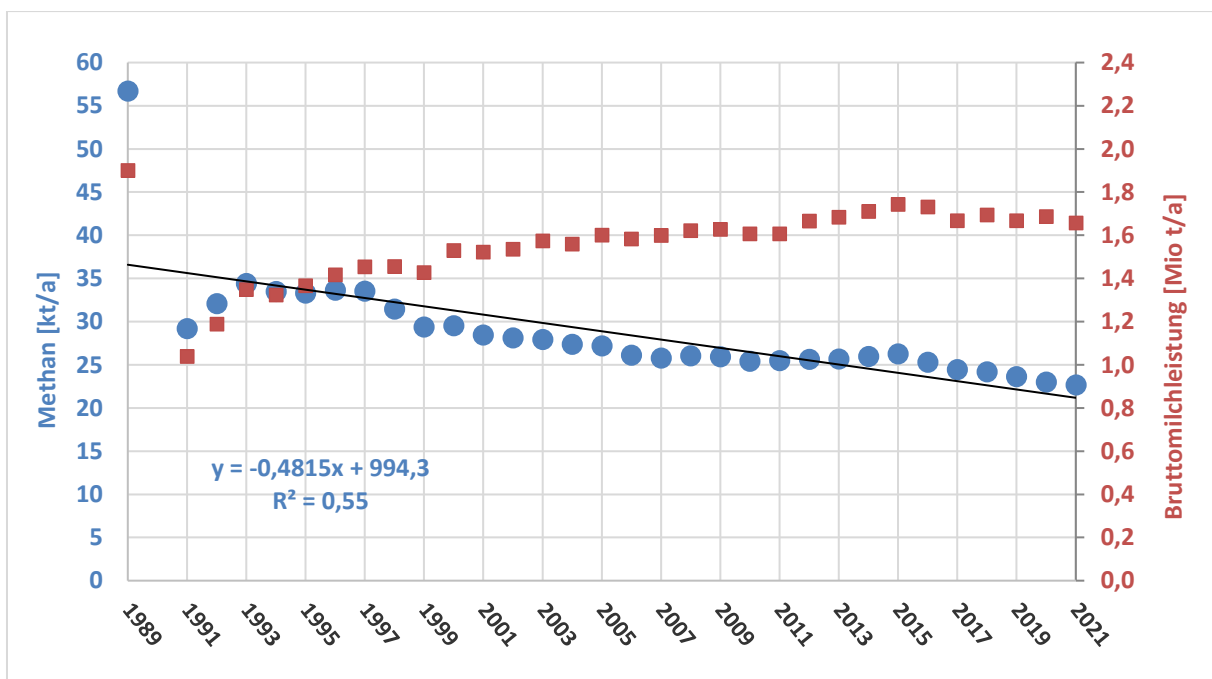
<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutzerklaerung/>

lag in 2021 bei 164.901 Tieren. Dies entspricht einem jährlichen Rückgang von 1,2% bezogen auf den Tierbestand von 1993. Die Ursache für den Rückgang des Milchrinderbestandes ist eine ständig steigende Leistung bei annähernd gleicher Bruttomilchleistung (1,4-1,8 Mio t/Jahr, siehe Abb. 5).

Die hier genannten Zahlen beziehen sich auf die unter Kontrolle stehenden Tiere (MLP bzw. GERO). Da aber >95% der Milchrinder in Sachsen unter Kontrolle stehen, lassen sich diese Aussagen auf die Population übertragen.

Die Entwicklung des Milchrinderbestandes hat auch Auswirkung auf die jährliche Methanproduktion (kt/Jahr) in Sachsen. Durch die Halbierung des Milchviehbestandes sank die Methanproduktion von 57 kt/Jahr auf 29 kt/Jahr. Durch den Anstieg des Milchviehbestandes stieg die Methanproduktion bis 1993 auf 34 kt/Jahr wieder an. **Seitdem ist eine kontinuierliche Abnahme der Methanproduktion von jährlich 481 t/Jahr (0,481 kt/a) zu verzeichnen (siehe Abb. 5).**

Abb. 5: Entwicklung der Bruttomilchleistung (Mio t/Jahr) und der Methanproduktion (kt/Jahr) im Freistaat Sachsen



- Berechnung der Methanproduktion für die Milchrinder in der Prüfung auf Gesundheit und Robustheit (GERO) im Freistaat Sachsen
- >95% des gesamten Milchrindbestandes im Freistaat Sachsen sind in der Prüfung auf Gesundheit und Robustheit (GERO)
- die Berechnung der Methanproduktion je kg Milch erfolgt nach Jentsch et al. (2009)
- die Berechnung der Methanproduktion [kt] pro Jahr im Freistaat Sachsen erfolgt in Abhängigkeit von der Milchleistung (inkl. 60 Tage Trockenstezeit) und dem Tierbestand

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Fazit

Die Methanausscheidung ist an die Erzeugung von Lebensmitteln mit Wiederkäuern objektiv gebunden. Von praktischer Bedeutung sind die indirekten Möglichkeiten zur Methanreduzierung, die sich vor allem in optimaler Milchleistung, hoher Lebenseffizienz, langer Nutzungsdauer und hoher Futtereffektivität zeigen. Einzelne Maßnahmen der Rationsgestaltung und des Einsatzes von Futterzusatzstoffen zur Verminderung der Methanemissionen können unter Einhaltung der physiologischen Grenzen erfolgreich angewendet werden. Auf Grund des kontinuierlichen Rückgangs des Milchrindbestandes (ca. 1,2%) sinkt auch die Methanproduktion um etwa 480 t/Jahr im Freistaat Sachsen. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für Deutschland.

Stand: Juni 2022