



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 101 | Ausgabe 2

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Die Methanemissionen von Nutztieren in Deutschland Ende des 19. Jahrhunderts und heute im Vergleich

Von Björn Kuhla und Gunther Viereck

1 Einleitung

Der Klimarat der Vereinten Nationen (engl.: Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) zeigt in seinem jüngsten Sachstandsbericht, dass die Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre und der Ozeane von 1850 bis 2020 um etwa 1,1 °C gestiegen ist (IPCC, 2021). Der Temperaturanstieg ist zweifellos auf anthropogene Aktivitäten im Zusammenhang mit der zunehmenden Industrialisierung und den damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen zurückzuführen. Nach den Kohlendioxidemissionen tragen die Methan-(CH₄)-Emissionen am zweitstärksten zur globalen Erwärmung bei, allerdings besitzt CH₄ über einen Zeitraum von 20 Jahren ein ca. 84-mal höheres Treibhausgaspotenzial als Kohlendioxid (CO₂). Die CH₄-Konzentration in der Atmosphäre hat seit 1800 dramatisch zugenommen, wobei die höchsten Wachstumsraten zwischen 1945 und 1990 zu verzeichnen waren (ETHERIDGE et al., 1998). Heutzutage sind etwa 42 % der globalen CH₄-Emissionen natürlichen Ursprungs, z. B. aus Feuchtgebieten, Ozeanen, Seen und Flüssen, während der größte Teil aus anthropogenen Quellen stammt, nämlich aus Aktivitäten im industriellen (29 %) und landwirtschaftlichen (29 %) Sektor (KNAPP et al., 2014). Zwei Drittel der landwirtschaftlichen CH₄-Emissionen werden durch enterische Fermentationsprozesse von Nutztieren freigesetzt, was 17 % der gesamten CH₄-Emissionen zu Beginn des 21. Jahrhunderts ausmacht (KNAPP et al., 2014). Die weltweiten CH₄-Emissionen aus der Viehhaltung sind mindestens seit Beginn der statistischen Erfassung durch die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) stetig gestiegen. Während 1961 die Menge an CH₄, die weltweit aus der enterischen Fermentation emittiert wurde, 65,3 Mio. t betrug, stieg sie bis zum Jahr 2019 um 54 % auf 100,8 Mio. t (FAO, 2022). Die Emissionsraten in den einzelnen Regionen der Welt zeigen jedoch ganz unterschiedliche Trends. Während die enterischen CH₄-Emissionen in Asien, Afrika und Südamerika seit Anfang der 1960er Jahre kontinuierlich zunehmen, sind sie in Ozeanien und Nordamerika seit Mitte der 1970er Jahre und in Europa seit Mitte der 1980er Jahre rückläufig. In Deutschland sind die enterischen CH₄-

Emissionen von 1.773 kt im Jahr 1985 auf 964 kt im Jahr 2019 zurückgegangen (FAO, 2022). Das nationale Inventar berichtet für Deutschland einen Rückgang der enterischen CH₄-Emissionen von 1.326 kt im Jahr 1990 auf 936 kt im Jahr 2021 (UBA, 2022). Dieser Rückgang erfolgte vor allem durch die Verringerung der Zahl der Nutztiere. So sank beispielsweise die Zahl der Schweine, Rinder und Schafe von 36,8, 21,5 und 3,8 Mio. im Jahr 1985 auf 26,1, 11,3 bzw. 1,5 Mio. im Jahr 2020 (FAO, 2022).

Deutschland verfolgt das Ziel, bis 2045 treibhausgasneutral zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen die Emissionen aus allen Sektoren bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 reduziert werden. Das bedeutet, dass die enterischen Emissionen aus der Tierhaltung bis 2030 auf 464 kt CH₄ pro Jahr reduziert werden müssen. Hier stellt sich die Frage, ob dieser Wert das Emissionsniveau des voragro-industriellen Zeitalters erreichen würde. Um diese Frage zu beantworten, werden Daten über die enterischen CH₄-Emissionen Deutschlands im 19. Jahrhundert benötigt. Da sich der Verlauf der staatlichen Grenzen Deutschlands im 19. von denen des 21. Jahrhunderts unterscheidet, muss zwischen historisch und gegenwärtig verantworteten Emissionen unterschieden werden. Ziel der vorliegenden Studie war es daher, Daten über den Viehbestand des 19. Jahrhunderts zusammenzutragen und auf dieser Grundlage die enterischen CH₄-Emissionen in den damaligen und heutigen Grenzen Deutschlands zu berechnen. Diese Zahlen könnten für eine verbesserte Inventarisierung von Methanemissionen in Entwicklungsländern dienen, als neue Zielmarke für die weitere Senkung der Methanemissionen aus der deutschen Nutztierhaltung fungieren oder Argumente für die Priorisierung der Emissionsreduktion jenseits des Tierhaltungssektors liefern.

2 Material und Methoden

Die ersten umfassenden Zählungen des Viehbestandes in Deutschland wurden ab 1873 und danach in mehrjährigen Abständen durchgeführt. Die Viehbestände in den Mitgliedsstaaten des Deutschen Kaiserreiches (ohne Kolonien) umfassen 4 Königreiche, 6 Großherzogtümer, 5 Herzogtümer, 7 Fürstentümer und 3 Freie und Hansestädte sowie Elsass-Lothringen. Die Bestandszahlen wurden am 10. Januar 1873, 13. Januar 1883 und am 1. Dezember 1892 vom KAISERLICHEN STATISTISCHEN AMT (1874, 1884 und 1894) erhoben. Die Tierzahlen lagen für 42 Gebiete des Deutschen Kaiserreiches vor. Um eine Vergleichbarkeit mit den Daten des 20. und 21. Jahrhunderts zu gewährleisten, wurden die Tierzahlen auch auf das heutige Territorium Deutschlands normiert. Dazu wurden die Angaben für Ostpreußen, Westpreußen, Posen und dem Reichsgebiet Elsass-Lothringen, die nach den Niederlagen Deutschlands abgeben werden mussten, ignoriert. Außerdem wurden die Tierzahlen der ehemaligen Provinzen Brandenburg (38 274 km²), Pommern (38 401 km²), Schlesien (40 335 km²) und Schleswig-Holstein (19 018 km²) mit 0,775, 0,603, 0,056 bzw. 0,825 multipliziert und damit der

Flächenanteil dieser Provinzen am heutigen Bundesgebiet berücksichtigt, der für Brandenburg 29 654 km², für Vorpommern 23 174 km², für die drei ehemaligen schlesischen Landkreise Hoyerswerda (869 km²), Rothenburg (1.125 km²) und Görlitz (272 km²) in der Summe = 2.266 km² und Schleswig-Holstein 15 682 km² beträgt.

Für Maultiere und Esel sowie für Ziegen lagen keine Daten zur Körpermasse oder zur Futtermittelaufnahme vor, so dass für diese Tierspezies die Standard-CH₄-Emissionsfaktoren (EF) vom IPCC (2006) verwendet wurden. Entsprechend des Tier-1-Ansatzes gilt für Maultiere und Esel EF = 10 kg CH₄/Jahr und für Ziegen EF = 5 kg CH₄/Jahr.

Für einige preußische Bezirke hat VON FINKENSTEIN (1960) Verhältnisse zwischen Zuchttieren und deren Nachkommen ausgewiesen, aus denen für das Jahr 1873 die Anzahl der Tiere >1 Jahr und <1 Jahr berechnet wurde. Aus derselben Publikation wurden Daten zu den Körpermassen (KM) von Kühen und Färsen (>2 Jahre), Ochsen und Bullen (>2 Jahre), Jungrindern, Kälbern, Muttersauen und deren Nachkommen sowie Pferden (>3 Jahre) und Fohlen (<3 Jahre) entnommen bzw. als Mittelwerte von aus den Jahren 1864 und 1882 für das Jahr 1873 berechnet (VON FINKENSTEIN, 1960). Aus den KG der Tiere preußischer Bezirke wurden Mittelwerte berechnet, um diese auf die übrigen Teilgebiete des Deutschen Kaiserreiches anzuwenden. Die Gesamtlebendmassen für Kälber <6 Wochen, Kälber zwischen 6 Wochen und 6 Monaten, Jungrinder zwischen 6 Monaten und 2 Jahren alt, Kühe und Färsen (>2 Jahre alt), Ochsen und Bullen (>2 Jahre alt) sowie Schweine (>1 Jahr alt) wurden vom KAISERLICHEN STATISTISCHEN AMT (1884 und 1894) bezogen.

Basierend auf den Körpermassen wurde unter Verwendung eines vereinfachten Tier-2-Ansatzes die enterischen CH₄-Emissionen entsprechend den Empfehlungen des IPCC (2006) geschätzt. Auf der Grundlage der KG wurde, wie vom IPCC (2006) empfohlen, die Trockenmasseaufnahme (DMI) von Rindern nach der vereinfachten Tier-2-Methode (Gleichung 10.18a, IPCC, 2006) berechnet:

$$DMI = KG^{0,75} \times (0,0119 \times NE^2 + 0,1938)/NE$$
, wobei ein mittlerer Nettoenergiegehalt (NE) der Ration von 6,8 MJ/kg Trockenmasse (TM) angenommen wurde. Dieser Wert wird für eine Ration mit moderater Futterqualität ausgewiesen (Tabelle 10.8 in IPCC, 2006), wobei die Rationszusammensetzung aus Grund- und Kraftfutter zur Vollrichtung mittelschwerer Arbeit genügt (HEINRICH, 1896).

Die Trockenmasseaufnahme von Jungrindern und Kälbern wurde nach der Gleichung 10.17 des IPCC (2006) wie folgt berechnet:

$$DMI \text{ (kg)} = KM^{0,75} \times (0,2444 \times NE - 0,0111 \times NE^2 - 0,472)/NE$$
,

wobei ein mittlerer NE-Gehalt der Ration von 5,5 MJ/kg TM, welcher einer moderaten Futterqualität entspricht (Tabelle 10.8 in IPCC, 2006), angenommen wurde.

Die Trockenmasseaufnahme von Milchkühen wurde nach Gleichung 10.18b des IPCC (2006) berechnet:

$$\text{DMI (kg)} = (5,4 \times \text{KM} / 500) / ((100 - \text{DE\%})/100),$$

wobei eine Verdaulichkeit (DE) von 60 % unterstellt wurde. Die Verdaulichkeit korrespondiert zu einem gewichteten Mittelwert unter der Annahme, dass Kühe während der Sommermonate Weidegang hatten und während der Wintermonate eine Ration aus Heu mittlerer Qualität, Rüben, Kartoffeln und etwas Konzentrat erhielten (Tabelle 10.2 in IPCC, 2006; HEINRICH, 1896; CONRADI, 1896; KLEMME, 2003).

Die tägliche Methanproduktion von Kälbern (>6 Wochen und <6 Monaten), Jungrindern, Ochsen und Bullen sowie Milchkühen wurde auf Basis der geschätzten Trockenmasseaufnahme und der Körpermasse nach JENTSCH ET AL. (2007) für Einzeltiere wie folgt berechnet:

$$\text{CH}_4 (\text{kJ} \times \text{kg TM}^{-1} \times \text{Tag}^{-1}) = 1802 - 21,1 \times \text{DMI/KM (g/kg)}.$$

Dabei wurde der Energiegehalt von CH₄ mit 39.57 kJ/L und die Dichte von CH₄ mit 0,700 kg/m³ (bei 1 bar und 7,5 °C, welches der durchschnittlichen Temperatur der letzten beiden Dekaden des 19. Jahrhunderts entspricht) berücksichtigt. Die Gleichung nach JENTSCH et al. (2007) beruht auf 337 unabhängigen Datensätzen, die im Rahmen experimenteller Untersuchungen an Rindern in der Mitte des 20. Jahrhunderts in Deutschland erarbeitet wurden. Der EF für Milchkühe, wie er von DÄMMGEN et al. (2012) vorgeschlagen wurde, konnte nicht verwendet werden, da dieser nur für Milchkühe mit einer Milchleistung von 4.700 bis 7.200 kg gültig ist.

Die Methanproduktion von Kälbern im Alter von weniger als 6 Wochen wurde für die Jahre 1883 und 1892 auf der Grundlage der von TÜMMLER et al. (2020) veröffentlichten Daten berechnet. In dieser Studie nahmen Kälber nahezu *ad libitum* Milch und täglich 0,05 kg Trockenmasse auf.

Da die vom IPCC (2006) vorgeschlagenen Standard-EF für Pferde, Schweine und Schafe nur für die gegebene Körpergröße zuverlässig sind, wurde die CH₄-Produktion pro Tier und Tag für Pferde, Schweine und Schafe nach den Gleichungen von FRANZ et al. (2010) berechnet:

$$\text{Für Pferde: CH}_4 (\text{L} \times \text{Tag}^{-1}) = 0,18 \times \text{KM}^{0,97},$$

$$\text{Für Schweine: CH}_4 (\text{L} \times \text{Tag}^{-1}) = 0,07 \times \text{KM}^{0,99},$$

$$\text{Für Schafe: CH}_4 (\text{L} \times \text{Tag}^{-1}) = 0,66 \times \text{KM}^{0,97}.$$

Die jährlichen CH₄-Emissionen wurden berechnet, indem die Anzahl der Tiere in jedem Reichsgebiet mit den täglichen tierindividuellen CH₄-Emissionen und mit 365 multipliziert wurde. Es wurde von einer normalen Verteilung der Tierzahlen über das Jahr und innerhalb der Gebiete ausgegangen. Die enterischen CH₄-Emissionen im Deutschen Kaiserreich bzw. im heutigen Territorium Deutschlands wurde aus der Summe der Emissionen der Teilregionen berechnet.

Die Zahl der Pferde, Kühe, Schweine und Ziegen nahm von 1873 bis 1893 sowohl im gesamten Deutschen Kaiserreich als auch auf dem heutigen Territorium Deutschlands kontinuierlich zu, während die Zahl der Maultiere, Esel, Ochsen, Bullen, Kälber und Schafe abnahm (Tabelle 1). Die Zahl der Kälber im Alter von <6 Wochen wurde für das Jahr 1873 noch nicht ausgewiesen.

Tabelle 1:
Art und Anzahl der Nutztiere im Deutschen Kaiserreich und angepasst an das aktuelle Territorium Deutschlands¹⁾

Tierkategorie	Tierzahlen im Deutschen Kaiserreich (Tausend)			Tierzahlen im heutigen Territorium Deutschlands (Tausend)		
	1873	1883	1892	1873	1883	1892
Pferde	2 940	3 523	3 836	2 063	2 170	2 373
>3 Jahre	2 491	2 926	3 291	1 836	1 834	2 089
Fohlen <3 Jahre	448	596	445	226	336	284
Maultiere und Esel	13,4	9,8	6,7	9,3	6,2	3,6
Schweine	6 501	9 206	12 174	5 219	6 593	9 025
>1 Jahr	453	2 072	2 804	363	1 496	2 078
<1 Jahr	6 049	7 134	9 370	4 856	5 098	6 947
Rinder	14 025	15 786	17 556	11 819	11 650	12 875
Ochsen und Bullen >2 Jahre	1 543	1 630	1 150	1 222	1 151	1 150
Kühe und Färsen >2 Jahre	7 902	9 087	9 946	6 689	6 733	7 343
Jungrinder <2 Jahre >6 Monate	3 079	3 266	4 180	2 777	2 361	3 005
Kälber <6 Monate >6 Wochen	1 502	1 144	1 328	1 132	873	961
Kälber <6 Wochen		659	537		532	416
Schafe	21 071	19 184	13 590	14 603	11 714	8 929
>1 Jahr	15 198	14 721	9 817	10 533	8 969	6 419
<1 Jahr	5 874	4 464	3 773	4 071	2 745	2 510
Ziegen	2 104	2 686	3 091	1 948	2 236	2 529

1) Tierzahlen für das Deutsche Kaiserreich aus: KAISERLICHES STATISTISCHES AMT (1874, 1884 und 1894). Die Normalisierung für das aktuelle Territorium Deutschlands erfolgte durch Ausschluss der Tierzahlen für die Ostgebiete (gehören heute zu Polen und Russland), Elsass-Lothringen sowie für Teile von Brandenburg, Pommern, Schlesien und Schleswig-Holstein.

Von 1873 bis 1892 stieg die Körpermasse der Pferde, Schweine, Rinder und Schafe an (Tabelle 2). Die schwersten Rinder standen in Berlin sowie in den preußischen Provinzen Schleswig-Holstein, Sachsen und Rheinland, im Königreich Bayern sowie in Anhalt und Braunschweig. Die schwersten Pferde besaß die preußische Provinz Sachsen. Andererseits waren die Körpermassen der Nutztiere in Posen, Ost- und Westpreußen vergleichsweise gering, wodurch die mittleren Körpermassen von Pferden, Schweinen und Rindern in den Grenzen des heutigen Territoriums Deutschlands größer waren als im

gesamten Deutschen Kaiserreich. Körpermassen für Maultiere, Esel und Ziegen konnten der Literatur nicht entnommen werden (Tabelle 2).

Tabelle 2:
Mittlere Körpermasse (kg) von Nutztieren im Deutschen Reich und angepasst an das aktuelle Territorium Deutschlands¹⁾

Tierkategorie	Mittlere Körpermasse im Deutschen Kaiserreich			Mittlere Körpermasse im heutigen Territorium Deutschlands		
	1873	1883	1892	1873	1883	1892
Pferde						
>3 Jahre	357	405	446	375	440	486
Fohlen <3 Jahre	171	175	187	185	190	201
Maultiere und Esel						
	–	–	–	–	–	–
Schweine						
>1 Jahr	103	120	123	113	122	125
<1 Jahr	61	71	76	65	71	76
Rinder						
Ochsen und Bullen >2 Jahre	411	476	512	433	474	516
Kühe und Färsen >2 Jahre	365	389	417	387	390	421
Jungrinder <2 Jahre >6 Monate	118	206	227	122	204	229
Kälber <6 Monate >6 Wochen	66	93	99	69	93	101
Kälber <6 Wochen	–	50	54	–	51	55
Schafe						
>1 Jahr	28	43	43	28	43	43
<1 Jahr	17	28	28	17	28	28
Ziegen						
	–	–	–	–	–	–

1) Körpermassen der Rinder und Schweine aus: KAISERLICHES STATISTISCHES AMT (1884 und 1894) sowie für Schweine, Pferde und Schafe preußischer Bezirke aus VON FINKENSTEIN (1960). Die Normalisierung für das aktuelle Territorium Deutschlands erfolgte durch Ausschluss der Körpermassen für die Ostgebiete (gehören heute zu Polen und Russland), Elsass-Lothringen sowie für Teile von Brandenburg, Pommern, Schlesien und Schleswig-Holstein.

Entsprechend der Körpermasseentwicklung stiegen von 1873 bis 1892 auch die Trockenmasseaufnahmen in allen Rinderkategorien an (Tabelle 3). In allen drei Jahren war die mittlere Trockenmasseaufnahme der Ochsen und Bullen gleich groß oder größer als die der Kühe. Aufgrund der geringeren mittleren Körpermasse aller Rinder im gesamten Deutschen Kaiserreich war, mit Ausnahme des Jahres 1883, auch deren Trockenmasseaufnahme geringer als die der Rinder in den Grenzen des heutigen Territoriums Deutschlands (Tabelle 3).

Tabelle 3:**Mittlere Trockenmasseaufnahme (kg) von Rindern¹⁾ im Deutschen Kaiserreich und angepasst an das aktuelle Territorium Deutschlands²⁾**

Tierkategorie	Mittlere Trockenmasseaufnahme im Deutschen Kaiserreich			Mittlere Trockenmasseaufnahme im heutigen Territorium Deutschlands		
	1873	1883	1892	1873	1883	1892
Rinder						
Ochsen und Bullen >2 Jahre	9,9	11,1	11,8	10,4	11,1	11,6
Kühe und Färsen >2 Jahre	10,0	10,5	11,3	10,4	10,5	11,1
Jungrinder <2 Jahre >6 Monate	3,5	5,3	5,7	3,6	5,3	5,6
Kälber <6 Monate >6 Wochen	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1
Kälber <6 Wochen	–	0,05	0,05	–	0,05	0,05

1) Trockenmasseaufnahme (DMI) berechnet nach IPCC (2006) für Ochsen und Bullen: $DMI = KM^{0,75} \times (0,0119 \times NE^2 + 0,1938)/NE$, $NE = 6,8 \text{ MJ/kg TM}$; für Jungrinder und Kälber: $DMI = KM^{0,75} \times (0,2444 \times NE - 0,0111 \times NE^2 - 0,472)/NE$, mit $NE = 5,5 \text{ MJ/kg TM}$; und für Milchkühe: $DMI = (5,4 \times KM / 500) / ((100 - DE)/100)$. $DE = \text{verdaulicher Energie} = 60 \%$; $KM = \text{Körpermasse}$; $NE = \text{Nettoenergie für Erhalt und Wachstum}$.

2) Körpermassen (KM) der Rinder und Schweine aus: KAISERLICHES STATISTISCHES AMT (1884 und 1894) sowie für Schweine, Pferde und Schafe preußischer Bezirke aus VON FINKENSTEIN (1960). Die Normalisierung für das aktuelle Territorium Deutschlands erfolgte durch Ausschluss der KM für die Ostgebiete (gehören heute zu Polen und Russland), Elsass-Lothringen sowie für Teile von Brandenburg, Pommern, Schlesien und Schleswig-Holstein.

Parallel zur Körpermasse und Trockenmasseaufnahme nahmen auch die EF für Pferde, Schweine, Rinder und Schafe innerhalb der zwei Dekaden des 19. Jahrhunderts zu (Tabelle 4). Eine ähnliche Zunahme kann sicherlich auch für Maultiere, Esel und Ziegen unterstellt werden; aufgrund nichtvorhandener Daten wurden jedoch konstante EF für diese Tierkategorien angenommen. Im Vergleich der Nutztierkategorien sind die EF im späten 19. Jahrhundert für Ochsen und Bullen am größten und nehmen in der Reihenfolge Kühe, Jungrinder, Kälber (>6 Wochen), Pferde (>3 Jahre), Maultiere und Esel, Fohlen, Ziegen, Schafe, Schweine und Kälber (<6 Wochen) ab. Es ist zu beachten, dass die in der vorliegenden Arbeit nach dem Tier-2-Modell berechneten EF für Rinder, Pferde, Schweine und Schafe kleiner sind, als die vom IPCC (2006) für Entwicklungsländer vorgegebene Standard-Tier-1-EF.

Tabelle 4:
Enterische CH₄-Emissionsfaktoren (kg CH₄ × Jahr⁻¹) für einzelne Nutztierkategorien im Deutschen Kaiserreich und angepasst an das aktuelle Territorium Deutschlands¹ in den Jahren 1873, 1883 und 1892

Tierkategorie	Enterischer CH ₄ -Emissionsfaktor im Deutschen Kaiserreich			Enterischer CH ₄ -Emissionsfaktor im heutigen Territorium Deutschlands		
	1873	1883	1892	1873	1883	1892
Pferde²⁾						
>3 Jahre	14,2	16,6	18,1	14,4	16,9	18,6
Fohlen <3 Jahre	7,1	7,3	7,7	7,2	7,5	7,9
Maultiere und Esel³⁾						
	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Schweine²⁾						
>1 Jahr	1,9	2,1	2,1	1,9	2,1	2,1
<1 Jahr	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,3
Rinder²⁾						
Ochsen und Bullen >2 Jahre	85,6	94,0	100,1	86,2	93,7	100,2
Kühe und Färsen >2 Jahre	81,6	83,5	89,6	82,4	83,8	89,8
Jungrinder <2 Jahre >6 Monate	27,0	43,1	46,8	27,2	42,6	46,9
Kälber <6 Monate >6 Wochen	16,2	21,5	22,7	16,4	21,5	22,9
Kälber <6 Wochen	–	0,6	0,6	–	0,6	0,6
Schafe²⁾						
>1 Jahr	4,5	6,5	6,5	4,5	6,5	6,5
<1 Jahr	3,1	4,3	4,3	3,1	4,3	4,3
Ziegen³⁾						
	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

1) Die Normalisierung für das aktuelle Territorium Deutschlands erfolgte durch Ausschluss der Tierzahlen in den Ostgebieten (gehören heute zu Polen und Russland), Elsass-Lothringen sowie für Teile von Brandenburg, Pommern, Schlesien und Schleswig-Holstein.

2) berechnet auf Grundlage des Körpergewichts nach vereinfachtem Tier 2-Modell: Pferde: CH₄ (L/Tag) = 0,18 × KW^{0,97}; Schweine: CH₄ (L/Tag) = 0,07 × KM^{0,99}; Schafe: CH₄ (L/Tag) = 0,66 × KM^{0,97} (Franz et al., 2010); Ochsen und Bullen, Milchkühe, Jungrinder und Kälber: CH₄ (kJ × kg DMI⁻¹ × Tag⁻¹) = 1802 – 21,1 × DMI/KM (g/kg) (JENTSCH et al., 2007)

3) Tier-1-Standardemissionsfaktoren nach IPCC (2006)

Nach Multiplikation der Tierzahlen mit den EF, produzieren Kühe und Färsen gefolgt von Ochsen und Bullen, Jungrindern, erwachsenen Schafen, Pferden und Ziegen die größten enterischen CH₄-Emissionen (Tabelle 5). Kälber (<6 Wochen), Maultiere und Esel leisteten nur sehr geringe Beiträge zu den Gesamtemissionen der Nutztierhaltung. Letztere stiegen im gesamten Deutschen Kaiserreich von 1.148 kt CH₄ im Jahr 1873 auf 1.440 im Jahr 1892 an. In den territorialen Grenzen des heutigen Deutschlands nahmen im gleichen Zeitraum die enterischen CH₄-Emissionen von 860 auf 1.060 kt pro Jahr zu. Die Zunahme entspricht einem Anstieg von ca. 23 % innerhalb von 19 Jahren.

Tabelle 5:
Enterische CH₄-Emissionen (kt × Jahr⁻¹) nach Nutztierkategorien im Deutschen Kaiserreich und angepasst an das aktuelle Territorium Deutschlands¹⁾ für die Jahre 1873, 1883 und 1892

Tierkategorie	Enterisches CH ₄ im Deutschen Kaiserreich			Enterisches CH ₄ im heutigen Territorium Deutschlands		
	1873	1883	1892	1873	1883	1892
Pferde						
>3 Jahre	40,1	49,5	61,1	26,6	31,0	39,2
Fohlen <3 Jahre	3,0	4,5	4,3	1,6	2,5	2,3
Maultiere und Esel	0,13	0,10	0,07	0,09	0,06	0,04
Schweine						
>1 Jahr	1,0	4,1	5,7	0,7	3,0	4,4
<1 Jahr	7,1	8,7	12,2	5,4	6,2	8,9
Rinder						
Ochsen und Bullen >2 Jahre	143,4	150,6	152,5	106,8	104,6	112,6
Kühe und Färsen >2 Jahre	721,6	740,9	889,5	554,0	550,2	667,6
Jungrinder <2 Jahre	98,6	142,4	189,7	75,7	99,8	138,7
Kälber >6 Wochen <6 Monate	23,7	24,8	29,5	18,7	18,9	22,1
Kälber <6 Wochen	–	0,7	0,3	–	0,5	0,2
Schafe						
>1 Jahr	78,5	95,7	63,6	45,6	58,3	41,8
<1 Jahr	19,1	19,2	16,1	11,0	11,8	10,8
Ziegen	11,6	13,4	15,5	9,7	11,2	12,7
Gesamt	1 148	1 255	1 440	860	898	1 060

1) Die Normalisierung für das aktuelle Territorium Deutschlands erfolgte durch Ausschluss der Tierzahlen in den Ostgebieten (gehören heute zu Polen und Russland), Elsass-Lothringen sowie für Teile von Brandenburg, Pommern, Schlesien und Schleswig-Holstein.

Im Jahr 1873 betrug die enterische CH₄-Emissionsrate 860 kt und war damit nur geringfügig größer als die von Deutschland für 2030 angestrebte Emissionsrate von 853 kt CH₄. Seit 2003 liegen die jährlichen CH₄-Emissionsraten aber bereits unterhalb des Emissionsniveaus von 1892 (Abb. 1).

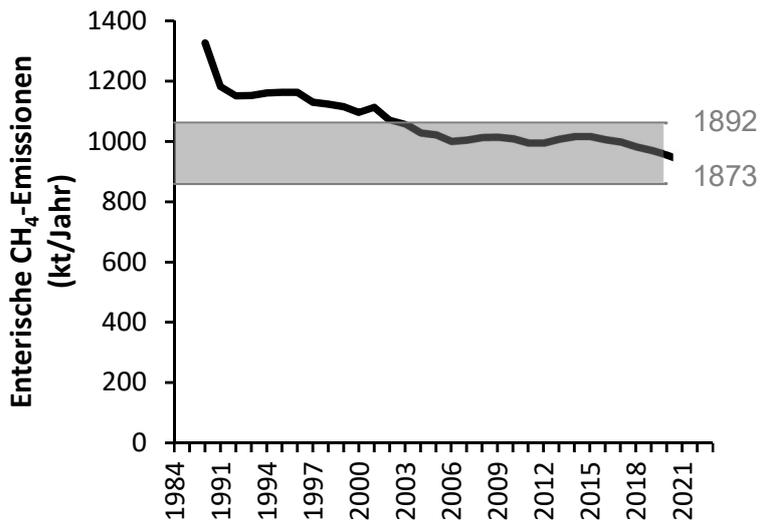


Abbildung 1: Enterische CH₄-Emissionsraten in Deutschland von 1990 bis 2021 (UBA, 2022). Der horizontale graue Balken zeigt das Emissionsniveau zwischen 1873 und 1892.

4 Diskussion

Die Schätzung der enterischen CH₄-Emissionen im 19. Jahrhundert hätte für alle Nutztierkategorien unter Verwendung der vom IPCC (2006) angegebenen Standard-EF für Entwicklungsländer vorgenommen werden können. Allerdings wären die Schätzungen dann mit einigen Unsicherheiten behaftet. Beispielsweise gilt der vom IPCC (2006) angegebene EF für Pferde nur für eine Körpermasse von ca. 550 kg. Die mittlere Körpermasse erwachsener Pferde (>3 Jahre alt) in den letzten drei Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts betrug aber nur zwischen 357 und 486 kg. Daher ist der Standard-EF des IPCC (2006) von 18 kg/Jahr offensichtlich etwas zu hoch, um sinnvoll zur Schätzung historischer CH₄-Emissionen von Pferden verwendet werden zu können. Andererseits wurden Pferde intensiv als Zugtiere genutzt, was darauf schließen lässt, dass sie mehr Futter pro kg Körpermasse verbrauchten als im späten 20. und frühen 21. Jahrhundert. Die Verwendung der mittleren EF von 14,2 bzw. 14,4 kg CH₄ für das Jahr 1873, 16,6 bzw. 16,9 kg CH₄ für das Jahr 1883 und 18,1 bzw. 18,6 kg CH₄ für das Jahr 1892 scheinen daher gerechtfertigt. Zwar beträgt Anteil der enterischen CH₄-Emissionen der Pferde an den Gesamtemissionen aller Nutztiere nur ca. 3 bis 4 %, jedoch wurde eine große Anzahl an Pferden im Militär, im Verkehrswesen und in der Industrie eingesetzt, so dass deren Emissionen eigentlich nicht dem Landwirtschaftssektor zugerechnet werden dürften.

Der IPCC-Standard-EF für Schafe (5 kg CH₄/Jahr) bezieht sich auf Tiere mit einer mittleren Körpermasse von 45 kg (IPCC, 2006). Die Körpermasse von Schafen, die älter als 1 Jahr waren, betrug im 19. Jahrhundert aber nur 28 bis 43 kg, was wiederum darauf hindeutet, dass die CH₄-Emissionen bei Verwendung eines Standard-EF des IPCC überbewertet würden. Berücksichtigt man jedoch die

durchgeführten Fütterungsversuche (KLEMMER, 2003) und Fütterungsempfehlungen für Schafe am Ende des 19. Jahrhunderts (HEINRICH, 1896), in denen nicht nur Weidegras und Heu, sondern auch Kraftfutter, insbesondere für laktierende Tiere, empfohlen wird, ist ein EF von 4,3 für ein 28 kg-Schaf bzw. von 6,5 kg/Jahr für ein 43 kg-Schaf durchaus begründet. Dieser EF könnte die tatsächlichen CH₄-Emissionen sogar noch unterschätzen, da PELCHEN und PETERS (1989) für ein wachsendes 40 kg schweres Schaf enterische Emissionen von 20,6 g CH₄/d oder 7,5 kg CH₄/Jahr angaben. Diese beiden Faktoren (6,5 bzw. 7,5 kg/Jahr) sind niedriger als der Standard-EF für Schafe mit einer Körpermasse von 65 kg in Industrieländern (EF = 8 kg CH₄/Jahr) (IPCC, 2006), was zeigt, dass die mit dem Tier-2-Modell berechneten Daten sinnhaft erscheinen.

Der IPCC (2006) schlägt einen Standard-EF für Schweine von 1 kg CH₄/Jahr für Entwicklungsländer und 1,5 kg CH₄/Jahr für Industrieländer vor. Im aktuellen deutschen Emissionsinventar wird ein EF von 1,15 kg/Jahr für Schweine verwendet (HAENEL et al., 2018). Allerdings ist die Körpermasseszunahme von Mastschweinen im 20. und 21. Jahrhundert stetig gestiegen (HAENEL et al., 2018), obwohl die tägliche Futtermenge von Mastschweinen zwischen dem späten 19. und frühen 21. Jahrhundert vergleichbar ist (CONRADI, 1896; HEINZE, 2011). Folglich ist die Futtermenge, die im Zeitraum zwischen Geburt und Schlachtung benötigt wird, viel geringer als im 19. Jahrhundert. Entsprechend sollten die heutige jährliche CH₄-Emission eines Schweins geringer sein als im 19. Jahrhundert. Zudem erhielten Schweine im 19. im Vergleich zum 21. Jahrhundert einen höheren Anteil an Grobfutter und damit Rohfaser, und Sauen wurden in der späten Trächtigkeit nicht restriktiv gefüttert (HEINRICH, 1896; CONRADI, 1896). Diese beiden Faktoren erhöhen die jährlichen CH₄-Emissionsraten von Schweinen. Ferner hat sich die Schlachtkörpergröße von 1900 bis 2021 nicht verändert (STATISTA, 2021), so dass der EF für Schweine im 19. Jahrhundert größer gewesen sein muss als heute. Daher scheinen die auf Grundlage des vereinfachten Tier-2-Ansatzes berechneten EF (1,1 bis 2,1 kg CH₄/Jahr) angemessen zu sein. Folglich würde die Verwendung eines IPCC (2006) Standard-EFs im Vergleich zum verwendeten Tier-2-Modell die jährlichen CH₄-Emissionen von Schweinen unterschätzen.

Die enterischen CH₄-Emissionen von Maultieren, Eseln und Ziegen konnten nur unter Verwendung der Standard-EF (IPCC, 2006) geschätzt werden, da keine historischen Daten über die Körpermassen der erwachsenen Tiere bzw. ihrer Nachkommen vorlagen. Solche Daten sind auch heute kaum vorhanden, so dass das nationale Emissionsinventar in Deutschland einen konstanten EF von 5 kg/Jahr für Ziegen verwendet und die Emissionen von Maultieren und Eseln in der Kategorie „Pferde“ zusammenfasst werden (HAENEL et al., 2018). Obwohl damit die CH₄-Emissionen von Maultieren und Eseln sicherlich überschätzt wurden, so tragen sie doch kaum zu den Gesamt-CH₄-Emissionen der Nutztierhaltung bei.

Im Gegensatz dazu trug die Kategorie „Rinder“ in den letzten drei Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts mit 86 bis 89 % zu den gesamten enterischen CH₄-Emissionen bei. Dieser große Beitrag macht zugleich die größte Unsicherheit bei der Schätzung der Gesamt-CH₄-Emissionen aus, so dass weitere Daten die Schätzung der CH₄-Emissionen aus dem Rinderbereich bestätigen und absichern sollten. Während die Anzahl der Tiere und die Körpermasse für jede Unterkategorie „Rinder“ in hoher regionaler Auflösung vorlagen, waren Daten zur tatsächlichen Trockenmasseaufnahme nicht verfügbar und mussten anhand der Körpermasse geschätzt werden. Ochsen und Bullen nahmen 10,4 kg TM/Tag bei einem KG von 433 kg, 11,1 kg TM/Tag bei einem KG von 474 kg und 11,6 kg TM/Tag bei einem KG von 516 kg auf. Diese Daten sind nicht vergleichbar mit der Trockenmasseaufnahme moderner 500 kg schwerer Fleckviehbullen, die nur 8,7 bis 9,5 kg TM/d aufnehmen und dabei einen durchschnittlichen Tageszuwachs von 1.200 g erreichen (GRUBER, 2014). Man könnte annehmen, dass, ähnlich wie für Schweine diskutiert, die tägliche Lebendmassezunahme von männlichen Rindern im 19. Jahrhundert unter 1,2 kg/Tag lag und somit auch die Trockenmasseaufnahme niedriger war. Allerdings wurden im 19. Jahrhundert Ochsen und Bullen intensiv als Zugtiere genutzt. Bei mittelschwer arbeitenden Tieren betrug die Aufnahme der organischen Masse (OM) 24 kg, bei schwer arbeitenden Tieren 26 kg OM und bei Tieren, die in Anbindeställen gehalten wurden, 17,5 kg OM pro 1.000 kg Körpermasse (CONRADI, 1896). Der Durchschnitt dieser Werte liegt bei 11,2 kg OM-Aufnahme/500 kg Körpermasse. Wenn man bedenkt, dass die OM keine Mineralstoffe enthält, aber ca. 10 % der Trockenmasseaufnahme ausmacht, so müssten 500 kg-Ochsen bzw. Bullen im späten 19. Jahrhundert 12,3 kg TM/d aufgenommen haben. Es scheint daher, dass die Trockenmasseaufnahme von Ochsen und Bullen in der vorliegenden Studie nicht überschätzt wurde. Diese Schlussfolgerung wird auch durch den Bericht des IPCC (2006) gestützt, wonach sich die durchschnittlichen enterischen CH₄-Emissionen von „anderen Rindern“, z. B. Bullen, heranwachsenden Ochsen, Färsen und Kälbern, in den osteuropäischen Ländern auf 58 kg CH₄/Jahr und in den westeuropäischen Ländern auf 57 kg CH₄/Jahr belaufen, und dass die Emissionen von männlichen Rindern (>2 Jahre) viel größer sind als die von Jungrindern und Kälbern. Die durchschnittliche tägliche OM-Aufnahme von 2 bis 3 Monate alten Kälbern mit einer Körpermasse von 75 kg wurde mit 1,65 kg/d angegeben, für 3 bis 6 Monate alte Kälber (150 kg) mit 3,5 kg/d und für 6 bis 12 Monate alte Jungrinder (250 kg) mit 6 kg/d (CONRADI, 1896). Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die OM-Aufnahme keine Mineralstoffaufnahme beinhaltet, stimmen diese Daten sehr gut mit der Trockenmasseaufnahme überein, die auf Grundlage eines angenommenen durchschnittlichen Nettoenergiegehalts von 5,5 MJ/kg TM berechnet wurde. Betrachtet man die CH₄-Emissionen von Ochsen und Bullen, so scheint es, dass der Fehler der geschätzten CH₄-Emissionen für das 19. Jahrhundert mit zunehmender Körpergröße der Rinder

zunimmt. Fasst man die drei Subkategorien „Ochsen und Bullen“, „Jungrinder“ und „Kälber (>6 Wochen <6 Monate)“ zusammen, so beträgt deren durchschnittlicher EF 43 kg CH₄ im Jahr 1873, 53 kg CH₄ im Jahr 1883 und 57 kg CH₄ im Jahr 1882. Insbesondere die Zahlen für die Jahre 1883 und 1892 sind so mit dem Standard-CH₄-Ausstoß für die Kategorie „andere Rinder“ in Ost- und Westeuropa (57 bis 58 kg CH₄/Jahr) vergleichbar (IPCC, 2006).

Die CH₄-Emissionen von Milchkühen tragen am meisten zu den Gesamtemissionen bei, und kleine Schätzfehler haben enorme Auswirkungen auf die Gesamtemissionen. Der Standard-EF für Milchkühe in Osteuropa beträgt 99 kg/Jahr, während eine durchschnittliche jährliche Milchleistung von 2.550 kg angenommen wird (IPCC, 2006). Die durchschnittliche Milchleistung von Milchkühen in den preußischen Bezirken Brandenburg, Sachsen, Westfalen und Rheinland betrug 1864 nur ca. 1.300 kg, 1883 nur 1.825 kg und 1892 nur 2.125 kg (VON FINKENSTEIN, 1960). Die Milchleistung in Bayern wurde in den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts auf 2.400 l/Jahr geschätzt (HELLING, 1965). Obwohl detaillierte Daten zur Milchleistung aus anderen deutschen Gebieten erst ab 1928 verfügbar sind (HELLING, 1965), legen diese Zahlen nahe, dass die Anwendung des IPCC (2006) Standard-EF von 99 kg CH₄/Jahr die tatsächlichen Emissionen deutlich überschätzen würde. Somit erscheinen die in vorliegender Studie ermittelten EF für Milchkühe mit 82 kg CH₄ im Jahr 1873, 84 kg CH₄ im Jahr 1883 und 90 kg CH₄ im Jahr 1892 als sinnhaft.

Bei einer Milchleistung von ca. 2.000 kg/Jahr sind die Körpermasse und die OM-Verdaulichkeit die wichtigsten Faktoren, die die Trockenmasseaufnahme bestimmen. In der vorliegenden Studie haben wir eine durchschnittliche OM-Verdaulichkeit von 60 % angenommen. Diese begründet sich auf die im 19. Jahrhundert eingesetzten Futtermittel (KLEMME, 2003) sowie den entsprechenden Verdaulichkeiten von 46 und 75 % (CONRADI, 1896, HEINRICH, 1896). Weiterhin wurde berichtet, dass Milchkühe im späten 19. Jahrhundert 9,6 kg OM/400 kg Körpermasse aufnehmen, jedoch blieb unklar, auf welchem Produktionsniveau diese Aufnahme erreicht wurde (CONRADI, 1896). Geht man von einem Mineralstoffgehalt von 10 % der Trockenmasse aus, so entspricht die Aufnahme von 9,6 kg OM einer Aufnahme von 10,5 kg Trockenmasse. Letzterer Wert stimmt sehr gut mit den nach IPCC (2006) berechneten Trockenmasseaufnahmen für Milchkühen der Jahre 1883 und 1892 überein. Darüber hinaus ergibt die Extrapolation einer Trockenmasseaufnahme von 14,5 kg für eine 500 kg schwere Milchkuh, die 4.000 kg Milch/Jahr produziert (GRUBER et al., 2001), auf eine 400 kg schwere Milchkuh, die 2.000 kg Milch/Jahr produziert, eine Trockenmasseaufnahme von 10,5 kg. Diese Extrapolationen und Vergleiche stützen die Sinnhaftigkeit der berechneten EF für Kühe. Ferner wurde von PIATKOWSKI et al. (2010) bestätigt, dass die in vorliegender Studie verwendete CH₄-Schätzgleichung nach JENTSCH et al. (2007), die enterischen CH₄-Emissionen von deutschen Rindern

für das Jahr 2006 sehr gut vorhersagen, da die ermittelten 1.036 kt CH₄ sehr gut mit dem FAO-Wert von 1.042 kt CH₄ (FAO, 2022) übereinstimmen.

Die enterischen CH₄-Emissionen des deutschen Viehbestands wurden für das Jahr 1890 mit mehr als 1.500 kt angegeben (MUYLEAERT DE ARAUJO et al., 2007). Diese Zahl ist zwar mit der Emission des gesamten Deutschen Kaiserreiches von 1.440 kt CH₄ im Jahr 1892 vergleichbar, sie zeigt aber auch, dass MUYLEAERT DE ARAUJO et al. (2007) die Emissionen nicht für die derzeitigen deutschen Gebietsgrenzen korrigiert haben. Ein Vergleich historischer Emissionen des Deutschen Kaiserreiches und heutiger Emissionsniveaus, wie er von den Autoren angestellt wurde, ist aber nur zulässig, wenn die politische Verantwortlichkeit Deutschlands abgeleitet werden soll. Eine territoriale Verantwortlichkeit Deutschlands wird mit einem seit 1890 ausgewiesenen Anteil von 2,9 % der atmosphärischen CH₄-Gesamtbelastung (MUYLEAERT DE ARAUJO et al., 2007) jedoch überschätzt. Tatsächlich emittierten die Nutztiere auf der Fläche der heutigen territorialen Grenzen Deutschlands Ende des 19. Jahrhunderts 288 bis 380 kt CH₄ pro Jahr weniger als die im gesamten Deutschen Kaiserreich. Das in der vorliegenden Studie berechnete Emissionsniveau unterstützt vielmehr das Extrapolationsmodell von GÜTSCHOW et al. (2016), nach dem die CH₄-Emissionen des gesamten Agrarsektors in Deutschland im Jahr 1873 890 kt CH₄, im Jahr 1883 980 kt CH₄ und im Jahr 1892 1.070 kt CH₄ betragen. Diese Ergebnisse entsprechen auch denen einer früheren Arbeit von KUHLA und VIREECK (2022).

Nach 1873 hat der Viehbestand in Deutschland bis Mitte der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts (mit Ausnahme der Zeiten der beiden Weltkriege) stetig zugenommen. Danach nahmen die Viehbestände drastisch ab. Im Jahr 1990 betrug die enterische CH₄-Emissionsrate 1.313 kt und im Jahre 2002 1.042 kt (UBA, 2022). Das heißt, dass seit 2002 die enterischen CH₄-Emissionsraten unterhalb des Niveaus von 1892 liegen. Eine für 2030 angestrebte Emissionsrate von 464 kt CH₄ pro Jahr läge jedoch noch unter dem Emissionsniveau von 1883 oder 1873. In zukünftigen Studien sollte daher untersucht werden, wann im 19. oder 18. Jahrhundert die enterische CH₄-Emissionsrate gleich oder niedriger war als die Zielmarke i. H. v. 464 kt und ob diese vor 1800, dem Beginn des Anstiegs der CH₄-Konzentration der Atmosphäre liegt (ETHERIDGE et al. 1998).

Das derzeitige enterische CH₄-Emissionsniveau in Deutschland könnte weiter gesenkt werden, insbesondere vor dem Hintergrund einer mehrere Millionen Tonnen umfassenden Lebensmittelverschwendung und eines Selbstversorgungsgrads bei Milch-, Schweinefleisch- und Käse i. H. v. 112 %, 120 % bzw. 121 % (STATISTA, 2021). Eine Reduktion der Schweinebestände um 20 % würde die nationale Ernährungssicherung und die derzeitigen Ernährungsgewohnheiten von Schweinefleisch nicht kompromittieren, die Konkurrenz zwischen Futter- und Nahrungsmittelanbau entschärfen, den Sojaimport verringern und 5 kt enterisch gebildetes CH₄ pro Jahr einsparen. Eine

Reduktion der Kuhbestände um 12 % würde die Versorgung der deutschen Bevölkerung mit Milch ebenfalls nicht gefährden, gleichzeitig aber die jährlichen CH₄-Emissionen um 66 kt senken. Allerdings würde sich der derzeitige Selbstversorgungsgrad mit Rindfleisch i. H. v. 97 % sowie die Wirtschaftsdüngerproduktion deutlich verringern. Anhand von Simulationsmodellen wurde vorgeschlagen, den Rindfleischkonsum und die Rindfleischproduktion zu reduzieren, um die enterischen CH₄-Emissionen und die Zunahme Erderwärmung zu verringern (POPP et al., 2010; SHAFIULLAH et al., 2021). Allerdings berücksichtigen nicht alle dieser Modelle, dass es zu einer Erhöhung der Mineraldüngerproduktion kommen würde, in deren Folge die Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger sowie der Landnutzung und Landnutzungsänderung (engl. *land use, land-use change, and forestry; LULUCF*) steigen würden (BELLARBY et al., 2013). Jedoch könnte in der vermehrten Verwendung von Doppelnutzungsrasen oder der Reduzierung der Anzahl der Milchkühe mit einer Leistung von weniger als 6.000 L/Jahr (GERBER et al., 2011; FRANK et al., 2019) bzw. der Anzahl von Tieren in der Mutterkuhhaltung, einhergehend mit dem ersatzweisen Konsum von Milchprodukten sowie der verstärkten Nutzung von Grasland zur Milchproduktion eine Strategie liegen, die Kohlenstoffsenkenfunktion der LULUCF auszubauen und historische Emissionsniveaus zu erreichen, ohne dabei das Niveau der Ernährung mit tierischen Produkten oder die Wirtschaftsdüngerbereitstellung in Frage zu stellen (BELLARBY et al., 2013).

Eine weitere Strategie zur Reduktion der Emissionen aus der Rinderhaltung betrifft die Minderung von Futtermittelimporten, insbesondere Soja. Trotz sinkender Tierzahlen nahm im Zeitraum von 2016 bis 2020 die Menge an importierten Soja von 3,1 auf über 3,8 Mio Tonnen zu (STATISTA, 2021). ESCOBAR et al. (2020) ermittelten, dass Sojaimporte aus Brasilien nach Deutschland jährlich 10 Mt CO₂-Äquivalente bedingen, wohingegen einheimisches Soja um einen bis zu 41 % geringeren CO₂-Abdruck hinterlässt (SCHLATZER und LINDENTHAL, 2019).

Aber auch einheimische, auf Ackerböden angebaute Futtermittel besitzen im Vergleich zu Futter vom Grünland einen höheren CO₂-Fußabdruck. So werden von Ackerböden durchschnittlich 37 t, von Grünland aber nur 29 t CO₂-Äquivalente pro ha und Jahr emittiert. Von feuchtem Grünland (Paludikultur) werden sogar nur 5 bis 8 t CO₂-Äquivalente pro ha und Jahr freigesetzt (ABEL et al. 2019). Gleichzeitig wird auf Grünland mehr Kohlenstoff in Form von Humus fixiert als auf Ackerböden. Dennoch hat sich der Anteil von Ackerland an der Fläche landwirtschaftlich genutzter Böden seit 1750 stetig vergrößert und der Anteil von Grünland seit 1970 kontinuierlich verringert (JACOBS et al., 2018). Dies hat zur Folge, dass die Sequestrierung von CO₂-Äquivalenten durch LULUCF beispielsweise zwischen 1991 und 2020 um 33 % abgenommen hat (UBA, 2022). Die landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland macht mit ca. 16,6 Millionen Hektar derzeit einen Anteil von 50,6 % der Staatsfläche aus (STATISTA, 2021). Ca. 60 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen

werden zum Anbau von Futtermitteln genutzt. Daher kommen Maßnahmen im Rahmen des Futtermittelbaus, die zur Verringerung von Emissionen aus sowie der Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlich genutzten Böden führen, eine besondere Bedeutung zu.

Der Anteil der enterischen CH₄-Emissionen beträgt nur 3 % der Gesamttreibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) in Deutschland (UBA, 2022). Im Vergleich dazu werden die Emissionen aus der Energiewirtschaft, der Industrie und dem Verkehr 6- bis 10-mal größer geschätzt (UBA, 2022). Aufgrund neuester Messverfahren sind letztgenannte Emissionen, vor allem aus der Förderung und dem Transport von Erdgas wahrscheinlich sogar deutlich unterschätzt (RUSSO und CARPENTER, 2019; WOLLIN et al., 2020; RUTHERFORD, 2021). Nicht zuletzt aus diesem Grund sollte der Schwerpunkt aller Anstrengungen zur Minderung von Treibhausgasemissionen auf die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Verkehr gelegt werden, da deren Emissionsraten weit über dem Niveau des späten 19. Jahrhunderts liegen und deren Beitrag zur Erderwärmung um ein vielfaches höher liegt als der der enterischen Methanemissionen. Nur so kann das in Paris im Jahr 2015 beschlossene „Unter 2 °C-Ziel“ noch erreicht werden.

5 Schlussfolgerung

Deutschlands Emissionsminderungsziele sehen von 2021 bis 2030 eine weitere Minderung der CH₄-Emissionen um 9 % vor. Mit der dann anvisierten Emissionsrate von 464 kt CH₄ pro Jahr würde ein Niveau erreicht, das kleiner ist als das von 1873. Seit 2003 emittiert Deutschland allerdings weniger enterisches CH₄ als im Jahr 1892. Daher sollte bei allen Bemühungen die CH₄-Emissionen aus der Landwirtschaft weiter zu reduzieren nicht übersehen werden, wie wichtig es ist, die Kohlenstoffsinken auszubauen und die CO₂-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und anderen Sektoren zu verringern, damit das „Unter 2 °C-Ziel“ noch erreicht werden kann.

Zusammenfassung

Die Methanemissionen von Nutztieren in Deutschland Ende des 19. Jahrhunderts und heute im Vergleich

In seinem Klimaschutzgesetz verfolgt Deutschland das Ziel, bis 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen die Emissionen aus allen Sektoren bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 reduziert werden, was auch die Minderung der enterischen Methan-(CH₄)-Emissionen aus der Nutztierhaltung einschließt. Laut dem deutschen Inventar wurden 1990 1.313 kt CH₄ aus der Tierhaltung emittiert, entsprechend müsste die Emissionsrate bis 2030 auf 464 kt CH₄ gesenkt werden. Ob die für 2030 angestrebte Emissionsrate jedoch das Niveau des vorindustriellen

Zeitalters erreicht, bleibt zu überprüfen. Ziel der vorliegenden Studie war es, die enterischen CH₄-Emissionsraten für Deutschland im 19. Jahrhundert zu ermitteln. Umfangreiche Daten zum Tierbestand im Deutschen Kaiserreich konnten für die Jahre 1873, 1883 und 1892 recherchiert und auf das heutige Territorium Deutschlands normiert werden. Die enterischen CH₄-Emissionen innerhalb des Deutschen Kaiserreiches stiegen von 1.148 auf 1.255 und weiter auf 1.440 kt in den Jahren 1873, 1883 bzw. 1892. Für die heutigen Gebietsgrenzen Deutschlands beliefen sich die enterischen CH₄-Emissionen auf 860, 898 und 1.060 kt für die Jahre 1873, 1883 bzw. 1892. Diese Daten zeigen, dass das Emissionsziel für 2030 unterhalb des Emissionsniveaus von 1873 liegt. Andererseits wird aus der Nutztierhaltung in Deutschland seit 2003 weniger enterisches CH₄ emittiert als im Jahr 1892. Im Vergleich dazu sind die heutigen Beiträge der Energiewirtschaft, der Industrie und des Verkehrssektors zur Erderwärmung jeweils 6- bis 10-mal größer. Daher sollte bei allen Bemühungen die CH₄-Emissionen aus der Landwirtschaft weiter zu reduzieren nicht übersehen werden wie wichtig es ist, die Kohlenstoffsenkenfunktion landwirtschaftlicher Böden auszubauen und die CO₂-Emissionen insbesondere aus anderen Sektoren zu verringern, um das in Paris im Jahr 2015 beschlossene „Unter 2 °C-Ziel“ noch zu erreichen.

Summary

Methane emissions from livestock in Germany at the end of the 19th century and today in comparison

In its Climate Protection Act, Germany pursues the goal of achieving greenhouse gas neutrality by 2045. To achieve this goal, emissions from all sectors are to be reduced by 65% by 2030 compared to 1990, which also includes the mitigation of enteric methane (CH₄) emissions from livestock farming. According to the German inventory, 1,313 kt of CH₄ was emitted from livestock in 1990. Thus, the emission rate should be reduced to 464 kt of CH₄ by 2030. However, whether the emission rate targeted for 2030 will reach the level of the pre-industrial era remains to be verified. The objective of the present study was to determine the enteric CH₄ emission rates for Germany in the 19th century. Extensive data on livestock in the German Empire could be researched only for the years 1873, 1883, and 1892 and normalized to the present territory of Germany. Enteric CH₄ emissions within the German Empire were 1,148, 1,255, and 1,440 kt for 1873, 1883, and 1892, respectively. For the present-day territorial boundaries of Germany, enteric CH₄ emissions were 860, 898, and 1.060 kt for 1873, 1883, and 1892, respectively. These data show that the 2030 emission target is smaller than the 1873 emission level. On the other hand, livestock production in Germany has been emitting less enteric CH₄ since 2003 compared to 1892. In comparison, today's contributions to global warming from the energy, industry or transport sectors are each 6 to 10 times greater. Therefore,

any efforts to further reduce CH₄ emissions from agriculture should not overlook the importance of expanding the carbon sink function of agricultural soils and reducing emissions, especially from other sectors, in order to still achieve the “below 2 °C target” agreed in Paris in 2015.

Literatur

1. ABEL, S., BARTHELMES, A., GAUDIG, G., JOOSTEN, H., NORDT, A., PETERS, J., 2019. Klimaschutz auf Moorböden. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 03/2019. https://greifswaldmoor.de/files/images/pdfs/201908_Broschuere_Klimaschutz%20auf%20Moorb%C3%B6den_2019.pdf
2. BELLARBY, J., TIRADO, R., LEIP, A., WEISS, F., LESSCHEN, J. P., SMITH, P., 2013. Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology* 19, 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x>.
3. CONRADI, U., 1896. Fütterungslehre. Verlag Paul Parey, Berlin
4. DÄMMGEN, U., RÖSEMANN, C., HAENEL, A.-D., HUTCHINGS, N. J., 2012. Enteric methane emissions from German dairy cows. *Landbauforschung* 62, 21-32. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:253-201207-dn050370-1>
5. ETHERIDGE, D. M., STEELE, L. P., FRANCEY, R. J., LANGENFELDS R. L., 1998. Atmospheric methane between 1000 A.D. and present: Evidence of anthropogenic emissions and climatic variability. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 103, 15979-15993. <https://doi.org/10.1029/98JD00923>
6. ESCOBAR, N., TIZADO, E. J., ZU ERMGASSEN, E. K. H. J., LÖFGREN, P., BÖRNER, J., GODAR J.; 2020: Spatially-explicit footprints of agricultural commodities: Mapping carbon emissions embodied in Brazil's soy exports. *Global Environmental Change* 62, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102067>
7. FAOSTAT Online Statistical Service. Food and Agriculture Organization, FAO. 2019. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT> [last accessed: 28.02.2022]
8. FRANK, H., SCHMID, H., HÜLSBERGEN K.-J., 2019. Modelling greenhouse gas emissions from organic and conventional dairy farms. *J. Sustainable Organic Agric. Syst.* 69, 37-46. <https://doi.org/10.3220/LBF1584375588000>
9. FRANZ, R., SOLIVA, C. R., KREUZER, M., STEUER, P., HUMMEL, J., CLAUSS, M., 2010. Methane production in relation to body mass of ruminants and equids. *Evolutionary Ecology Research* 12, 727-738. <https://www.evolutionary-ecology.com/issues/v12/n06/ddar2569.pdf>
10. GERBER, P., VELLINGA, T., OPIO, C., STEINFELD, H., 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science* 139, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012>
11. GRUBER, L., GUGGENBERGER, T., STEINWIDDER, A., HÄUSLER, J., SCHAUER, A., STEINWENDER, R., WENZEL, W., STEINER, B., 2001. Vorhersage der Futtermittelaufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche der BAL Gumpenstein. 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein. https://raumberg-gumpenstein.at/component/rsfiles/download-file/dateien.html?path=Tagungen%252FViehwirtschaftstagung%252FViehwirtschaftstagung_2004%252F1v_2004_gruber.pdf
12. GRUBER, L., 2014. Tabelle zur Fütterung in der Rindermast. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_31941.pdf
13. GÜTSCHOW, J., JEFFERY, L., GIESEKE, R., GEBEL, R., STEVENS, D., KRAPP, M., ROCHA, M., 2016. The PRIMAP-hist national historical emissions time series, *Earth System Science Data* 8, 571-603. <https://doi.org/10.5194/essd-8-571-2016>
14. HAENEL, H. D., RÖSEMANN, C., DÄMMGEN, U., DÖRING, U., WULF, S., EURICH-MENDEN, B., FREIBAUER, A., DÖHLER, H., Schreiner, C., OSTERBURG, B., FUSS, R., 2020. Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2018. *Thünen Report* 77. <https://doi.org/10.3220/DATA20200312140923>
15. HEINRICH, R., 1896. Futter und Fütterung der landwirtschaftlichen Nutztiere, Verlag Paul Parey, Berlin

16. HEINZE, A., 2011. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Empfehlungen und Richtwerte zur Schweinefütterung. Heft 3.
<http://www.tll.de/www/daten/nutztierhaltung/schweine/fuetterung/swfu0211.pdf> [Zugriff am: 12.09.2022]
17. HELLING, G., 1965. Berechnung eines Index der Agrarproduktion in Deutschland im 19. Jahrhundert. Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte / Economic History Yearbook, De Gruyter, Vol. 6(4).
<https://doi.org/10.1524/jbwg.1965.6.4.125>
18. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan
19. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Summary for Policymakers. The Physical Science Basis. [Contribution](#) of Working Group I Sixth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge (UK)
20. JACOBS A.; FLESSA; H.; Don; A., 2018. Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen Report 64. Verfügbar unter: DOI:
<https://doi.org/10.3220/REP1542818391000>
21. JENTSCH, W., SCHWEIGEL, M., WEISSBACH, F., SCHOLZE, H., PITROFF, W., DERNO, M., 2007. Methane production in cattle calculated by the nutrient composition of the diet. Arch. Animal Nutri. 61, 10-19.
<https://doi.org/10.1080/17450390601106580>
22. KAISERLICHES STATISTISCHES AMT, 1884. Monatshefte zur Statistik des Deutschen Reiches, 1. Theil, Jg. 1884. Verlag Puttlammer & Mühlenbrecht, Berlin. <https://hdl.handle.net/2027/uc1.e0000261875>
23. KAISERLICHES STATISTISCHES AMT. 1894. Vierteljahrshefte zur Statistik des Deutschen Reiches, 1. Heft, Jg. 1894. Verlag Puttlammer & Mühlenbrecht, Berlin. <https://hdl.handle.net/2027/coo.31924103024182>
24. KLEMME, J., 2003. Entwicklung der Ernährungsforschung bei Wiederkäuern im 19. Jahrhundert. - Fütterungsversuche, Energiehaushalt und Eiweißstoffwechsel. Tierärztliche Hochschule. 2003. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:95-86837>
25. KNAPP, J. R., LAUR, G. L., VADAS, P. A., WEISS, W. P., TRICARICO, J. M., 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. Journal of Dairy Science 97, 3231-3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
26. KUHLA, B., VIREECK, G., 2022. Enteric methane emission factors, total emissions and intensities from Germany's livestock in the late 19th century: A comparison with the today's emission rates and intensities. Science of the Total Environment 848, 157754. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157754>
27. MUYLAERT DE ARAUJO, M. S., PIRES DE CAMPOS, C., PINGUELLI ROSA, L., 2007. Historical emissions, by country, of N₂O from animal manure management and of CH₄ from enteric fermentation in domestic livestock. Climate Research 34, 253-258. <https://doi.org/10.3354/cr00634>
28. PELCHEN, A., PETERS, K. J., 1998. Methane emissions from sheep. Small Ruminant Research 27, 137-150.
[https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(97\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(97)00031-X)
29. PIATKOWSKI, B., JENTSCH, W., DERNO, M., 2010. New results on methane production and its estimation for cattle. Züchtungskunde. 82, 400-407
30. RUSSO, P. N., CARPENTER, D. O., 2019. Air Emissions from Natural Gas Facilities in New York State. International Journal of Environmental Research and Public Health 16, 1591.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16091591>
31. RUTHERFORD, J. S., SHERWIN, E. D., RAVIKUMAR, A. P., HEATH, G. A., ENGLANDER, J., COOLEY, D., LYON, D., OMARA, M., LANGFITT, Q., BRANDT, A. R., 2021. Closing the methane gap in US oil and natural gas production emissions inventories. Nat. Commun. 12, 4715. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25017-4>.
32. SCHLATZER, M., LINDENTHAL, T., 2019. Österreichische und europäische Alternativen zu Palmöl und Soja aus Tropenregionen.
https://www.fibl.org/fileadmin/documents/de/news/2019/studie_palmoel_soja_1907.pdf
33. SHAFIULLAH, M., KHALID, U., SHAHBAZ, M., 2021. Does meat consumption exacerbate greenhouse gas emissions? Evidence from US data. Environmental Science and Pollution Research 28, 11415-11429.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11331-9>

34. STATISTA, 2021. <https://de.statista.com/> [last accessed: 28.02.2022]
35. UBA – Umweltbundesamt, 2022. Trendtabellen Treibhausgase 1990-2021. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>
36. VAN LINGEN, H. J., NIU, M., KEBREAB, E., VALADARES FILHO, S. C., ROOKE, J., et al. 2019. Prediction of enteric methane production, yield and intensity of beef cattle using an intercontinental database. Agriculture, Ecosystems & Environment 283, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106575>
37. VON FINCKENSTEIN, H. W. G. F., 1960. Die Entwicklung der Landwirtschaft in Preußen und Deutschland. 1800-1930. Holzner Verlag, Würzburg. <https://histat.gesis.org/histat/de/project/details/E7D842BA232A256E7687AA538A861087> [Zugriff am: 12.09.2022]
38. WOLLIN, K. M., DAMM, G., FOTH, H., FREYBERGER, A., GEBEL, T., MANGERICH, A., GUNDERT-REMY, U., PARTOSCH, F., RÖHL, C., SCHUPP, T., HENGSTLER, J. G., 2020. Critical evaluation of human health risks due to hydraulic fracturing in natural gas and petroleum production. Archives of Toxicology 94, 967-1016. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02758-7>

Anschrift der Autoren

Dr. Björn Kuhla

Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (FBN)

Institut für Ernährungsphysiologie „Oskar Kellner“

Wilhelm-Stahl-Allee 2

18196 Dummerstorf

E-Mail: b.kuhla@fbn-dummerstorf.de

Dr. Gunther Viereck

Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (FBN)

Wilhelm-Stahl-Allee 2

18196 Dummerstorf

E-Mail: gunther.viereck@uni-rostock.de

Danksagung

Die Autoren danken Rebecca Eichhorn, Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (FBN) für ihre Hilfe bei der Literatursuche. Die Veröffentlichung erhielt finanzielle Unterstützung des FBN.