

Einsatz von methanmindernden Futtermitteln oder Futterzusatzstoffen bei Wiederkäuern

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope eingeordnet.

Methan entsteht bei Wiederkäuern durch die mikrobielle Fermentation im Pansen und stellt eine bedeutende Quelle landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen dar. Durch den Einsatz spezifischer Futtermittel oder Futterzusatzstoffe kann die Methanbildung reduziert werden. Die Wirksamkeit hängt stark vom jeweiligen Futtermittel oder Futterzusatzstoff sowie von Tierart, Futterration und Dosierung ab.

Monitoring: Eine direkte Messung der Methanemissionen auf Betrieben ist technisch anspruchsvoll und teuer. Schätzungen erfolgen daher meist über Modelle, die Futtermittel oder Futterzusatzstoff, Tierleistung, Futteraufnahme und Rationszusammensetzung berücksichtigen. Neuere Methoden wie die mittlere Infrarotspektroskopie (MIR) von Milchproben bieten vielversprechende, aber noch nicht praxisreife Ansätze. Für eine verlässliche Bewertung sind standardisierte Erhebungen und die Dokumentation von Tierleistung, Zusammensetzung der Futterration, Art, Dosierung und Häufigkeit eingesetzter Futtermittel oder Futterzusatzstoffe erforderlich.

Empfehlungen: Futtermittel oder Futterzusatzstoffe können einen Beitrag zur Reduktion landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen leisten, sollten aber Teil einer Gesamtstrategie auf Betriebsebene sein. Ihr Einsatz erfordert eine fachkundige Beratung, um Wirksamkeit und Tiergesundheit sicherzustellen. Die Wirkung ist nur bei einzelnen Futtermitteln und Futterzusatzstoffen wissenschaftlich robust nachgewiesen, während bei weiteren keine Wirkung nachgewiesen werden konnte oder noch Forschungsbedarf besteht. Pilotprogramme, gezielte Fördermassnahmen und praxisnahe Tests können die breite Anwendung fördern.

Technisches Minderungspotenzial	Unterschiedlich (siehe Tabelle 1)
Vertrauen in die Wirksamkeit	Unterschiedlich (siehe Tabelle 1)
Zeithorizont	3-NOP und Leinsamen: Sofort wirksam
Technische Bereitschaft	3-NOP und Leinsamen: Anwendungsbereit
Annahmen Skalierung Graubünden	3-NOP: Rationsdaten Pilotbetriebe, 60% der konventionellen Milchkühe ohne Sömmerungsbetriebe, Fütterung während 245 Tage pro Jahr, Weidedauer 120 Tage. Extrudierte Leinsamen: Keine Skalierung.
Potenzial Graubünden	3-NOP: 3.1 kt CO ₂ eq/Jahr Extrudierte Leinsamen: Keine Skalierung.



Inhalt

1.	Emissionsprozess	1
2.	Technisches Potenzial	1
2.1	Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme	1
2.1.1	Fette und Öle	2
2.1.2	Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe	2
2.1.3	Inhibitoren	3
2.1.4	Pflanzenkohle.....	3
2.2	Technisches Potenzial der Minderungsmassnahmen	3
2.3	Vertrauen in die Wirksamkeit	4
3.	Systembetrachtung.....	7
3.1	Synergien	7
3.2	Limitierungen, Zielhierarchien	7
3.3	Kostenbetrachtungen	8
4.	Überlegungen zum umsetzbaren Potential im Kanton Graubünden	8
4.1	Erfahrungen aus den Pilotprojekten	9
5.	Förderung und Überwachung	10
5.1	Monitoring, Reporting and Verifikation	10
5.2	Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente	11
6.	Fazit und Empfehlung	11
7.	Literatur.....	12

Impressum

Copyright: Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden, Cazis 2026
 Autor:innen: E. Manzocchi, F. Dohme-Meier, C. Zosso und D. Bretscher (Agroscope), M. Rombach (AG-RIDEA), A. Maeschli, C. Notz und F. Leiber (FiBL)
 Fotos: Bilderarchiv Klimaneutrale Landwirtschaft
 Datum: Juni 2026

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope eingeordnet.



Haftungsausschluss:

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser: innen. Die Autoren sind bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen, übernehmen dafür jedoch keine Gewähr und schliessen jegliche Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser: innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften. Die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar. Den aktuellen Rechtsrahmen für die Verwendung von Futtermitteln und Futtermittelzusatzstoffen entnehmen Sie bitte den geltenden Vorschriften:

- Futtermittel-Verordnung (FMV) vom 26. Oktober 2011 (SR 916.307)
- Futtermittelbuch-Verordnung (FMBV) vom 26. Oktober 2011 (SR916.307.1) und ihre 11 Anhänge und Listen der bewilligten Futtermittelzusatzstoffen gemäss Art. 22 FMV
- Verordnung über die biologische Landwirtschaft und die Kennzeichnung biologisch produzierter Erzeugnisse und Lebensmittel (Bio-Verordnung, SR 910.18)
- Verordnung des WBF vom 22. September 1997 über die biologische Landwirtschaft (SR 910.181)
- Verordnung des BLW vom 11. November 2020 über die biologische Landwirtschaft (SR 910.184)
- Verordnung des EDI vom 23. November 2005 über die Hygiene bei der Milchproduktion (VHyMP, SR 916.351.021.1)



1. Emissionsprozess

Methan (CH_4) entsteht bei Wiederkäuern durch den natürlichen mikrobiellen Abbau von Futterfasern unter anaeroben Bedingungen im Pansen und im Enddarm. Der überwiegende Anteil des CH_4 wird im Pansen gebildet. Dieser Prozess ermöglicht es Wiederkäuern, Futterfasern zu verdauen, die für den Menschen unverdaulich sind. Die CH_4 -Produktion wird durch das Pansenmikrobiom (alle im Pansen vorhandenen Mikroben, umfasst Bakterien, Protozoen, Hefen, Pilze), die Fütterung und das individuelle Tier beeinflusst. Die meisten methanogenen Archaeen (auch Methanogene genannt) leben in einer Symbiose mit den Protozoen und produzieren CH_4 , indem sie Wasserstoff (H_2) nutzen, um Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu reduzieren und daraus Energie zu gewinnen. Dabei wird CH_4 als Nebenprodukt erzeugt (hydrogenotropher Weg der Methanogenese, Abbildung 1). Dieser Prozess hält die Menge an H_2 im Pansen niedrig und ermöglicht die Produktion von flüchtigen Fettsäuren (Acetat, Butyrat und Propionat), die Hauptenergiequelle für Wiederkäuer. Die Methanproduktion stellt einen Energieverlust für das Tier dar. Methan wird überwiegend durch Rülpsen in die Luft ausgestossen und gelangt so in die Atmosphäre, wo es sich auf das Klima auswirkt.

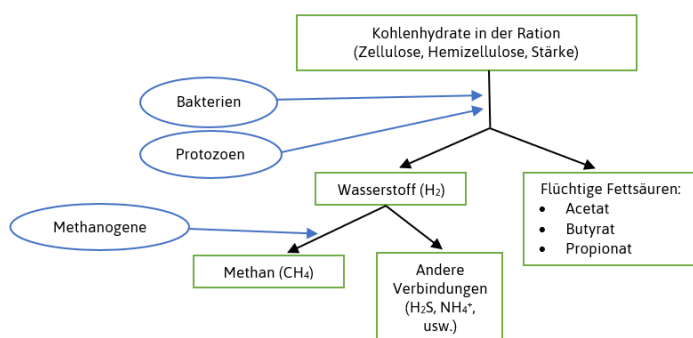


Abbildung 1 Vereinfachter hydrogenotropher Weg der Bildung von CH_4 (Methanogenese). Dieser stellt den vorherrschenden biochemische Weg dar, der zur CH_4 -Bildung im Pansen von Wiederkäuern beiträgt.

2. Technisches Potenzial

2.1 Wirkungsmechanismus der Minderungsmaßnahme

Die enterische CH_4 -Produktion lässt sich durch Fütterungsmaßnahmen beeinflussen (Beauchemin et al., 2008). Der Einsatz von Futtermitteln oder Futterzusatzstoffen wird deshalb als Strategie zur Minderung der CH_4 -Emissionen von Wiederkäuern verfolgt. Trotz umfangreicher Forschung in den letzten Jahrzehnten ist die Auswahl an neu identifizierten Futtermitteln oder entwickelten und wirksamen Futterzusatzstoffen begrenzt. Ausserdem werden beim Einsatz solcher Futtermittel und Futterzusatzstoffe verschiedene Einschränkungen beschrieben (siehe Kapitel 2.4), die den weit verbreiteten Einsatz in Wiederkäuerhaltungssystemen einschränken (Hegarty et al., 2021). Eine Liste möglicher Futtermittel und Futterzusatzstoffe mit einer CH_4 -mindernden Wirkung ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Dieses Faktenblatt bezieht sich auf gut erforschte und derzeit verfügbare Futtermittel und Futterzusatzstoffe. Es existieren weitere pflanzliche Produkte, die sich noch in einem frühen Forschungsstadium befinden. Neue Zusatzstoffe, wie aktive Mikroorganismen, könnten weiterentwickelt werden, um eine (höhere) Wirksamkeit zu erzielen. Einige Studien in der internationalen Literatur untersuchten Chemikalien und Antibiotika (z.B. Monensin), die in der Schweiz als Futterzusatzstoffe verboten sind und hier deshalb nicht behandelt werden.

Die molekularbiologischen Wirkungsmechanismen der verschiedenen Futtermittel und Futterzusatzstoffe, die in Tabelle 1 aufgeführt sind, sind sehr unterschiedlich. Man unterscheidet zwischen:

- 1) Verbindungen, die als Elektronenakzeptoren dienen und H_2 nutzen, wodurch weniger H_2 für die CH_4 -Bildung zur Verfügung steht,
- 2) Stoffe, die eine unspezifische Wirkung auf die Aktivität der Pansenmikroben haben, die Produktion von H_2 reduzieren oder alternative Substrate für die Entsorgung von H_2 liefern und dadurch das Fermentationsprofil im Pansen verändern,
- 3) Stoffe, die eine gezielte Wirkung auf Methanogene und ihre Stoffwechselwege haben, wie z.B. bestimmte Inhibitoren,



- 4) Stoffe, die wenig fermentierbare organische Substanz enthalten und gegenüber der Pansenfermentation stabil sind (z.B. Fette und Öle).
Nachfolgend sind die Wirkungsmechanismen einzelner Stoffklassen zusammengefasst.

2.1.1 Fette und Öle

Fette und Öle entfalten ihre CH₄-mindernde Wirkung durch mehrere Mechanismen. Der Wirkungsmechanismus hängt unter anderem vom Sättigungsgrad (Anzahl Doppelbindungen) und der Kettenlänge der im Fett enthaltenen Fettsäuren sowie von der Form, der Quelle und der Menge des verwendeten Fettes ab. Fette und Öle werden grösstenteils nicht fermentiert. Wenn damit Kohlenhydrate (Zellulose, Hemizellulose) in der Ration ersetzt werden, tragen Fette zu einer Reduktion der CH₄-Produktion bei, weil sie grösstenteils nicht fermentiert werden. Ebenfalls wird ihnen ein negativer Effekt auf die Methanogene zugeschrieben (Patra, 2013). Ein indirekter Einfluss ergibt sich auch dadurch, dass die Fütterung von grösseren Fettmengen zu einer Verringerung des Futterverzehr führen kann (Jenkins 1993). Allerdings reduzieren hohe Rohfettanteile in der Ration (über 6% der Trockensubstanz) die Verdaulichkeit der organischen Substanz einschliesslich der Fasern. Dies führt zwar zu einer Verminderung der CH₄-Produktion im Tier, kann aber gleichzeitig höheren Emissionen von CH₄ und N₂O aus der Hofdüngerlagerung verursachen. Als besonders fettreiche Rationskomponenten können Ölsaaten (z. B. Leinsaat) oder Nebenprodukte aus der Ölherstellung eingesetzt werden. Leinsaat zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, insbesondere α-Linolensäure (C18:3) aus. Diese Fettsäure kann einen hemmenden Einfluss auf die Methanogenese haben und beeinflusst zudem die Mikroflora im Pansen, wobei die tatsächliche Wirkung von mehreren Faktoren wie Dosis, Rationszusammensetzung und Tierkategorie abhängt.

2.1.2 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Bei den sekundären bioaktiven Pflanzeninhaltsstoffen zur Minderung der enterischen CH₄-Emissionen unterscheidet man zwischen ätherischen Ölen, Tanninen und Saponinen.

Ätherische Öle sind Mischungen an Stoffen, die für den charakteristischen Geschmack und Geruch einer Pflanze verantwortlich sind und eine antimikrobielle Wirkung haben können. Ihre Wirksamkeit in Fütterungsversuchen ist jedoch begrenzt, da sich die Pansenmikroben anpassen können. Die Herausforderung beim Einsatz ätherischer Öle besteht darin, ätherische Öle zu finden, die selektiv die Methanogenese hemmen, ohne die Futteraufnahme, Futterverdauung und die Produktivität der Tiere zu beeinträchtigen (Benchaar et al., 2011).

Tannine binden Proteine und andere Verbindungen und üben eine anti-methanogene Wirkung aus. Sie können die Methanogenese direkt hemmen oder die Anzahl der Protozoen im Pansen reduzieren, welche die Methanogene symbiotisch beherbergen. Die Wirkung der Tannine hängt von ihrer Quelle und Zusammensetzung ab. Teilweise kann die Wirkung der Tannine auch durch eine Minderung der Futteraufnahme und der Verdaulichkeit der Nährstoffe erklärt werden, was aber auch die Leistung der Tiere negativ beeinflussen kann. Die Wirkung der Tannine hängt zudem auch von der Zusammensetzung der Mikroben im Pansen ab. Tannine können auf natürliche Weise als Inhaltsstoffe in Futterpflanzen enthalten sein oder dem Futter in Form von Extrakten als Futterzusatz beigemischt werden. Esparsette (*Onobrychis viciifolia*) und gewöhnlicher Hornklee (*Lotus corniculatus*), zwei einheimische Futterleguminosen, enthalten kondensierte Tannine, aber meist in relativ tiefen Konzentrationen (< 20 bis maximal 50 g/kg Trockensubstanz). Tanninextrakte wie z.B. das Extrakt aus der Rinde der Gerberakazie (*Acacia mearnsii*), der Kastanie (*Castanea sativa*) oder des Quebracho-Baumes (*Schinopsis balansae*) wurden in der Fütterung von Wiederkäuern zur CH₄-Minderung experimentell getestet. Verlässliche Minderungswirkungen von Tanninen sind ab einem Gehalt von > 20 g Tannine/kg Trockensubstanz in der Ration zu erwarten, ein Schwellenwert, der bei der derzeitigen kommerziellen Futterergänzung mit Tanninen oft nicht überschritten wird (Jayanegara et al., 2012). Beispielsweise wirkte das Extrakt aus der Gerberakazie in mehreren Versuchen sowohl kurzfristig als auch längerfristig CH₄-mindernd (Denninger et al., 2020), aber der Einsatz einer wirksamen Zusatzmenge führte auch zu einem Rückgang der Futteraufnahme und der Milchleistung (Lazzari et al., 2023). Einschränkungen beim Einsatz von



tanninhaltigen Extrakten sind ihre Adstringenz (Schmackhaftigkeit), die zu einem Rückgang der Futteraufnahme führen kann sowie das mangelnde Angebot von solchen Extrakten auf dem Markt (Hegarty et al., 2021).

Saponine sind strukturell unterschiedliche Moleküle, die in Futterpflanzen enthalten sind oder dem Futter als Extrakte und Futterzusätze beigemischt werden können. Die Hauptquellen von Saponinen, welche in der Fütterung von Wiederkäuern zur CH₄-Minderung getestet wurden, sind die Luzerne (*Medicago sativa*), die Teepflanze (*Camellia sinensis*), die *Yucca schidigera* und der Seifenrindenbaum (*Quillaja saponaria*). Ihre anti-methanogene Wirkung beruht hauptsächlich auf einer Hemmung der Protozoen und der assoziierten Methanogene und hängt von ihrer Quelle, chemischen Struktur und Dosierung ab (Jayanegara et al., 2014). Wenige wissenschaftliche Belege liegen zurzeit zur Wirksamkeit von saponinhaltigen Futterpflanzen vor, welche in der Schweiz angebaut werden können (z.B. Luzerne).

2.1.3 Inhibitoren

Die hemmende Wirkung von Inhibitoren beruht auf hochspezifischen Angriffspunkten im Stoffwechsel der Methanogene. 3-Nitrooxypropanol (Propan-1,2-diol-mononitrat, 3-NOP), unter dem kommerziellen Namen Bovaer® als Futtermischung erhältlich, zielt auf das Nickelenzym Methyl-Coenzym M-Reduktase ab, das die CH₄-Bildung katalysiert (Duijn et al., 2016). 3-NOP muss den Tieren kontinuierlich (d.h. mit jedem Bissen einer Ration) verabreicht werden, damit es seine Wirkung entfaltet. Das Minderungspotenzial von 3-NOP hängt von der Rationszusammensetzung ab und ist höher bei Rationen mit hohem Kraftfutteranteil (Schilde et al., 2021). Eine genaue Abschätzung des erreichten Minderungspotenzials erfordert die Angabe der Dosis von 3-NOP im eingesetzten Futtermittel und Anteil dieser Futtermittel in der Gesamtration sowie die Angabe des Gehalts an Neutraler-Detergenzien-Faser und des Rohfettgehalts in der Mischration. 3-NOP kann nur Milch- und Mutterkühen verabreicht werden, welche kontinuierlich mit einer Gesamtmischration oder einer Teilmischration zur freien Verfügung gefüttert werden. Synthetische Futterzusatzstoffe, wie 3-NOP sind in der biologischen Landwirtschaft nicht zugelassen. 3-NOP ist in der

Schweiz laut Anhang 2 der Futtermittelbuch-Verordnung nur für Milchkühe und Zuchtkühe (trächtige Färsen und Kühe, laktierende Kühe (Milchkühe und säugende Kühe) sowie trockengestellte Kühe zugelassen. Mastrinder, nicht trächtige Färsen und Kälber fallen nicht unter diese Zulassung. Die CH₄-Reduktion kann bei Inhibitoren teilweise auch durch eine Minderung der Futteraufnahme erklärt werden.

2.1.4 Pflanzenkohle

Pflanzenkohle, die durch Pyrolyse von Biomasse entsteht, wurde als Strategie zur Minderung von CH₄ vorgeschlagen, da sie die Bildung von Biofilmen und den Elektronentransfer zwischen den Mikroorganismen in mikrobiellen Gemeinschaften fördert (Chen et al., 2014). Bisherige Fütterungsversuche haben jedoch keinen Effekt auf die CH₄-Emissionen gezeigt (Dittmann et al., 2024; Lind et al., 2024). Eine CH₄-mindernden Wirkung durch den Einsatz von Pflanzenkohle in der Ration ist wissenschaftlich nicht belegt. Es bleibt zu untersuchen, ob die Wirksamkeit von Pflanzenkohle durch die Biomassequelle, Pyrolysebedingungen und Nachbehandlung beeinflusst wird. Dazu gibt es in der wissenschaftlichen Literatur nach heutigem Wissensstand keine Angaben. Nach heutigem Kenntnisstand ist Pflanzenkohle zur Minderung von CH₄-Emissionen und generell in der Fütterung ausgewachsener Wiederkäuer nicht zu empfehlen.

2.2 Technisches Potenzial der Minderungsmaßnahmen

Die Ermittlung der Wirksamkeit von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen ist aus verschiedenen Gründen komplex. Einerseits wird die Wirksamkeit von verschiedenen Parametern beeinflusst. Beispielsweise spielt oft die Zusammensetzung der Grundration eine wichtige Rolle. Das technische Potenzial einer Minderungsmaßnahme muss anhand mehrerer kontrollierter Fütterungsversuche mit verschiedenen Grundrationen bestimmt werden.

Das unter Laborbedingungen (*in vitro*, im Reagenzglas) ermittelte Reduktionspotenzial kann in der Regel nicht 1:1 auf die Praxis übertragen werden. Es ist nur eingeschränkt möglich, von *in-vitro*-Messungen



auf *in-vivo*-Situationen bei Wiederkäuern oder auf praktische Bedingungen zu schliessen. Somit sind aufwändige *in-vivo*-Studien nötig, um die Wirksamkeit einzelner Futtermittel oder Futterzusatzstoffe zu bestimmen. Diese sollten über einen längeren Zeithorizont (Laktation, Mastdauer) durchgeführt werden, um mögliche Anpassungseffekte des Pansenmikrobioms zu erfassen. Kürzlich wurde zudem gezeigt, dass die Wirkung eines Futterzusatzstoffes auch von der Milchviehrasse beeinflusst werden kann (Ma et al., 2024; Islam et al., 2024).

Für die Bewertung und Integration von Futterzusätzen in Umweltanalysen gibt es etablierte internationale Standards. Die FAO-LEAP Guidelines (2020) definieren Methoden, Datenformate und technische Hinweise zur Lebenszyklusbilanzierung (LCA) von Futterzusatzstoffen. Das MilCA-Protokoll (2025) ergänzt diese Ansätze und bietet ein wissenschaftsbasiertes Verfahren, um Minderungsmassnahmen wie methanhemmende Futterzusätze konsistent in Carbon-Footprint- und LCA-Berechnungen landwirtschaftlicher Produktionssysteme einzubinden.

Bisher ermittelte technische Minderungspotenziale der einzelnen Futtermittel und Futterzusatzstoffe sind in Tabelle 1 angegeben. Wann immer möglich wurden für die Einschätzung des technischen Potentials *in-vivo*-Studien aus Schweizer Forschungseinrichtungen mit einbezogen (Tabelle 1). Für die Zulassung von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen für bestimmte Tierarten und Tierkategorien (z.B. Aufzuchttiere, Kleinwiederkäuer) wird auf die Futtermittelbuch-Verordnung (SR 916.307) und ihre Anhänge 1-11 verwiesen.

2.3 Vertrauen in die Wirksamkeit

Das Vertrauen in die Wirksamkeit der einzelnen Futtermittel und Futterzusatzstoffe ist sehr unterschiedlich und in der Tabelle 1 nach den Empfehlungen von Mastrandrea et al. (2010) dargestellt (**Abbildung 2**).

Diese stützen sich auf die Einschätzungen von Hegarty et al. (2021) und eigene Literaturrecherchen hinsichtlich Übereinstimmung und Qualität der nachgewiesenen Wirksamkeit eines

bestimmten Futtermittels oder Futterzusatzstoffs in der wissenschaftlichen Literatur ab.

Vertrauen in die Wirksamkeit		
Bezüglich Übereinstimmung und Qualität der Evidenz in der akademischen Literatur		
5 Hohe Übereinstimmung & Robuste Evidenz	4 Mittlere Übereinstimmung & Robuste Evidenz	3 Geringe Übereinstimmung & Robuste Evidenz
4 Hohe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz	3 Mittlere Übereinstimmung & Mittlere Evidenz	2 Geringe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz
3 Hohe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz	2 Mittlere Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz	1 Geringe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz

Abbildung 2: Schema für die Einschätzung des Vertrauens in die Wirksamkeit nach Mastrandrea et al. (2010).

Tabelle 1. Zusammenfassung der Futtermittel und Futterzusatzstoffe zur Minderung der Methanemissionen bei Wiederkäuern angelehnt an Hegarty et al. (2021), ergänzt mit eigenen Angaben und Schweizer Rahmenbedingungen.

Futtermittel/ Futterzusatzstoff	Minde- rungs- potenzial	Wirkungs- mechanismus (gemäss Ka- pitel 2.1)	Wissen- schaftliche Publikatio- nen aus <i>in- vivo</i> Studien weltweit	Vertrauen in die Wirk- samkeit (1-5; (ge- mäss Kapi- tel 2.3))	Biologische Land- wirtschaft	Risiken für Tier- gesundheit und Tierwohl	Mögliche Synergien (+) und Zielkonflikte (-)	Wirkung auf Emissionen aus dem Hofdünger	Anwendbarkeit in verschiedenen Produktions- systemen	Wissenschaftliche Publikationen über <i>in-vivo</i> Stu- dien aus Schwei- zer Forschungs- einrichtungen
Fett										
Extrudierte Leinsamen	Mittel (5- 15 %)	(2,4)	>10	3	z.T. erlaubt, aus bio- logischer Landwirt- schaft (Extrusion nicht er- laubt bei biodynami- schen Betrieben)	Kein Risiko bekannt	+Fruchtbarkeit +Zusammensetzung der Milchfettsäuren -Flächen-/Ressourcen- konkurrenz	Wenn Verdaulichkeit tiefer, Emissionspo- tenzial des Hof- düngers höher	Mischration, Weide	Münger et al., 2019 Poteko et al., 2020
Extraktionsschrot von Raps, Sonnenblumen, Soja etc.	Tief (≤ 5 %)	(2,4)	>10	2	z.T. erlaubt, aus bio- logischer Landwirt- schaft	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcen- konkurrenz		Mischration, Weide	-
Ätherische Öle										
Produkte mit ätheri- schen Ölen (z.B. unter den kommerziellen Namen <i>Agolin</i> ®, <i>Moot- ral</i> ®, <i>Crina Rumi- nants</i> ®, usw.)	Tief (< 5 %)	(2, ?)	<20	2	Betriebsmittelliste FiBL	Gewisse ätherische Öle können bei zu hoher Dosierung to- xisch wirken	-Flächen-/Ressourcen- konkurrenz	Kein Einfluss be- kannt	Mischration und Weide	Foggi et al., in Vor- bereitung
Oregano (<i>Origanum vulgare</i>)	Tief (≤ 5 %)	(2, ?)	<5	1	z.T. erlaubt, aus bio- logischer Landwirt- schaft	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcen- konkurrenz	Kein Einfluss be- kannt	Mischration, Weide	-
Lauch (<i>Allium sativum</i>)	Tief (≤ 5 %)	(2, ?)	<5	1	z.T. erlaubt, aus bio- logischer Landwirt- schaft	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcen- konkurrenz	Kein Einfluss be- kannt	In der Milchvieh- haltung nicht zu- gelassen (Milchhy- giene-Verord- nung)	Staerfl et al., 2012
Thymian, (<i>Thymus sp.</i>)	Tief (≤ 5 %)	(2, ?)	<5	1	z.T. erlaubt, aus bio- logischer Landwirt- schaft	Kein Risiko bekannt			Mischration, Weide	-



Zimt (<i>Cinnamomum verum</i>)	Tief ($\leq 5\%$)	(2, ?)	<5	1	z.T. erlaubt, aus biologischer Landwirtschaft	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcenkonkurrenz	Kein Einfluss bekannt	Mischration	-
Tannine										
Esparssette (<i>Onobrychis viciifolia</i>), ganze Pflanze	Mittel (5-15 %)	(2, ?)	<5	2	z.T. erlaubt, aus biologischer Landwirtschaft	Kein Risiko bekannt	+N-Fixierung im Boden	Verlagerung der N-Ausscheidung vom Harn zum Kot	Mischration, Weide	Münger et al., 2023 Lazzari et al., 2023
Hornklee (<i>Lotus corniculatus</i>), ganze Pflanze	Mittel (5-15 %)	(2, ?)	<5	2	z.T. erlaubt, aus biologischer Landwirtschaft	Kein Risiko bekannt	+N-Fixierung im Boden	Verlagerung der N-Ausscheidung vom Harn zum Kot	Mischration, Weide	-
Haselnuss (<i>Corylus avellana</i>), Blätter	Mittel (5-15 %)	(2, ?)	<5	1	z.T. erlaubt, aus biologischer Landwirtschaft	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcenkonkurrenz	Verlagerung der N-Ausscheidung vom Harn zum Kot	Mischration, Weide	Wang et al., 2018 Terranova et al., 2021
Rebe (<i>Vitis vinifera</i>), Blätter	Mittel (5-15 %)	(2, ?)	<5	1	z.T. erlaubt, aus biologischer Landwirtschaft	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcenkonkurrenz	-	Mischration	Birkinshaw et al., 2022
Gerberakazie/ Schwarze Akazie (<i>Acacia mearnsii</i>), Extrakt aus der Rinde	Mittel (5-15 %)	(2)	<15	3	FiBL Betriebsmittelliste	Kein Risiko bekannt	-Flächen-/Ressourcenkonkurrenz	Verlagerung der N-Ausscheidung vom Harn zum Kot.	Mischration	Carulla et al., 2005 Staerfl et al., 2012 Denninger et al., 2020 Lazzari et al., 2023 Islam et al., 2024
Saponine	Mittel (5-15 %)	(2, ?)	<5	2	z.T. erlaubt, aus biologischer Landwirtschaft	Zu hohe Dosierungen können toxisch wirken	-Flächen-/Ressourcenkonkurrenz	-	Mischration, Weide	
Pflanzenkohle	Kein Minderungspotenzial	-	5	3	Betriebsmittelliste FiBL	Kein Risiko bekannt	Ressourcenkonkurrenz, Life Cycle Assessment der Produktion von PK	Kein Einfluss bekannt	Mischration	Dittmann et al., 2024
Inhibitoren										
3-Nitrooxypropanol (3-NOP) (unter kommerziellem Namen Bovaer®)	Hoch (15-25 %)	(3)	>20	5	Nicht erlaubt	Risiko wird derzeit von EU-Lebensmittelsicherheitsbehörde neu bewertet.	-Life Cycle Assessment der Produktion von 3-NOP/ -Produktionsrichtlinien/ Konsument:innen	Kein Einfluss bekannt	Mischration	Ma et al., 2024 Islam et al., 2024 Wang et al., in Vorbereitung Reiche et al., 2025



3. Systembetrachtung

3.1 Synergien

Mögliche Synergien unterscheiden sich je nach Futtermittel oder Futterzusatzstoff und sind zusammengefasst in Tabelle 1 angegeben. Synergien, die entstehen könnten beim Einsatz von CH₄-mindernden Futtermitteln und Futterzusatzstoffen, sind:

- **Emissionen aus der Hofdüngerlagerung:** Tannin- und saponinhaltige Futterpflanzen können die Stickstoff-Ausscheidung vom Harn zum Kot verlagern, was die Stickstoff-Verluste im Harn verringert und die NH₃-Emissionen aus der Hofdüngerlagerung senken kann.
- **Stickstoff-Fixierung im Boden:** Durch den Anbau und die Förderung von tanninhaltigen Leguminosen kann die N₂-Fixierung im Boden durch symbiotische Bakterien erhöht werden.
- **Tiergesundheit:** Massnahmen wie der Einsatz von mehrfachungesättigten Fettsäuren und kondensierten Tanninen könnten unter gewissen Umständen die Tiergesundheit positiv beeinflussen.
- **Qualität der Produkte:** Der Einsatz von ungesättigten Fettsäuren kann den Anteil an mehrfachungesättigten, insbesondere Omega-3-Fettsäuren und konjugierte Linolensäure in der Milch und im Fleisch erhöhen, was die ernährungsphysiologischen Eigenschaften positiv beeinflusst. Auch tanninhaltige Futtermittel können das Fettsäuremuster von Milch und Fleisch positiv beeinflussen.

3.2 Limitierungen, Zielhierarchien

Mögliche Limitierungen und Zielkonflikte unterscheiden sich je nach Futtermittel oder Futterzusatzstoff und sind zusammengefasst in Tabelle 1 angegeben. Limitierungen beim Einsatz solcher Futtermittel und Futterzusatzstoffe können biologischer, ökonomischer, regulatorischer oder soziologischer Natur sein. Allgemeine Limitierungen beim Einsatz von CH₄-mindernden Futtermitteln und Futterzusatzstoffen sind:

- **Biologische Funktion der Methanogenese:** Die enterische CH₄-Produktion ist widerstandsfähig und mit der Verwertung von

Futterfasern gekoppelt, was eine wirksame und dauerhafte Hemmung erschwert. Langzeiteffekte und mögliche Anpassungen der Methanogene sind wenig untersucht und nicht auszuschliessen.

- **Risiken in der Lebensmittelsicherheit:** Futtermittel und Futterzusatzstoffe müssen zugelassen und als sicher eingestuft sein. Die Sicherheit basiert auf umfassenden toxikologischen Studien.
- **Flächen- und Ressourcen-Konkurrenz:** Der Futtermittelanbau konkurriert mit der Nahrungsmittelproduktion. Zielkonflikte entstehen deshalb im Bereich des Ressourcen- und Flächenbedarfs bei der Produktion von Futtermitteln und Futterzusatzstoffe (Dittmann und Leiber, 2024).
- **Emissionen in vorgelagerten Prozessen:** Die Herstellung von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen kann aufwändige Extraktionsmethoden und technologische Behandlungen erfordern, was zu zusätzlichen Treibhausgas (THG)-Emissionen führt. Beispielsweise entfalten Ölsaaten die höchste Wirkung, wenn sie gemahlen, gequetscht, oder extrudiert werden, um die Verfügbarkeit der Fette zu maximieren. Auch ätherische Öle müssen extrahiert oder chemisch synthetisiert werden. Da sie flüchtig sind, müssen die speziell aufbereitet und geschützt werden. Treibhausgas-Emissionen sowie weitere Emissionen mit einer negativen Umweltwirkung, die in den vorgelagerten Prozessen sowie beim Import und Transport entstehen, müssen im Rahmen einer Gesamtbewertung der Umweltwirkung der Futtermittel und Futterzusatzstoffe mitberücksichtigt werden (Lebenszyklusbilanzierung, LCA). Allerdings fallen diese Emissionen unterschiedlich stark ins Gewicht, je nachdem, wie stark die Methanemissionen durch den Einsatz dieser Futtermittel oder Futterzusatzstoffe reduziert werden.
- **Verlagerung der Emissionen:** der Einsatz von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen, welche die Verdaulichkeit mindern oder einen Einfluss auf den Stickstoffumsatz haben und zu einer höheren Ausscheidung von Nährstoffen im Kot und Harn führen, könnten zu höheren



Emissionen von CH_4 , N_2O und NH_3 aus dem Hofdünger führen.

- **Nachgelagerte Prozesse:** Die Akzeptanz von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen durch Qualitätslabels und deren Auswirkungen auf die Produktqualität sind wenig erforscht.
- **Image der Produkte gegenüber den Konsumenten:** Die Akzeptanz von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen durch Konsument:innen ist unklar. Mehr Informationen und Aufklärung sind notwendig, um das Wissen und die Akzeptanz zu erhöhen. Hoffmann et al. (2024) haben anhand einer Umfrage in Deutschland gezeigt, dass die Bevölkerung wenig über Futtermittel und Futterzusatzstoffe der Nutztiere weiss und es notwendig scheint, dem breiten Publikum mehr Information zur Verfügung zu stellen, um das Wissen und die Akzeptanz der Konsument:innen über Futtermittel und Futterzusatzstoffe und nachhaltige Lösungen in der Landwirtschaft zu erhöhen.
- **Risiko eines eindimensionalen, reduktionistischen Ansatzes:** Insbesondere beim Einsatz synthetischer, zugekaufter Futterzusatzstoffe besteht ein gewisses Risiko eines eindimensionalen, reduktionistischen Ansatzes in Bezug auf die Auswirkungen der Tierhaltung auf das Klima.

3.3 Kostenbetrachtungen

Über die Kosten und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes CH_4 -mindernder Futtermittel oder Futterzusatzstoffe sind keine allgemeingültigen Aussagen möglich. Es gibt keine eindeutige wissenschaftliche Evidenz dafür, dass der Einsatz solcher Futtermittel oder Futterzusatzstoffe die Energiebilanz der Tiere und somit ihre Produktivität (z.B. Milchleistung, Tageszuwachs) steigert (Morgavi et al., 2023). Wäre jedoch eine klare Produktivitätssteigerung nachweisbar, könnte dies einen Anreiz schaffen, diese Produkte auch dann einzusetzen, wenn keine finanzielle Entschädigung für den Kauf oder die Umsetzung der Massnahme erfolgt. Die höheren Kosten, welche durch den Zukauf der CH_4 -mindernden Futtermittel oder Futterzusatzstoffe entstehen, werden deshalb nicht rein durch einen Mehrerlös durch höhere Leistungen gedeckt. Der Einsatz solcher

Produkte bedeutet somit zusätzliche Kosten für die Betriebe. In jedem Fall sollte vor der Umsetzung der Massnahme eine betriebs- und fallspezifische ökonomische Bewertung durchgeführt werden.

4. Überlegungen zum umsetzbaren Potential im Kanton Graubünden

Der Einsatz von Futtermitteln und Futterzusätzen in der Ernährung von Wiederkäuern zur Minderung der enterischen CH_4 -Emissionen in Wiederkäuerhaltungssystemen im Kanton Graubünden kann aus verschiedenen Gründen eingeschränkt sein. Die meisten Wiederkäuer werden während der Vegetationsperiode zumindest einen Teil des Tages auf der Weide gehalten. Gesömmerte Tiere sind meist ganztags auf der Weide und bekommen nur eine beschränkte Menge an Ergänzungsfutter beim Melken. Die Wirksamkeit von CH_4 -mindernden Futtermitteln und Futterzusätzen während der Weidezeit ist noch nicht ausreichend erforscht. Darüber hinaus bewirtschaften etwa 60 % der Betriebe nach den Richtlinien der biologischen Landwirtschaft, was die Verwendung synthetischer Futterzusätze einschränkt. Die einzige Möglichkeit, weidende Tiere mit CH_4 -mindernden Futtermitteln oder Futterzusätzen zu versorgen, besteht derzeit darin, Futterpflanzen zu etablieren oder zu fördern, die CH_4 -mindernden Verbindungen (z.B. Tannine) enthalten. Dementsprechend könnte die Förderung von Futterpflanzen mit einer CH_4 -mindernden Wirkung im Natur- oder Kunstfutterbau (auf bereits bestehenden Futterbauflächen) für den Kanton Graubünden eine interessante Option sein. Jedoch ist der Nachweis der Wirksamkeit dieser Futterpflanzen noch nicht abschliessend erbracht.

Aufgrund der grossen Unsicherheiten bei den meisten Futtermittel oder Futterzusätzen wird hier eine Potenzialabschätzung nur für 3-NOP vorgenommen.

Annahmen 3-NOP

Für die Potenzialabschätzung wird davon ausgegangen, dass rund 60% der konventionell wirtschaftenden Betriebe 3-NOP bei ihren Milchkühen einsetzen. Es wird ausserdem angenommen, dass Milchkühe auf den Sömmerungsbetrieben kein 3-NOP erhalten. Es wird mit folgender Rationsdaten von



Pilotbetrieben gerechnet (in % Trockensubstanz): 29 % Grassilage, 29 % Maissilage, 19 % Dürrfutter, 9.1 % Kraftfutter, 4.1 % Graswürfel, 4.1 % Weizenkleie, 3.7 % Futtereiweisserbsen, 2 % Zuckerrübenmelasse. Dies ergibt eine Ration mit 38.6 % Neutral-Detergenzien-Faser und 3.6 % Rohfett. Mit diesen Rationsdaten und 3-NOP zu 80 mg 3-NOP/kg Trockensubstanz in der Gesamtration ergibt sich ein Reduktionspotenzial von -31.8 % der CH₄-Emissionen in g CH₄/Milchkuh/Tag (nach Kebreab et al. 2023), angenommen die Milchkuh wird während 245 Tagen im Jahr (einschliesslich während der Galtphase) ausschliesslich mit der Ration gefüttert. Zudem wird von einer Weidedauer von rund 120 Tagen ohne Zugang zu 3-NOP ausgegangen.

Extrudierte Leinsamen

Grundsätzlich wäre für extrudierte Leinsamen eine Abschätzung ebenfalls möglich. Nach Münger et al. (2019) kann von einem Reduktionspotenzial von 7 % ausgegangen werden, wenn eine Ration mit 8.4 % extrudierten Leinsamen in der Trockensubstanz (ca. 1.6 kg extrudierten Leinsamen/Kuh/Tag) ergänzt wird. Zu beachten gilt bei extrudierten Leinsamen jedoch die beträchtliche benötigte Anbaufläche. Würden alle Milchkuhe (rund 14'700, Jahr 2022) im Kanton Graubünden während 105 Tagen im Jahr mit extrudierten Leinsamen gefüttert, wären jährlich rund 20'600 ha Ackerland (Ertrag 1.2 dt TS Leinsamen/ha) für den Anbau notwendig (Dittmann und Leiber, 2024). Deshalb wurde von einer Berechnung des Potenzials abgesehen.

4.1 Erfahrungen aus den Pilotprojekten

Im Rahmen der Pilotprojekte setzten 3 Milchviehbetriebe einen Futterzusatz aus der Kategorie der Hemmstoffe (3-NOP) und 1 Milchviehbetrieb extrudierte Leinsamen ein. Ein Monitoring der Auswirkungen des Einsatzes dieser Futtermittel bzw. Futterzusatzstoffe war im Rahmen der Pilotprojekte nicht möglich, da die Massnahmen bereits seit längerer Zeit umgesetzt wurden, bzw. ein wissenschaftlich fundierter Vergleich mit der Situation vor Umsetzung der Massnahmen/ohne Einsatz des Futtermittels bzw. Futterzusatzstoffes nicht möglich war. Dennoch lieferten die Pilotprojekte wertvolle Hinweise für die praktische Umsetzung der genannten Fütterungsmassnahmen.

Voraussetzungen und Vorgehen beim Einsatz von extrudierten Leinsamen in der Praxis:

- Überprüfen der Möglichkeit, ob extrudierte Leinsaat auf dem Betrieb eingesetzt werden darf: Produziert der Betrieb unter einer bestimmten Richtlinie, Label, Gütesiegel? Lassen die Produktionsrichtlinien das Produkt zu?
- Betriebseigenes Futter (Dürrfutter, Silage) mindestens jährlich analysieren und Nährwerte bestimmen.
- Zuerst mit dem betriebseigenen Futter eine ausgeglichene Grundration gestalten. Dann die folgende Frage beantworten: Braucht es ein energie- und fettreiches Futter wie die extrudierten Leinsamen, um die Ration auszugleichen? Wenn ja, Ration mit den extrudierten Leinsamen ausgleichen und dabei die empfohlene Menge an extrudierten Leinsamen einsetzen und nicht überschreiten.
- Angesichts der Eigenschaften von extrudierten Leinsamen sollte der Einsatz in Milchviehrationen vor allem im ersten Drittel der Laktation (d.h. bis ca. 105 Tage in der Laktation) in Betracht gezogen werden.
- Die Anweisungen der Futtermittelhersteller zur Lagerung und Haltbarkeit von extrudiertem Leinsamen sind zu befolgen. Extrudierte Leinsamen sind oxidationsempfindlich und können bei längerer Lagerung ranzig werden.
- Eine CH₄-mindernde Wirkung ist ab 50 g Rohfett / kg Trockensubstanz in der Ration zu erwarten. Ein Rohfettgehalt in der Ration > 65 g/kg Trockensubstanz geht mit einer verminderten Verdaulichkeit der Gesamtration einher. Es bedarf deshalb einer genauen Rationsberechnung.
- Eine wirtschaftliche Bewertung für den einzelnen Betrieb sollte gemacht werden, um zu entscheiden, ob sich der Einsatz von extrudierten Leinsamen lohnt.

Voraussetzungen und Vorgehen beim Einsatz von 3-Nitrooxypropanol (3-NOP) in der Praxis:



- Überprüfen der Möglichkeit, ob 3-NOP auf dem Betrieb eingesetzt werden darf: Produziert der Betrieb unter einer bestimmten Richtlinie, Label, Gütesiegel? Lassen die Produktionsrichtlinien das Produkt zu?
- Voraussetzung für einen wirksamen Einsatz von 3-NOP ist die Verfütterung einer Gesamt- oder Teilmischration. Alternative Verabreichungsformen (inklusive mehrmalige Gabe des Prämix über die Ration oder Verabreichung über den Kraftfutterautomat) gibt es bisher noch nicht oder ihre Wirksamkeit ist noch nicht ausreichend beschrieben (Stand November 2025). Herstellerangaben zur Lagerung, Haltbarkeit, Dosierung und Verabreichungsform von 3-NOP in der Mischration einhalten.
- Für die Vorbereitung und Verfütterung einer Mischration benötigt der Betrieb einen Mischer oder einen Mischwagen.
- Betriebseigenes Futter mindestens jährlich analysieren und Nährwert bestimmen.
- Fütterungsplan (Mischration und Ergänzungsfütterung) erstellen und einhalten.
- Die CH₄-senkende Wirkung lässt 3 Stunden nach der letzten Verabreichung/Einnahme des Stoffes durch das Tier nach. Beim Errechnen des Minderungspotenzial können nur die 3 Stunden nach der letzten Aufnahme des Produktes durch das Tier angerechnet werden.
- Das technische Minderungspotenzial von 3-NOP hängt unter anderem vom Anteil an Rohfasern und Rohfett in der Mischration ab. Um ein betriebsspezifisches Minderungspotenzial abschätzen zu können, braucht es mindestens diese zwei Angaben zur Gesamtration.
- Eine wirtschaftliche Bewertung für den einzelnen Betrieb sollte gemacht werden, um zu entscheiden, ob sich der Einsatz von 3-NOP lohnt.

5. Förderung und Überwachung

5.1 Monitoring, Reporting and Verifikation

Die Kriterien zur Überwachung, Berichterstattung und Überprüfung der Minderungswirkung von Futtermitteln und Futterzusatzstoffen hängt von den jeweiligen Strategien ab. Die Messung von CH₄-Emissionen auf Praxisbetrieben ist nach aktuellem Stand der Technik ungenau und teuer. In der Praxis können die CH₄-Emissionen von Wiederkäuern mit empirischen Modellen abgeschätzt werden (Hristov et al., 2018; Niu et al., 2018) basierend auf Faktoren wie Tierart, Tiergewicht, Leistungsniveau (Milchleistung, Tageszunahme), Futteraufnahme und Verdaulichkeit der Rationen. Die Futteraufnahme und die Verdaulichkeit der Ration können anhand der Zusammensetzung der Ration und der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Rationskomponenten (Weender-Analyse) geschätzt werden. Alternative Methoden zur Schätzung der CH₄-Emissionen umfassen das Fettsäureprofil des Milchfettes (van Gastelen et al., 2016) und die mittlere Infrarotspektroskopie (MIR) der Milch (z.B. Vanlierde et al., 2015; Denninger et al., 2020) oder

des Kots (z.B. González et al., 2014). Insbesondere die Methoden, die auf MIR-Spektroskopie der Milch beruhen, werden als die praktikabelsten angesehen, da individuelle Milchproben von Milchvieh monatlich im Rahmen der Milchleistungsprüfung durch die Zuchtverbände gesammelt werden und bereits anhand dieser Methode analysiert werden. Diese Methoden sind allerdings noch nicht praxisreif. Die Eignung der Schätzmethode muss für das jeweilige Produktionssystem mit tatsächlichen Messungen überprüft und validiert werden, um unter den unterschiedlichen Bedingungen der einzelnen Betriebe aussagekräftige Daten zu erhalten. Bei der Verwendung von Futterzusätzen sollten Art, Häufigkeit und Dosierung bekannt sein. Grundsätzlich kann die Wirkung verschiedener Zusätze nicht addiert werden. Eventuelle Interaktionen zwischen verschiedenen Zusätzen, die noch wissenschaftlich zu untersuchen sind, müssen berücksichtigt werden. Nationale und internationalen Standards zur Berichterstattung von THG-Emissionen (bzgl. Metrik, Zeitrahmen) müssen eingehalten werden.



5.2 Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente

Bisher wird vom Bundesamt für Umwelt kein Kompensationsprogramm (Stand November 2025) für Massnahmen zur Minderung von enterischen CH₄-Emissionen aus den Wiederkäuern anerkannt (<https://www.carbonoffset.admin.ch/de/registrierte-projekte-im-inland>). Es gibt einzelne private Programme z.B. von Milchproduzentenorganisationen in Kooperation mit verschiedenen Futtermittelherstellern. Auf dem Futtermittelmarkt sind verschiedene Futtermittel, teils mit bereits zugemischten Futterzusätzen erhältlich. Während ein hochwirksamer Futterzusatzstoff wohl zeitnah über Förderprogramme entgolten werden könnte (3-NOP), wären andere Futterzusätze und andere fütterungsbezogenen Massnahmen (z.B. Etablierung oder Förderung tanninhaltige Futterpflanzen im Natur- und Kunstfuterbau) auf weitere Forschung und Fördermittel angewiesen.

6. Fazit und Empfehlung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass CH₄-senkende Futtermittel und Futterzusatzstoffe eine Möglichkeit darstellen, die enterischen CH₄-Emissionen zu

reduzieren. Die aktuell als wirksam eingestuften Futtermittel und Futterzusatzstoffe sind begrenzt und deren Emissionsminderungspotenzial wird durch verschiedene Rahmenbedingungen limitiert.

Ihr Einsatz in grossem Massstab in der Schweiz und im Kanton Graubünden erfordert weitere Forschung und Beratung, sei es auf der Ebene des Produktionssystems (grasland- und weidebasierte Haltungssysteme, Sömmerungsbetriebe) oder auf der Ebene der Risiken.

Die Futtermittel und Futterzusatzstoffe müssen sorgfältig dosiert werden, um eine signifikante Reduktion der CH₄-Emissionen zu erreichen, ohne die Leistung der Tiere zu beeinträchtigen. Fachkompetente, unabhängige Fütterungsberatung ist daher beim Einsatz solcher Zusätze nötig.

Dieser Ansatz zur Reduktion der CH₄-Emissionen aus der Wiederkäuerhaltung muss Teil einer Gesamtstrategie auf Betriebsebene sein und muss mit anderen direkten und indirekten Massnahmen zur Minderung der CH₄-Emissionen kombiniert werden (siehe weitere Faktenblätter zur Tierhaltung).



7. Literatur

- Schweiz. Bundesrat. (1997). Verordnung über die biologische Landwirtschaft und die Kennzeichnung biologisch produzierter Erzeugnisse und Lebensmittel (Bio-Verordnung). (SR 910.18).
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1997/2498_2498_2498/de
- Benchaar, C., & Greathead, H. (2011). Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 338-355.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024>
- Birkinshaw, A., Kreuzer, M., Sutter, M., Reidy, B., & Terranova, M. (2022). Effects of early herbage cutting and vine leaves on methane emission, urine nitrogen losses, and the milk fatty acid profile of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(9), 7416-7431. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21458>
- Chen, S., Rotaru, A.-E., Shrestha, P. M., Malvankar, N. S., Liu, F., Fan, W., Nevin, K. P., & Lovley, D. R. (2014). Promoting Interspecies Electron Transfer with Biochar. *Scientific Reports*, 4(1), 5019.
<https://doi.org/10.1038/srep05019>
- Denninger, T. M., Schwarm, A., Birkinshaw, A., Terranova, M., Dohme-Meier, F., Mürger, A., Eggerschwiler, L., Bapst, B., Wegmann, S., Clauss, M., & Kreuzer, M. (2020). Immediate effect of Acacia mearnsii tannins on methane emissions and milk fatty acid profiles of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 261, 114388. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114388>
- Denninger, T. M., Schwarm, A., Dohme-Meier, F., Munger, A., Bapst, B., Wegmann, S., Grandl, F., Vanlierde, A., Sorg, D., Ortmann, S., Clauss, M., & Kreuzer, M. (2020). Accuracy of methane emissions predicted from milk mid-infrared spectra and measured by laser methane detectors in Brown Swiss dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 2024-2039. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17101>
- Dittmann, M. T., Baki, C., Terranova, M., Amelchanka, S. L., Dubois, S., Wiget, A., Leiber, F., Krause, H.-M., & Baumann, S. (2024). The effect of biochar supplementation on feed utilization, milk production and methane emission in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 116127.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116127>
- Dittmann, M. T., & Leiber, F. (2024). Effect size and land-requirements of plant-based feeding interventions to reduce methane emissions from cattle and sheep in European subalpine regions. *Animal Feed Science and Technology*, 308, 115884. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115884>
- Duin, E. C., Wagner, T., Shima, S., Prakash, D., Cronin, B., Yáñez-Ruiz, D. R., Duval, S., Rümblei, R., Stemmler, R. T., Thauer, R. K., & Kindermann, M. (2016). Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(22), 6172-6177.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1600298113>
- FAO (2020). Environmental performance of feed additives in livestock supply chains – Guidelines for assessment – Version 1. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership (FAO LEAP). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9744en>
- González, L.A., Charmley, E., Henry, B.K. (2014) Modelling methane emissions from remotely collected liveweight data and faecal near-infrared spectroscopy in beef cattle. *Animal Production Science*, 54:1980-1987.
<https://doi.org/10.1071/AN14615>
- Hegarty, R. S., Passetti, R. A. C., Dittmer, K. M., Wang, Y., Shelton, S., Emmet-Booth, J., Wollenberg, E., McAllister, T., Leahy, S., Beauchemin, K., & Gurwick, N. (2021). *An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock* (Edition 1). CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC), Global Research Alliance (GRA). <https://hdl.handle.net/10568/116489>



- Hoffmann, M., Zupanec, M., Lohmann, M., Böhl, G.-F., Pieper, R., & Mander A. (2024). How do we feed our livestock? Knowledge, perceptions and informational needs of the public and farmers in Germany. *Frontiers in Animal Science*, <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1473036>
- Hristov, A. N., Kebreab, E., Niu, M., Oh, J., Bannink, A., Bayat, A. R., Boland, T. M., Brito, A. F., Casper, D. P., Crompton, L. A., Dijkstra, J., Eugène, M., Garnsworthy, P. C., Haque, N., Hellwing, A. L. F., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lund, P., . . . Yu, Z. (2018). Symposium review: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *Journal of Dairy Science*, *101*(7), 6655-6674. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13536>
- Hristov, A. N., Melgar, A., Wasson, D. E., & Arndt, C. (2022). Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *105*, 14.
- Islam, M.Z., Räisänen, S.E., He, T., Li, Y., Ma, X., Serviento, A.M., Wang, K., Wang, M., Zeng, Z., & Niu, M. (2024) Divergent effects of 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions in Holstein and Brown Swiss cows, and its lack of synergy with *Acacia mearnsii* tannin extract. *bioRxiv* 2024.11.24.625036. <https://doi.org/10.1101/2024.11.24.625036>
- Jayanegara, A., Leiber, F., & Kreuzer, M. (2012). Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *96*(3), 365-375. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x>
- Jayanegara, A., Wina, E., & Takahashi, J. (2014). Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *27*(10), 1426.
- Jenkins, T.C. (1993). Lipid Metabolism in the Rumen. *Journal of Dairy Science*, *76*, 3851-3863
- Kebreab, E., Bannink, A., Pressman, E. M., Walker, N., Karagiannis, A., van Gastelen, S., & Dijkstra, J. (2023). A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 106,927-936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- Lazzari, G., Münger, A., Eggerschwiler, L., Borda-Molina, D., Seifert, J., Camarinha-Silva, A., Schrade, S., Zähler, M., Zeyer, K., Kreuzer, M., & Dohme-Meier, F. (2023). Effects of *Acacia mearnsii* added to silages differing in nutrient composition and condensed tannins on ruminal and manure-derived methane emissions of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *106*(10), 6816-6833. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22901>
- Lazzari, G., Münger, A., Heimo, D., Seifert, J., Camarinha-Silva, A., Borda-Molina, D., Zähler, M., Schrade, S., Kreuzer, M., & Dohme-Meier, F. (2023). Effects of tanniferous sainfoin and *Acacia mearnsii* extract on urinary N excretion and ammonia volatilization from the slurry of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, *297*, 115577. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115577>
- Lind, V., Sizmaz, Ö., Demirtas, A., Sudagidan, M., Weldon, S., Budai, A., O'toole, A., Miladinovic, D. D., & Jorgensen, G. M. (2024). Biochar effect on sheep feed intake, growth rate and ruminant in vitro and in vivo methane production. *Animal*, *18*(6), 101195. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101195>
- Ma, X., Räisänen, S.E., Garcia-Ascolani, M.E., Bobkov, M., He, T., Islam, M. Z., Li, Y., Peng, R., Reichenbach, M., Serviento, A. M., Soussan, E., Sun, X., Wang, K., Yang, S., Zeng, Z., & Niu, M. (2024). Effects of 3-nitrooxypropanol (Bovaer10) and whole cottonseed on milk production and enteric methane emissions from dairy cows under Swiss management conditions. *Journal of Dairy Science*, *107*(9), 6817-6833. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24460>
- Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.-K., Yohe, G.W., & Zwiers, F.W. (2010). Guidance note for lead authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. <http://www.ipcc-wg2.gov/meetings/CGCs/index.html#UR>
- Morgavi, D.P., Cantalapiedra-Hijar, G., Eugène, M., Martin, C., Nozière, P., Popova, M., Ortigues-Marty, I., Muñoz-Tamayo R., & Ungerfeld, E.M. (2023). Review: Reducing enteric methane emissions improves energy



- metabolism in livestock: is the tenet right? *Animal* 17,100830.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100830>
- Münger, A., Eggerschwiler, L., Silacci, P., & Dohme-Meier, F. (2019). Methanemissionen von Milchkühen: Einfluss von Ölsaaten im Futter. *Agrarforschung Schweiz*, 10(2), 74-79.
- Münger, A., Eggerschwiler, L., & Dohme-Meier, F. (2023). Methanabgabe und N-Umsatz von Milchkühen bei Frischfütterung von Esparsette oder Klee gras. *Agrarforschung Schweiz*, 14:96-103.
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A.N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A.R., Brito, A.F., Boland, T., Casper, D., Crompton, L.A., Dijkstra, J., Eugène, M.A., Garnsworthy, P.C., Haque, M.N., Hellwing, A.L.F., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Kuhla, B., ..., & Yu Z. (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology* 24:3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Patra, K. P. (2013). The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. *Livestock Science* 155, 244-254.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.023>
- Poteko, J., Schrade, S., Zeyer, K., Mohn, J., Zaehner, M., Zeitz, J. O., Kreuzer, M., & Schwarm, A. (2020). Methane Emissions and Milk Fatty Acid Profiles in Dairy Cows Fed Linseed, Measured at the Group Level in a Naturally Ventilated Housing and Individually in Respiration Chambers. *Animals*, 10(6), 1091.
<https://www.mdpi.com/2076-2615/10/6/1091>
- Reiche, A.-M., Sizzano, F., Siegenthaler, R., Eggerschwiler, L., & Dohme-Meier, F. (2025). Long-term effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, fecal bacteria and blood immune cells in dairy cows. Proceedings of the 76th EAAP Annual meeting, Innsbruck, Austria, p. 143.
- Schilde, M., von Soosten, D., Hüther, L., Meyer, U., Zeyner, A., & Dänicke S. (2021). Effects of 3-nitrooxypropanol and varying concentrate feed proportions in the ration on methane emission, rumen fermentation and performance of periparturient dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*, 75, 79-104.
<https://doi.org/10.1080/1745039X.2021.1877986>
- Simmons, A. T., Cowie, A. L., Meyer, R. S., Grant, T., Nielsen, S. V., Macdonald, A., Eady, S., Cheng, L., & Eckard, R. (2025). Protocol for including mitigation actions in agricultural life cycle assessment (MiLCA). MiLCA Project Partners. <https://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2025/07/MiLCA.pdf>
- Staerfl, S. M., Zeitz, J. O., Kreuzer, M., & Soliva, C. R. (2012). Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 111-120.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.003>
- Terranova, M., Eggerschwiler, L., Ortmann, S., Clauss, M., Kreuzer, M., & Schwarm, A. (2021). Increasing the proportion of hazel leaves in the diet of dairy cows reduced methane yield and excretion of nitrogen in volatile form, but not milk yield. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114790.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114790>
- Vanlierde, A., Vanrobays, M.-L., Dehareng, F., Froidmont, E., Soyeurt, H., McParland, S., Lewis, E., Deighton, M.H., Grandl, F., Kreuzer, M., Gredler, B., Dardenne, P., & Gengler N. (2015). Hot topic: Innovative lactation-stage-dependent prediction of methane emissions from milk mid-infrared spectra. *Journal of Dairy Science* 98, 5740-5747. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8436>
- van Gastelen, S., & Dijkstra J. (2016). Prediction of methane emission from lactating dairy cows using milk fatty acids and mid-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 3963-3968.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.7718>
- Wang, S., Terranova, M., Kreuzer, M., Marquardt, S., Eggerschwiler, L., & Schwarm, A. (2018). Supplementation of pelleted hazel (*Corylus avellana*) leaves decreases methane and urinary nitrogen emissions by sheep at unchanged forage intake. *Scientific Reports*, 6,1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23572-3>