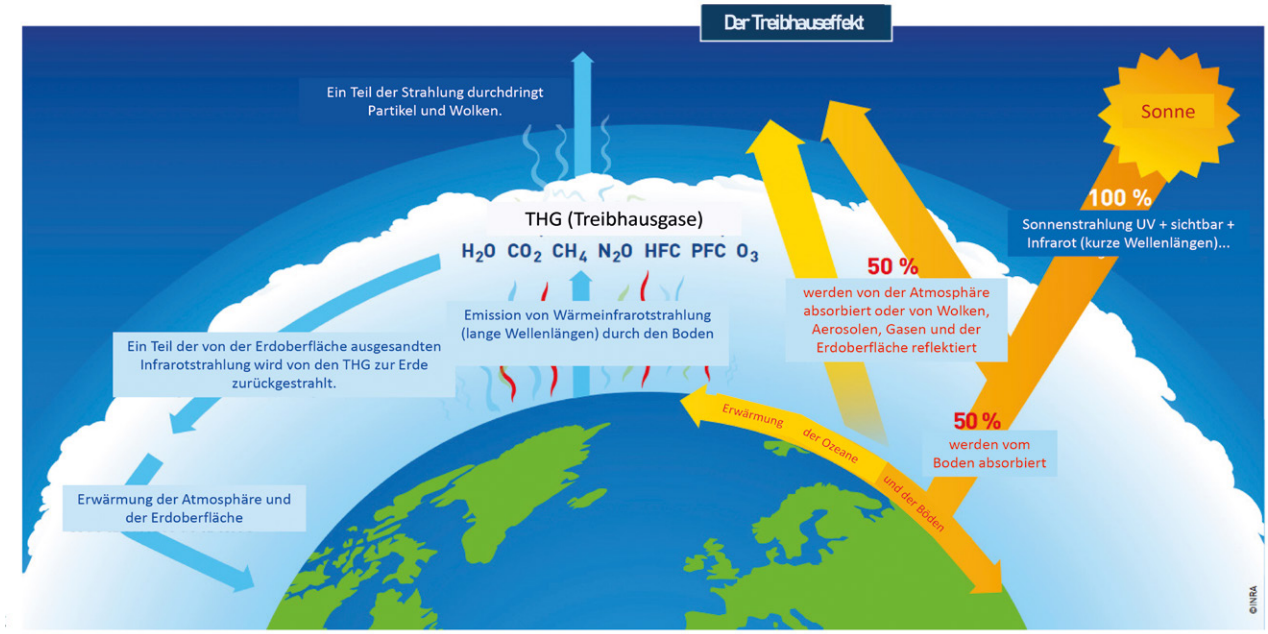
Einzelbetriebliche Klimabilanzierung und handlungsmöglichkeiten zur Verringerung der landwirtschaftlichen Emissionen

Klimawandel und Treibhausgase (THG)

Die Atmosphäre kann man sich wie die Wände eines Gewächshauses vorstellen. Ohne Wolken lässt sie den grössten Teil der Sonnenstrahlen durch, hält jedoch die vom Boden ausgehenden Infrarotstrahlen zurück. Dies geschieht vor allem durch die sogenannten **Treibhausgase** wie Wasserdampf und CO_2, die natürlich in der Atmosphäre vorhanden sind. Ohne diesen Treibhauseffekt würde die Erde eine Durchschnittstemperatur von –18 °C haben. Dieses **natürliche Phänomen** ist von entscheidender Bedeutung für die Erhaltung und Entwicklung des Lebens.

Seit dem Industriezeitalter verbraucht der Mensch fossile Brennstoffe wie Gas, Kohle und Öl und verstärkt dadurch den Treibhauseffekt durch den Ausstoss grosser Mengen an Treibhausgasen. Fossile Brennstoffe tragen mit Abstand am meisten zum globalen Klimawandel bei: Sie sind für mehr als 75 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen und für fast 90 Prozent aller Kohlendioxidemissionen verantwortlich (Vereinte Nationen). Gleichzeitig hat die Entwaldung stark zur Zerstörung von Kohlenstoffsenken beigetragen, die für ein gewisses Klimagleichgewicht sorgen. Die Veränderung der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten führt zu einem **zusätzlichen Treibhauseffekt**. Dadurch erwärmt sich die Erde global und das Klimasystem verändert sich (Abbildung 1).

Abbildung 1: Erklärungsschema des Treibhauseffekts (übersetzt von INRA, 2015).



Nach dem Zweiten Weltkrieg stieg die Nachfrage nach Nahrungsmitteln stark an. Dadurch wurde die landwirtschaftliche Produktion intensiviert, was grundlegende Auswirkungen auf die Stickstoff- und Kohlenstoffkreisläufe hatte. Es wurden Verbrennungsmotoren eingesetzt, mineralische Düngemittel verwendet, Kraftfutter importiert und landwirtschaftliche Gebäude beheizt. Die Landwirtschaft, insbesondere die Viehzucht, setzt durch die Öffnung von Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufen Treibhausgase frei. Diese Gase, darunter **Kohlendioxid** (CO_2), **Methan** (CH_4) und **Distickstoffmonoxid oder Lachgas** (N_2O), verstärken den Treibhauseffekt.

Neben Treibhausgasen emittiert die Landwirtschaft auch **atmosphärische Partikel**. Diese bestehen aus festen und/oder flüssigen Schadstoffen, die in der Luft schweben. Auch Vorläuferstoffe wie **Ammoniak** (NH_3) sind beteiligt. Die entstehenden Feinstaubpartikel können die Luftqualität beeinträchtigen und Gesundheitsprobleme verursachen. Die **übermäßige Ablagerung von Ammoniak** in der Umwelt kann zu einer **Versauerung** und **Eutrophierung** der Umwelt führen. Ein Teil der Ammoniakemissionen wird in Distickstoffoxid (N_2O) umgewandelt.

Abbildung 2: Hauptquellen der Emissionen von Treibhausgasen, Ammoniak und Feinstaub.

THG CO_2 - Kohlendioxid	THG CH_4 - Methan	THG N_2O - Lachgas	Kein THG NH_3 - Ammoniak & *Feinstaub*
• **Direkter Energieverbrauch** (Treibstoff, Strom) • **Indirekter Energieverbrauch im Zusammenhang mit Inputs** (Herstellung und Transport von Düngemitteln, Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Stroh usw.)	• **Verdauungsprozess der Wiederkäuer** (enterische Fermentation) • **Management von Hofdüngern** (Gebäude, Lagerung, Weide)	• **Management von Hofdüngern** (Gebäude, Lagerung, Weide) • **Mineral.- und organische Düngung** • **Bodenbezogene Emissionen** (Auswaschung von Stickstoff, Ammoniak Emissionen usw.).	• **Management von Hofdüngern** (Gebäude, Lagerung, Weide) • **Mineral.- und organische Düngung** • ***Bodenbearbeitung, Ernte*** • ***Einsatz von Landmaschinen*** • ***Trocknung und Lagerung***

In der Schweiz trug die Landwirtschaft im Jahr 2021 zu über 80 % der nationalen CH_4-Emissionen, etwa 57 % der N_2O-Emissionen und 94 % der NH_3-Emissionen bei (BAFU, 2023).

Bilanzierung von Treibhausgasen und CO_2-Äquivalenten

Die verschiedenen Treibhausgase unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit, Energie aufzunehmen, und ihrer **Lebensdauer** in der Atmosphäre. Um die Beiträge verschiedener Treibhausgase zur globalen Erwärmung über einen bestimmten Zeitraum hinweg vergleichen zu können, wurde eine Vergleichseinheit geschaffen: das globale **Erderwärmungspotenzial (GWP)** (Abbildung 3).

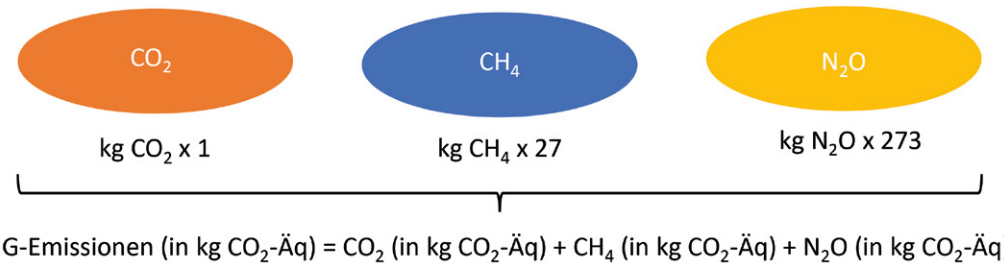
Abbildung 3: Globales Erwärmungspotenzial und durchschnittliche Lebensdauer in der Atmosphäre (IPCC, 2021; GES'TIM+, 2020).

	CO_2 Kohlendioxid	CH_4 Methan (nicht fossiles)	N_2O Lachgas
Lebensdauer in der Atmosphäre	• **< 500 Jahre**	• **12 Jahre**	• **109 Jahre**
GWP über einen Zeitraum von 100 Jahren	• **1**	• **27**	• **273**

Über einen Zeitraum von 100 Jahren hat ein CH_4-Molekül eine 27-mal höhere Erwärmungsleistung als ein CO_2-Molekül und ein N_2O-Molekül eine 273-mal höhere Erwärmungsleistung als ein CO_2-Molekül.

Das **CO_2-Äquivalent** ist eine Einheit, mit der man die Auswirkungen verschiedener Treibhausgase vergleichen kann. So kann man ihre Emissionen zusammenfassen. Die Emissionen in CO_2 Äquivalenten erhält man, indem man die Emissionen eines THG mit seinem Treibhauspotenzial (GWP) für den jeweiligen Zeithorizont multipliziert (Abbildung 4).

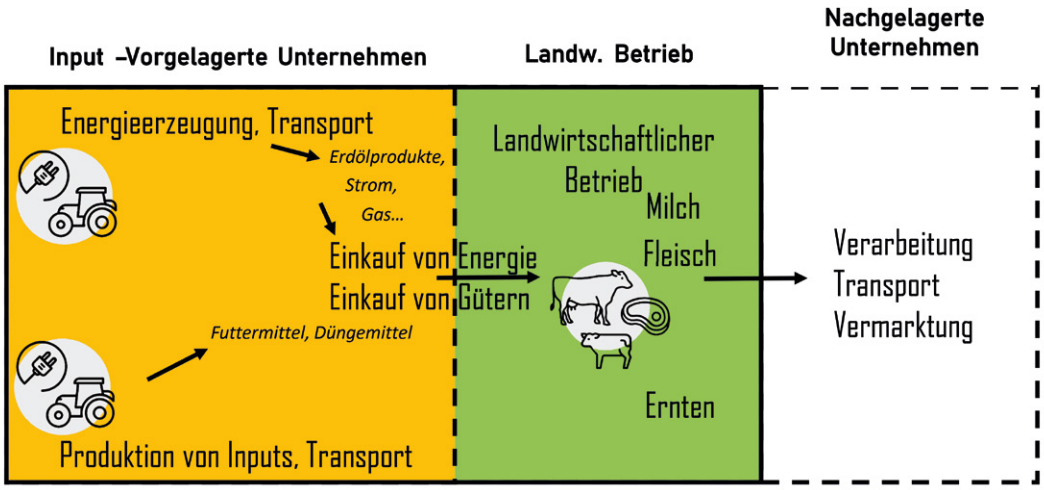
Abbildung 4: Prinzipien zur Berechnung von Emissionen in CO2-Äquivalenten bei einer THG-Bilanzierung in der Tierhaltung.



Zur Veranschaulichung: Ein Auto mit Verbrennungsmotor stösst alle 4600 km **eine Tonne CO_2-Äquivalent** aus (ADEME).

Ziel der THG-Bilanzierung eines landwirtschaftlichen Betriebs ist es, die THG-Emissionen in CO_2-Äquivalenten zu berechnen und sich dabei auf den Umfang der landwirtschaftlichen Aktivitäten zu beschränken. Bei einer Bilanzierung werden alle Prozesse berücksichtigt, die für **die Produktion von landwirtschaftlichen Erzeugnissen in einem Bereich** notwendig sind. Dieser Bereich umfasst die vorgelagerten Bereiche und den landwirtschaftlichen Betrieb bis zum Hoftor (Institut de l'élevage, 2022). Nachgeschaltete Aktivitäten werden dabei nicht berücksichtigt (Abbildung 5).

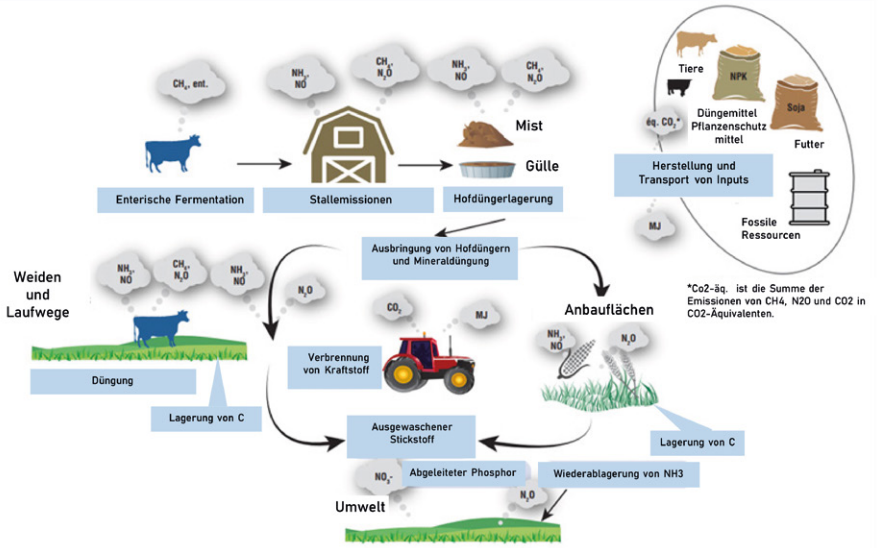
Abbildung 5: Systemgrenze für die THG-Bilanzierung eines landwirtschaftlichen Betriebs (nach Institut de l'élevage, 2022).



Sowohl direkte als auch indirekte Emissionen können aus verschiedenen Quellen stammen (Institut de l'élevage, 2022) (Abbildung 6):

- Bei der Tierhaltung entstehen enterische Emissionen sowie Emissionen im Zusammenhang mit Ausscheidungen, Stallhaltung, Lagerung und Behandlung von Hofdüngern sowie beim Weiden.
- Bei Nutzpflanzen und Grünland sind die Auswirkungen der Düngung sowie die verzögerten Effekte der Wiederablagerung von verflüchtigtem und ausgewaschenem Stickstoff sowie die Kohlenstoffbindung im Boden und in der Biomasse zu berücksichtigen.
- Es ist wichtig, auch die Emissionen, die durch die Verbrennung von fossilen Brenn- und Treibstoffen entstehen, zu berücksichtigen.

Abbildung 6: Die Umweltauswirkungen auf einem landwirtschaftlichen Betrieb lassen sich in verschiedene Emissionskategorien unterteilen. (Institut de l'élevage, 2022).

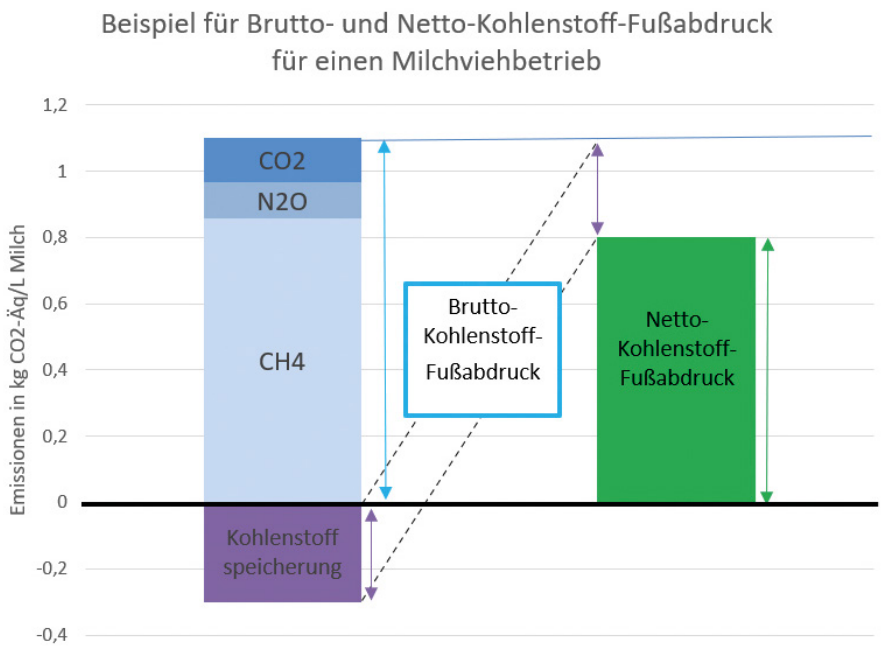


Bei einer THG-Bilanzierung in der Tierhaltung können zwei Kohlenstoff-Fussabdrücke berechnet werden:

- Der **Brutto-Kohlenstoff-Fussabdruck**, der nur die Emissionen berücksichtigt;
- Der **Netto-Kohlenstoff-Fussabdruck**, der vom Brutto-Kohlenstoff-Fussabdruck die Menge an CO_2 abzieht, die dank des Betriebs gespeichert wurde (durch Hecken, Wiesen usw.).

Der CO_2-Fussabdruck kann auf verschiedene Weise ausgedrückt werden, zum Beispiel **pro Liter Milch** (Abbildung 7) oder **pro Kilogramm produziertem Fleisch**. Auch eine Angabe **pro Hektar** landwirtschaftlicher Fläche ist möglich. Es ist wichtig, diese Fussabdrücke parallel zu betrachten, da eine Verbesserung des einen Fussabdrucks auf Kosten des anderen gehen kann.

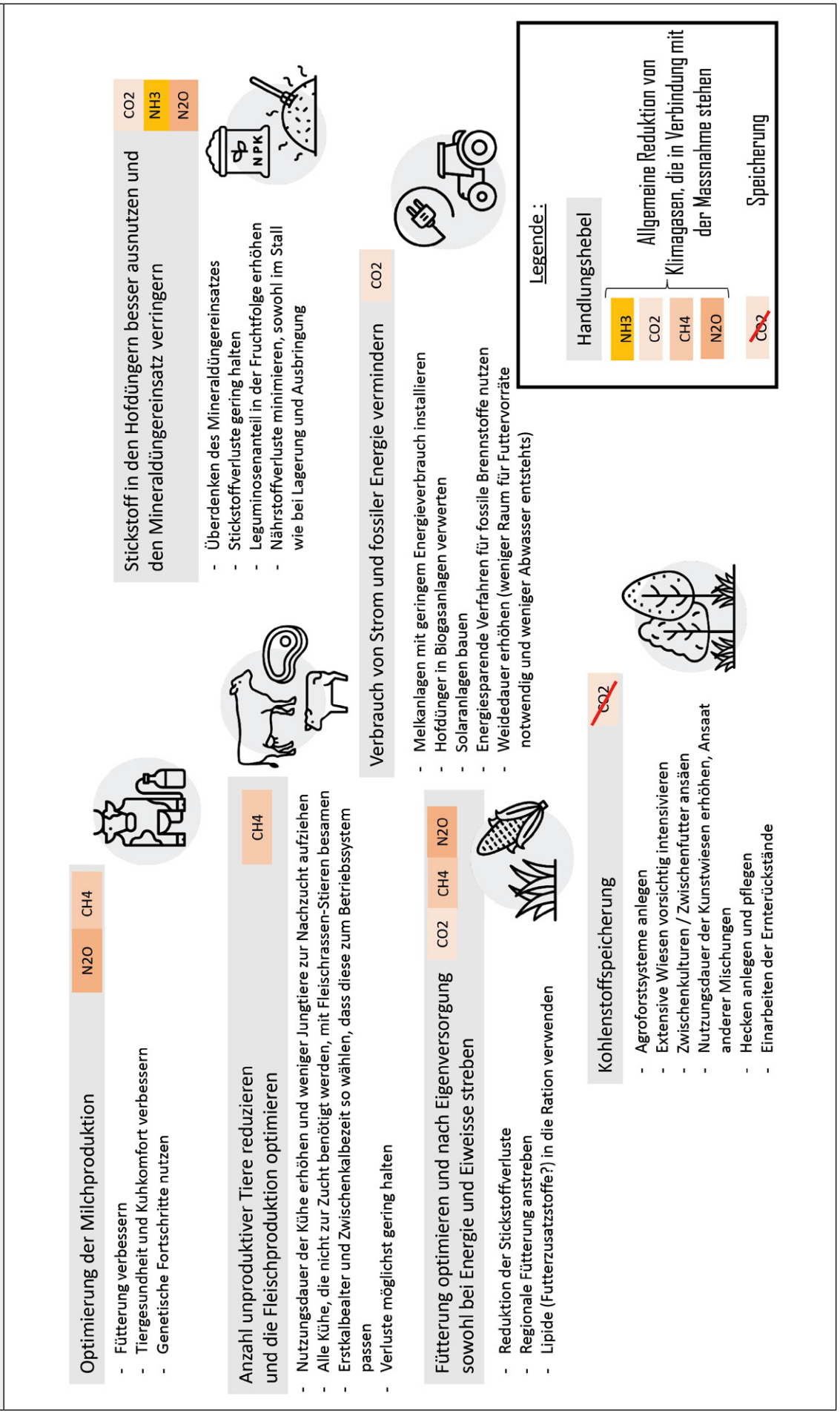
Abbildung 7: Beispiel für Brutto- und Netto-Kohlenstoff-Fussabdruck für einen Milchviehbetrieb.



Im weiteren Verlauf dieses Themenblatts werden **die Massnahmen zur Emissionsminderung** in Rinderhaltungsbetrieben spezifischer behandelt. Viele dieser Massnahmen sind jedoch auch in Betrieben mit kleinen Wiederkäuern anwendbar.

Das Schema (Abbildung 8) zeigt die verschiedenen Massnahmen zur Reduzierung des CO_2-Fussabdrucks von Milch und Fleisch, die in diesem Factsheet genannt werden. Jede der grau unterlegten Überschriften entspricht einem Ziel, das mit verschiedenen Massnahmen verknüpft ist. Jede dieser Massnahmen wirkt sich auf ein oder mehrere Treibhausgase (CO_2, CH_4, N_2O) und/oder auf Ammoniak (NH_3) aus.

Abbildung 8: Massnahmen zur Reduzierung des CO2-Fussabdrucks von Milch und Fleisch.



Massnahme zur Verbesserung des CO_2-Fussabdrucks von Milch oder Fleisch

Der Brutto-Kohlenstoff-Fussabdruck pro produziertem Liter Milch kann bei Milchviehbetrieben verringert werden. Dazu kann entweder die Gesamtemissionen des Betriebs bei gleichbleibender Milchmenge reduziert oder die Milchproduktion bei gleichbleibenden Emissionen erhöht werden. Bei Milch- und Mutterkuhbetrieben kann der Brutto-Kohlenstoff-Fussabdruck pro Kilogramm produziertem Fleisch durch eine Verringerung der Gesamtemissionen des Betriebs bei gleichbleibender Fleischmenge oder durch eine Erhöhung der Fleischproduktion bei gleichbleibenden Emissionen reduziert werden (Abbildung 9).

Abbildung 9: Berechnung der Brutto-Kohlenstoff-Fussabdrücke von Milch und Fleisch und allgemeine Massnahmen zu deren Reduzierung.

$$Brutto - Kohlenstoff - Fußabdruck\ von\ Milch \downarrow = \frac{THG - Emissionen \downarrow}{Anzahl\ der\ produzierten\ Liter\ Milch \uparrow}$$

$$Brutto - Kohlenstoff - Fußabdruck\ von\ Fleisch \downarrow = \frac{THG - Emissionen \downarrow}{Anzahl\ der\ kg\ produziertes\ Fleisch \uparrow}$$

$\downarrow$ Abnahme

$\uparrow$ Zunahme

Bei Milchrindern die Milchproduktion der Herde optimieren

Bis eine Kuh Milch produziert, verursacht sie Kosten für die Tierhaltung und Umweltauswirkungen- letztere vor allem in Form von Treibhausgasemissionen. Sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht ist es wünschenswert, dass diese Kosten und Umweltauswirkungen auf möglichst viele Liter Milch verteilt werden können.

Die Optimierung der Milchproduktion ist ein wichtiger Hebel zur Reduzierung des CO_2-Fussabdrucks.

Eine Optimierung der Milchproduktion kann durch Verbesserungen in den Bereichen Fütterung, Gesundheitsverhalten, Kuhkomfort und genetische Milchleistung erreicht werden.

Fütterung: Sicherstellen, dass die Kühe genug zu fressen bekommen, die Futteraufnahme durch eine aus-gewogene Energie- und Proteinration fördern, den Bedarf an Mineralien, Spurenelementen und Vitaminen decken;

Massnahmen zur Reduktion von Mastitis und Lahmheiten sollten ergriffen werden und der Stress für die Kühe sollte minimiert werden.

Verringerung der Anzahl unproduktiver Tiere und Optimierung der Fleischproduktion

Die Langlebigkeit der Kühe erhöhen und den Bestand an Nachwuchs optimieren

Bei Milchrindern hat die **Verlängerung der produktiven Lebensdauer von Milchkühen** und die Optimierung der Bestände an Nachwuchsfärsen mehrere Vorteile auf ökologischer, aber auch auf wirtschaftlicher Ebene (Python et al., 2023):

- Die Umweltauswirkungen und die Kosten der Tierhaltung werden über eine längere produktive Lebensdauer verteilt.
- Die Kühe erreichen ihr Produktionspotenzial in der Regel erst nach der fünften Laktation. Dies ergab das Projekt, Erhöhung der Nutzungsdauer Schweizer Milchkühe' (2021-2024), das von FiBL, HAFL und AGRIDEA initiiert wurde.
- Die Anzahl der Tiere für die Remontierung wird reduziert und damit sinken auch die Kosten für die Tierhaltung.

Erzeugung von Fleischkreuzungskälbern für den nicht erneuerbaren Viehbestand

In Milchviehbetrieben führt eine geringere Anzahl von Tieren für die Remontierung zu einer **effizienteren Fleischproduktion**. Alle Kälber, die nicht für die Erneuerung verwendet werden, werden systematisch mit Fleischrassenbullen besamt.

Senkung des Erstkalbealters und einheitliches Kalbungsintervall

Eine Reduktion der im Betrieb anwesenden Färsen kann durch eine **Senkung des Erstkalbealters** und das Anstreben eines **kohärenten Erstkalbealters** im eigenen System erreicht werden. Dadurch kann das Verhältnis zwischen anwesenden und produktiven Tieren verringert werden. Bei Milchvieh können dadurch die Zeiten, in denen Treibhausgase ausgestossen werden, begrenzt werden, ohne dass die Milchproduktion beeinträchtigt wird. Die Produktivität pro GVE bei Fleischrindern verbessert sich um ein Vielfaches, ausgedrückt in kg Lebendfleisch. Der Kohlenstoffausstoss einer Milchfärse kurz vor dem Kalben beträgt nach einem französischen Durchschnitt 2,8 t $CO_{2äq}$ für ein Kalben mit 24 Monaten und 6,3 t $CO_{2äq}$ für ein Kalben mit 36 Monaten. Der Kohlenstoffausstoss bei einem Kalben mit 36 Monaten ist somit 2,25-mal höher als bei einem Kalben mit 24 Monaten (GES'TIM+, 2020).

Eine **Verringerung und Aufrechterhaltung eines angemessenen Zwischenkalbezeit** (ZKZ) **bei Fleischrindern** führt zu einer höheren Lebendfleischproduktion pro GVE und einer geringeren CO_2-Bilanz. Um die Rentabilität zu gewährleisten, sollte das Ziel in Mutterkuhherden ein Kalb pro Kuh und Jahr sein (ZKZ nahe 365 Tage), unabhängig von der Rasse.

Schweizer Milchviehbetriebe sollten **die Laktationsdauer freiwillig verlängern**, um aus ökologischer Sicht die Anzahl der Kälber pro Kuh und Jahr zu reduzieren, sofern die Persistenz gut ist und die Tiere später gedeckt werden können. Die Studie, Verlängerte Laktationen - eine Option für Schweizer Milchviehbetriebe?' (2022-2024) zeigt, dass eine freiwillige Verlängerung der Rastzeit (RZ) zu einer Verringerung der Umweltauswirkungen führt, da dadurch die Anzahl der geborenen Kälber reduziert wird. Im Vergleich zu einer RZ von weniger als 90 Tagen reduziert sich der $CO_{2äq}$-Ausstoss pro Kuh und Jahr um fast 0,5 t für RZ zwischen 90 und 150 Tagen und um fast 1 t für RZ über 150 Tagen.

Die Sterblichkeit begrenzen

Die Sterblichkeitsrate von Kälbern ist bei erstgebärenden Kühen höher. Eine Erhöhung der Langlebigkeit der Kühe kann dazubeitragen, die Verluste von Kälbern zu verringern und somit die Produktivität von Lebendfleisch pro GVE zu steigern. Um die Kälbersterblichkeit zu reduzieren, sollten folgende Massnahmen ergriffen werden:

- Eine **gute Vorbereitung der trächtigen Kuh auf das Kalben** ist von grosser Bedeutung. Dazu gehört eine ausgewogene Ration ohne Mineralstoffmangel, eine angemessene Dauer des Trockenstellens, Isolierung der Kuh vor dem Kalben und verstärkte Überwachung durch den Landwirt.
- Auch eine **sorgfältige Betreuung des Kalbes in den ersten Lebenstagen** ist unerlässlich. Hierzu gehört die Verwendung von Kolostrum von guter Qualität und in ausreichender Menge, geeignete Orte, die die Übertragung von Krankheiten verhindern, sowie die Pflege der Nabelschnur.

Die Kälbersterblichkeit zu begrenzen, erfordert unter anderem eine sorgfältige Betreuung der Kälber nach der Geburt.

Optimierung der Ernährung und Streben nach Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln und Proteinen

Eine Reduzierung der Stickstoffeinträge anstreben

NH_3-Ausgasungen, N_2O-Emissionen und Nitratverluste durch Auswaschung sind auf den Abbau von Stickstoffverbindungen in Hofdüngern zurückzuführen. Der Hauptbestandteil von Hofdüngern ist Harnstoff, der leicht flüchtig ist und hauptsächlich im Urin auftritt. Der Abbau erfolgt in Verbindung mit dem von den Tieren aufgenommenen Stickstoff. Ein höherer Anteil an stickstoffhaltigem Futter führt zu einer erhöhten Ausscheidung von Stickstoff im Urin und einem entsprechend höheren Risiko von Verlusten (Decker et al., 2021). Durch **gezielte Reduzierung der Stickstoffzufuhr an das Tier** können die Stickstoffemissionen effektiv begrenzt werden. Dabei ist es wichtig, den Nährstoffbedarf des Tieres in Abhängigkeit von seinem physiologischen Stadium und Produktionsniveau genau zu berücksichtigen. Der **Harnstoffgehalt** der Milch ist ein zuverlässiger Indikator für die Stickstoffausscheidung und ermöglicht eine gezielte Anpassung der Fütterung, um Überschüsse zu vermeiden (Decker et al., 2021).

Um die Stickstoffausscheidungen bei Wiederkäuern zu reduzieren, ohne ihre Leistung zu sehr zu beeinträchtigen, ist es möglich (RMT élevage et environnement, 2019):

- **den Anteil an schwer abbaubarem Futter im Pansen zu erhöhen**, um die Proteinzufuhr direkt an das Tier zu steigern – dies kann durch die Verwendung von Proteinen geschehen, die vor dem Abbau im **Pansen** durch Mikroorganismen geschützt sind;
- **ein leichtes Defizit an abbaubaren Proteinen für die Mikroben** zu **schaffen, sodass** sie einen Teil des endogenen Harnstoffs zur Synthese ihrer Proteine recyceln. Dieser Mechanismus ist besonders umweltwirksam, da er dazu führen kann, dass die Harnstoffausscheidung des Tieres sehr stark reduziert wird.

Mithilfe der Futteranalyse kann die Menge an Kraftfutter in der Ration an die Bedürfnisse des Tieres angepasst werden.

Tannine reduzieren die Stickstoffausscheidung im Urin und den Harnstoffgehalt der Milch, ohne die Milchleistung und deren Gehalt zu beeinflussen (Herremans et al., 2020). Diese pflanzlichen Sekundärmetaboliten kommen in bestimmten Pflanzen wie Hederich und Esparsette vor und binden sich mit dem stickstoffhaltigen Material im Pansen, wodurch dieses vor dem Abbau durch Mikroorganismen geschützt wird. Die Produktion von Ammoniak wird dadurch reduziert. Weniger Stickstoff wird von der Leber zu Harnstoff recycelt und stattdessen wird mehr nicht abgebautes Rohprotein im Darm aufgenommen.

Entscheiden Sie sich für lokale Lebensmittel

Die Optimierung des CO_2-Fussabdrucks der Ration kann durch die Verwendung lokaler Futtermittel erreicht werden. Importiertes Sojaschrot kann beispielsweise durch lokal erzeugtes Sojaschrot (Donau-Soja) oder durch andere Proteinquellen ersetzt werden (Koster et al., 2022). Die Schweiz ist ihren europäischen Nachbarn im Jahr 2022 in einem Punkt voraus: Mehr als 92 Prozent des importierten Futtersojas stammen aus Europa im Gegensatz zu weniger als 10 Prozent in der Europäischen Union (Schweizer Soja-Netzwerk, 2023; Académie d'Agriculture de France, 2021).

Lipide oder Zusatzstoffe in die Ration einführen

Die Reduktion von Emissionen kann durch die Zugabe von Lipiden oder Zusatzstoffen in die Rationen erreicht werden.

Wenn Tiere mehr als 1 kg Kraftfutter pro Tag erhalten, reduziert die Substitution von Kohlenhydraten durch ungesättigte Fette die enterischen Methanemissionen. Eine Möglichkeit zur Integration von Lipiden besteht darin, extrudierte Ölsaaten als Ersatz für Kohlenhydrate zu verwenden, z.B. Leinsamen oder Raps. Falls erforderlich, können Öle wie Sojaöl oder Rapsöl als Ergänzung zu einem Kraftfutter hinzugefügt werden. Es ist jedoch wichtig, sicherzustellen, dass der Fettanteil in der gesamten aufgenommenen Trockenmasse den Grenzwert von 5 % nicht überschreitet, da dies die Pansenfunktion stören kann (Tenaud und Trévisiol, 2015).

Zusatzstoffe bieten interessante Potenziale zur Reduzierung der Emissionen aus der enterischen Fermentation. Bovaer-10® wurde von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) als erster Lebensmittelzusatzstoff zur Verringerung der Methanemissionen aus der enterischen Fermentation anerkannt. Diese Anerkennung weist darauf hin, dass Bovaer-10® eine vielversprechende Lösung zur Reduzierung von Methanemissionen darstellen kann. Die gesellschaftliche Akzeptanz dieser Zusatzstoffe in der Schweiz ist jedoch noch unklar.

Verbesserung des Stickstoffmanagements von Hofdüngern und Begrenzung des Einsatzes von mineralischem Stickstoff

Die Mineraldüngung vernünftig gestalten

Bei der Produktion von Mineraldüngern werden Erze und Sedimentgesteine abgebaut und fossile Energieträger in mehreren Verarbeitungsphasen in der Fabrik und beim Transport eingesetzt. Die Herstellungsprozesse sind besonders bei mineralischen Stickstoffdüngern einflussreich,

- da Erdgas als Rohstoff bei der Herstellung von Ammoniak verwendet wird (für Phosphat-, Nitrat- oder Ammoniumsulfatdünger).
- N_2O-Emissionen entstehen zweifelsfrei bei der Produktion von Salpetersäure, die zur Herstellung von Ammoniumnitrat verwendet wird.

Mineralischer Stickstoffdünger ist auf betrieblicher Ebene für den Grossteil der N_2O-Emissionen verantwortlich. Eine Reduktion des Düngemitteleinsatzes verringert die damit verbundenen N_2O-Emissionen.

Diese Reduktion kann durch gezielte Massnahmen erreicht werden:

- Realistische Ertragsziele können erreicht werden, indem die Kultur besser an ihre Bedürfnisse angepasst wird. Eine Möglichkeit besteht darin, die letzten 5 Erträge zu berücksichtigen, indem die beiden Extremwerte entfernt und der Durchschnitt der 3 verbleibenden Erträge berechnet wird.
- Eine bessere Verwertung organischer Düngemittel kann hierbei unterstützen.
- Die Auswirkungen der Bodenmineralisierung, der Mineralisierung der ausgebrachten organischen Substanz, der Vorfrucht und des Stickstoffs im Bewässerungswasser wurden berücksichtigt. Die Effizienz der Stickstoffdüngung kann durch verschiedene Massnahmen verbessert werden, wie z.B. die Verschiebung der ersten Düngung im Frühjahr, die geteilte Düngung, die rasche Einarbeitung des Düngers, die Modulation innerhalb der Parzelle oder die Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen bei der Düngung.

Düngemittel wählen, die den Stickstoffverlust begrenzen

Die Wahl der Düngemittel trägt entscheidend dazu bei, die Ammoniakemissionen und damit die Stickstoffverluste zu verringern. Dünger, die Nitratstickstoff enthalten, verursachen bis zu 90 % weniger NH_3-Emissionen als Harnstoff- oder Ammoniumdünger (ADEME, 2012). Durch die Wahl von Düngemitteln mit Nitrifikationshemmern (sogenannte ‚retardierte' oder ‚progressiv freigesetzte' Düngemittel) können ausserdem die N_2O-Verluste und damit die Stickstoffverluste begrenzt werden.

Einführung von Leguminosen in die Fruchtfolge

Durch die Einführung von Leguminosen in Fruchtfolgen (Haupt- und Zwischenfrüchte) oder Kulturen mit geringerem Stickstoffbedarf und die Beibehaltung eines höheren Anteils an Leguminosen auf Wechselwiesen kann der Stickstoffdüngerbedarf dieser Flächen verringert werden. Leguminosen binden Stickstoff aus der Luft und hinterlassen stickstoffreiche Rückstände im Boden, wodurch die Düngung der Folgekultur reduziert wird.

Der Anbauvon Leguminosen ist ein Hebel zur Senkung der mit dem Einsatz von Düngemitteln verbundenen Stickstoffemissionen

Vom Stall bis zum Ausbringen, richtiges Management von Dung zur Begrenzung von Stickstoffverlusten

Ein gutes Düngermanagement ist entscheidend, um Stickstoffverluste zu vermeiden. Es umfasst den Stall, die Lagerung und die Ausbringung.

Im Stall sorgen ein **leichterer Abfluss des Urins** und **regelmässig gereinigte Flächen** mit einer an die Frequentierung der verschiedenen Stallbereiche angepassten Reinigungsfrequenz dafür, dass weniger Ammoniak verloren geht. Das **Stallklima sollte so gestaltet werden, dass hohe Temperaturen und ein schneller Luftaustausch begrenzt werden** (Baumgartner et al., 2008).

Die **Abdeckung der Güllegrube** reduziert die Luftbewegung über der Gülle und verringert in erster Linie die Ammoniakemissionen, ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen zu verursachen (Fischer et al., 2023). In unterirdischen Güllegruben verlangsamen sich die Methanbildungsprozesse aufgrund der Abkühlung auf unter 10 °C (vgl. Projekt AgroCO2ncept Flaachtal). Durch die Abdeckung wird **das Volumen des gelagerten Hofdüngers begrenzt**, das ausgebracht werden soll. Eine Verdünnung durch Regenwasser wird verhindert, was zu Energieeinsparungen bei der Ausbringung führt.

Um die Verflüchtigung von Ammoniak zu begrenzen, ist es wichtig, die richtige **Ausbringungsmethode** für Gülle zu wählen. Laut der Direktzahlungsverordnung werden Pendel-, Schar- und Scheibeninjektoren sowie die Tiefeninjektion von Gülle als emissionsmindernde Ausbringungstechniken bei der Ausbringung von Gülle oder Recyclingdünger empfohlen. Wenn die ausgebrachte Gülle rasch eingearbeitet wird, verringert sich die Kontaktfläche mit der Luft und/oder die Expositionszeit, was zu einer Reduzierung der Stickstoffverluste führt. **Günstige Wetterbedingungen** während der Ausbringung können die Ammoniakverluste um bis zu 50 % reduzieren (Spuhler, 2023). Es ist auch effizienter, die Gülle am Morgen oder am Abend auszubringen als zur Mittagszeit. Zudem gilt: Je höher der **Trockensubstanzgehalt der Gülle**, desto höher sind auch die Stickstoffverluste durch Verflüchtigung. Idealerweise sollte die Gülle im Verhältnis 1:1 verdünnt werden. Eine **gut entwickelte Pflanzendecke** reduziert schliesslich den Stickstoffverlust.

Durch die **Ansäuerung der Gülle** können die Ammoniakverluste begrenzt werden, sowohl im Stall als auch bei der Lagerung und Ausbringung. Gleichzeitig können durch die Hemmung der methanogenen Flora, sowohl im Stall als auch bei der Lagerung, die Methanemissionen reduziert werden (RMT élevage et environnement, 2019).

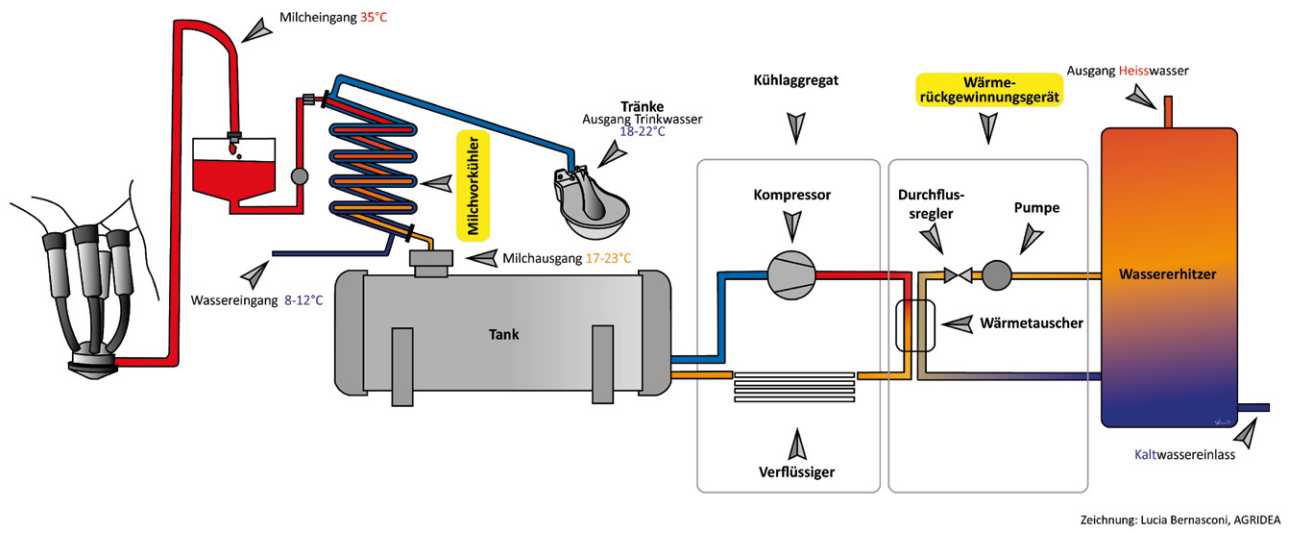
Begrenzung des Strom- und Treibstoffverbrauchs und Energieerzeugung

Anschaffung von Anlagen für energiesparendes Melken

In der Milchviehhaltung ist die Melkeinheit der grösste Stromverbraucher mit durchschnittlich 85 % des Stromverbrauchs. Die Milchkühlung ist in den meisten Fällen für fast die Hälfte des Stromverbrauchs verantwortlich, noch vor dem Wassererhitzer und der Vakuumpumpe. Die Belüftung des Milchlagerraums, die Positionierung des Tanks oder des Kühlaggregats (falls dieses vom Tank getrennt ist) und die Reinigung der Kondensatoren sind einfache Lösungen, die Einsparungen von bis zu 40 % ermöglichen können (Loobuyck und Prévost, 2016). Eine Investition in Hardware kann dazu beitragen, die Energierechnung noch weiter zu senken. Die Installation einer **Wärmepumpe** kann dazu beitragen, einen Stall zu kühlen und zu entfeuchten, während gleichzeitig Warmwasser erzeugt und Wohn- oder Betriebsräume beheizt werden können (Egger, 1996). Der **Milchkühler** senkt die Temperatur, bei der die Milch in den Tank gelangt, und verkürzt dadurch seine Betriebszeit erheblich (Einsparungen von 35 bis 50 % bei seinem Stromverbrauch). Der Stromverbrauch des Pumpenmotors beim Melken wird begrenzt, indem ein **Frequenzumrichter** eingesetzt wird. Dieser optimiert den Betrieb der Pumpe.

Die **Installation von Energiezählern** ist ein wichtiger erster Schritt zur Optimierung des Energieverbrauchs. Durch die anfängliche Messung kann die Leistung des Geräts bestimmt werden. Die Überwachung ermöglicht es, die Effizienz von Massnahmen zu quantifizieren, die im Rahmen einer Strategie zur Kontrolle des Energieverbrauchs durchgeführt werden. Die Technik besteht darin, den Energieverbrauch in jedem Betriebsmodus für jeden Verbraucher genau zu kennen und zu kontrollieren, um die Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs gezielt auszurichten (RMT élevage et environnement, 2019).

Abbildung 10: Funktionsprinzipien eines Milchvorkühlers und einer Wärmerückgewinnung am Tank.



Hinweis: In der Realität können die beiden Systeme nicht nebeneinander bestehen, denn wenn die Milch vorgekühlt wurde, gibt es weniger Energie, die aus dem Tank zurückgewonnen werden können.

Tierische Ausscheidungen vergären und Energie erzeugen

Hofdünger kann zur Energiegewinnung genutzt werden. Dabei entsteht durch die Vergärung von Hofdüngern mit Hilfe von Mikroorganismen und unter Ausschluss von Sauerstoff **Biogas**, eine Mischung aus Methan und Kohlendioxid. Dieses Biogas kann zur Erzeugung von Strom und/oder Wärme verwendet oder in ein Erdgasnetz eingespeist werden. Selbst wenn kein Abfackeln stattfindet, ist die Verbrennung von Methan zu Kohlendioxid wichtig, da CH_4 einen 27-mal höheren Treibhauseffekt als CO_2 hat.

Erneuerbare Energie mithilfe der Sonne erzeugen

In einem **solarthermischen Warmwasserbereiter** wird mit Hilfe von Sonnenkollektoren die Energie der Sonnenstrahlung in Form von Wärme zur Erwärmung von Wasser genutzt. Das erzeugte Warmwasser kann beispielsweise in der Wiederkäuerzucht für sanitäre Zwecke oder als Trinkwasser in der Kälbermast verwendet werden.

Durch die **Installation von Photovoltaik-Solarkollektoren** auf dem Dach oder an einem Mast (Solartracker/-nachführungen) kann die Lichtenergie der Sonne in Elektrizität umgewandelt werden. Es ist jedoch ratsam, die Kollektoren nicht auf Gebäuden anzubringen, in denen Tiere gehalten werden. Dies liegt daran, dass Ammoniakemissionen und Staubentwicklung Korrosionsrisiken darstellen können (RMT élevage et environnement, 2019).

Einführung von treibstoffsparenden Praktiken

Die **Einführung von sparsamen Praktiken** wie sparsamem Fahren oder vereinfachten Kulturtechniken kann dazu beitragen, den Treibstoffverbrauch zu begrenzen. Ecodrive ermöglicht Treibstoffeinsparungen von bis zu 30 % (Ecodrive, 2014). Seit über 10 Jahren ist es in der Schweiz möglich, die Leistung und technischen Eigenschaften des Traktors durch die TraktorBilanzierung (Gang zum Prüfstand) zu überprüfen und eine Motorabstimmung vorzunehmen. Durch letzteres kann nicht nur die Motorleistung gesteigert, sondern auch der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden (Deillon, 2014).

Der Übergang zu **pfluglosen Anbaumethoden** führt ebenfalls zu Kraftstoffeinsparungen und gleichzeitig zu einer erhöhten Kohlenstoffspeicherung in den ersten Bodenhorizonten.

Die Weidedauer erhöhen

Die maximale Verwertung der Weide unter guten Bedingungen (Tragfähigkeit des Bodens, Vorhandensein einer wachsenden Vegetationsdecke, Zugänglichkeit der Flächen usw.) ermöglicht es, den Bedarf an gelagertem Futter zu reduzieren und somit Treibstoff einzusparen.

Ausserdem verringert die Weidehaltung die Menge des in die Ställe verbrachten Dungs und damit die damit verbundenen Emissionen von N_2O, CH_4 und NH_3. Die Ammoniakemissionen sind geringer als in der gesamten Kette des Düngermanagements (Verluste im Stall - Lagerung - Ausbringung), da das rasche Eindringen des Urins in den Boden den Kontakt zwischen Urin und Kot begrenzt, wodurch die Wirkung der Urease aus dem Kot auf den im Urin vorhandenen Harnstoff und somit die Zersetzung des Harnstoffs im Urin in Form von Ammoniak begrenzt wird (RMT Viehzucht und Umwelt, 2019).

Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung

Die Verringerung des Netto-Kohlenstoff-Fussabdrucks von Milch kann durch eine Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung erreicht werden. Die Kohlenstoffspeicherung ist nur eine vorübergehende Massnahme, die den Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre in naher Zukunft begrenzen und die Auswirkungen auf das Klima verzögern wird. Verschiedene Massnahmen können zu diesem Zweck umgesetzt werden (Pellerin et al, 2013)

- **Verbesserung der Aufwertung von wenig produktivem Dauergrünland** durch eine moderate Erhöhung der Besatzdichte - und wenn möglich der Düngung - mit dem Ziel, die jährliche Biomasseproduktion und die Kohlenstoffrückführung in den Boden zu erhöhen;
- **Ersetzen der Mahd durch Beweidung**, um die Nutzung des Grünlands zu verringern und den Eintrag von Nährstoffen zu erhöhen;
- Erhöhung der Rückflüsse durch Pflanzenrückstände;
- **Einführung und Verlängerung des Zwischenfruchtanbaus**, bei dem es sich um nicht abgeerntete Begrünungspflanzen handelt;

Die Speicherung von Kohlenstoff über Wiesen oder Hecken ermöglicht es, seinen Netto-Kohlenstoff-Fußabdruck zu verringern.

- **Übergang zu strikter Direktsaat**. Obwohl umstritten, führt diese Praxis laut Literatur zu einer Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Oberbodenhorizont (0 bis 30 cm).
- **Eintrag von externer organischer Substanz** (bspw. Kompost), die derzeit verbrannt oder deponiert wird, wie zum Beispiel agro-industrielle oder städtische Abfälle. Es ist jedoch wichtig sicherzustellen, dass diese Materialien eine ausreichende Mindestqualität erfüllen.;
- Der Anteil an Kunstwiesen in der Fruchtfolge sollte erhöht werden. Dies kann durch Verlängerung ihrer Dauer geschehen, wenn sie bereits vorhanden sind, oder durch ihre Einführung, wenn sie noch nicht Teil der Fruchtfolge sind.
- Entwicklung der **Agroforstwirtschaft innerhalb der Parzellen**;
- Anlage von **Hecken** und Einführung eines geeigneten Bewirtschaftungsplans.

Schlussfolgerung

Um die Emissionen von Treibhausgasen (CO_2, CH_4, N_2O) und Ammoniak in einem landwirtschaftlichen Betrieb zu reduzieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Diese konzentrieren sich vor allem auf die **Effizienz**, sei es im **Herdenmanagement**, in der **Fütterung**, im **Pflanzenbau** oder im **Energieeinsatz**. Ziel ist es, die für den Betrieb notwendigen Betriebsmittel so weit wie möglich in Milch- oder Fleischprodukten zu verwerten, um den **Brutto-Kohlenstoff-Fussabdruck** des Betriebes zu reduzieren. Entscheidend ist ein **systemischer Ansatz**, der auf **Kohärenz** und **Optimierung des Betriebssystems** abzielt, unabhängig davon, ob es sich um einen intensiven oder extensiven Betrieb handelt.

Einige Massnahmen zur **Eindämmung** des Klimawandels erweisen sich auch als Ansatzpunkte für die **Anpassung** an den Klimawandel. Beispielsweise kann die Verlängerung der Laktationsdauer oder der Nutzungsdauer von Milchkühen die Anzahl der Nachkommen/Remonten und damit den Futterbedarf verringern.

Es gibt **THG-Bilanzierungswerkzeuge**, die es ermöglichen, den **Brutto- und Netto-Kohlenstoff-Fussabdruck** zu berechnen und die für den Betrieb relevanten Möglichkeiten zur Reduzierung zu identifizieren. Die seit 2015 in Frankreich durchgeführten Bilanzierungen zeigen deutlich, dass die technisch leistungsfähigsten Betriebe auch diejenigen mit den geringsten Treibhausgasemissionen pro Kilogramm Milch- oder Fleischprodukt sind: In Frankreich geht **die Reduzierung des CO_2-Fussabdrucks von Milch oder Fleisch in der Regel mit einer Verbesserung der technisch-wirtschaftlichen Ergebnisse einher**.

Um nachhaltig zu sein, muss die Reduzierung der Treibhausgasemissionen mit einer **Stärkung der Nachhaltigkeit** der landwirtschaftlichen Betriebe einhergehen, mit dem Ziel, die Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe zu schliessen und die **Konkurrenz um Nahrungsmittel und Landnutzung** zu verringern.

Nützliche Links

AgroCleanTech. Plateforme destinée à la transmission de connaissances et fournissant un service d'intermédiaire et d'information concernant l'efficience énergétique, les énergies renouvelables et la protection du climat dans l'agriculture. Association développant des programmes d'encouragement dans les domaines de l'efficience énergétique et de la protection du climat. [En ligne], URL: https://www.agrocleantech.ch/fr/ (abgerufen am 07.07.2023)

Arbres et buissons fourragers dans l'alimentation des ruminants. Gresset F., Schoop J., AGRIDEA, avril 2022. Disponible et téléchargeable gratuitement sur le site d'Agridea: https://agridea.abacuscity.ch/fr (abgerufen am 07.07.2023)

Projet « Durée de vie des vaches laitières suisses », 2021-2024, lancé par le FiBL, la HAFL et AGRIDEA). [En ligne], URL : https://themes.agripedia.ch/fr/duree-dutilisation-des-vaches-laitieres-suisses/ (abgerufen am 05.10.2023)

Eco-Drive en agriculture. [En ligne], URL : https://www.agri-ecodrive.ch/ (abgerufen am 07.07.2023)

Plateforme nationale d'ammoniac. Réduction des pertes d'ammoniac de l'agriculture. [En ligne], URL : https://www.ammoniak.ch/fr/page-daccueil (abgerufen am 07.07.2023)

Quellen

Académie d'Agriculture de France, 2021, [online], *La France et l'Europe pourraient se passer du soja importé : Des membres de l'Académie font des propositions en ce sens !* URL : https://www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/la-france-et-leurope-pourraient-se-passer-du-soja-importe-des-membres-de (abgerufen am 13.07.2023)

ADEME, 2012, [online], *Les émissions agricoles de particules dans l'air, état des lieux et leviers d'action*. 19 Seiten. URL : https://expertises.ademe.fr/professionnels/entreprises/reduire-impacts/reduire-emissions-polluants/emissions-dammoniac-nh3 (abgerufen am 10.07.2023)

ADEME, DatAgir, [online], *Impact CO2*, URL : https://datagir.ademe.fr/apps/impact-co2/ (abgerufen am 23.06.2023)

Baumgartner C., Birrer F., Boéchat S., Gnädinger R., Keck M., Uebersax A., 2008. *Réduction des pertes d'ammoniac dans les étables et aires d'exercice*. Fiche technique ammoniac. Production animale. Revue UFA. S. 31 à 34.

Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2023, [online], *Landwirtschaft als Luftschadstoffquelle,* URL : https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html (abgerufen am 23.10.2023)

Decker A., Zähner M., Dohme-Meier F., Böttger C., Münger A., Heimo D., Schrade S., [online], *Optimiser l'apport en protéines à l'aide de la teneur en urée du lait.* Recherche Agronomique Suisse 12, 137-145, 2021. https://www.agrarforschungschweiz.ch/fr/2021/10/optimiser-lapport-en-proteines-a-laide-de-la-teneur-en-uree-du-lait/#links (abgerufen am 22.08.2023)

Deillon S., 2014, dans AGRI, hebdomadaire professionnel agricole de la Suisse romande, [online], *Mise au point moteur : une pratique en progression*, URL : https://www.agrihebdo.ch/moteurs (abgerufen am 10.07.2023)

Eco-drive, 2014, [online], *Roulez futé pour économiser du carburant*. URL : https://www.agri-ecodrive.ch/ (abgerufen am 07/07/2023)

Egger K., 1996. *Récupération de chaleur dans les bâtiments d'élevage*, Programme d'action PACER – Energies renouvelables, Office fédéral des questions conjoncturelles. 75 Seiten.

Fischler M., Uebersax A., Steiner B., [online], *Lettre d'information Plateforme nationale d'ammoniac, n°3 mai 2023*. Plateforme nationale d'ammoniac. URL : https://www.ammoniak.ch/fr/page-daccueil (abgerufen am 07.07.2023)

GES'TIM+, 2020, [online], *Guide GES'TIM+ : la référence méthodologique pour l'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre, la préservation des ressources énergétiques et la qualité de l'air.* Projet réalisé par Arvalis, en partenariat avec l'Idèle, le Ctifl, l'Ifv, l'Itavi, l'Ifip et Terres Inovia. Avec la participation financière de l'ADEME. 560 Seiten.
URL : https://www.arvalis.fr/recherche-innovation/nos-travaux-de-recherche/gestim/guide (abgerufen am 10.07.2023)

GIEC, 2021. *IPCC 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Herremans S., Vanwindekens F., Decruyenaere V., Beckers Y., Froidmont E., 2020, *Effect of dietary tannins on milk yield and composition, nitrogen partitioning and nitrogen use efficiency of lactating dairy cows: A meta-analysis.*

INRA, 2015. *Le climat change, la nature & l'agriculture aussi !* 15 Seiten.

Institut de l'élevage (idele), 2022. *Guide simplifié de la méthodologie d'évaluation environnementale d'une exploitation agricole*, CAP'2ER. 20 Seiten.

Institut de l'Elevage (idele), 2023. *Les sources de GES à l'échelle de l'exploitation*. Formation CAP'2ER® Niveau 2. Version du 28 avril 2023.

Koster B., Hufschmid J., AGRIDEA, 2022. *Protection du climat dans l'élevage bovin*. Résultats du projet Protection du climat dans le secteur bovin. 26 Seiten.

Loobuyck M., Prévost Mc., 2016. *Réduire la consommation électrique du tank grâce au pré-refroidissement du lait*, Institut de l'élevage et GIE Elevages de Bretagne. 8 Seiten.

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques.* Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 Seiten.

Python P., Rombach M., AGRIDEA, 2023. Fiche d'information sur la production bovine. Ensemble de mesures pour une agriculture plus durable. Version du 13 juin 2023. 6 Seiten.

Soja Netzwerk Schweiz, 2023, [online], *Jahresbericht Schweizer Soja-Netzwerk 2022*, URL : https://www.sojanetzwerk.ch/de/ (abgerufen am 13.07.2023)

RMT élevages & environnement, 2019, [online], *Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage*, Version 2019. Ifip, ITAVI, idele. 356 Seiten. URL : https://www.rmtelevagesenvironnement.org/les_outils_du_RMT (abgerufen am 18.05.2023)

Spuhler M., AGRIDEA, 2023. *Ordonnance sur la protection de l'air : Obligations à partir du 1er janvier 2024. Méthodes d'épandage réduisant les émissions*. 4 Seiten.

Tenaud A., Trévisiol A., 2015. ADEME. *Optimiser les apports protéiques pour réduire les rejets azotés. Apporter des lipides pour réduire les émissions de méthane chez les ruminants*. Fiche 8 de « *Agriculture & environnement – Des pratiques clefs pour la préservation du climat, des sols et de l'air, et les économies d'énergie.* ». 10 Seiten.

Vereinte Nationen, Action Climat, [online], *Causes du changement climatique.* URL: https://www.un.org/fr/climatechange/science/causes-effects-climate-change (abgerufen am 18.10.2023)

© Bildnachweis: Marie RUS

Korrekturlesen

Véronique Frutschi Mascher und Jocelyn Altermath, Fondation Rurale Interjurassienne