



3. Februar 2023

Klimawirksame Substanzen nebst CO₂

Bericht zuhanden der UREK-S

22.061 s Revision des CO₂-Gesetzes nach 2024

1 Ausgangslage

Die UREK-S erteilte der Verwaltung am 10. November 2022 einen Prüfauftrag, die Nicht-CO₂-Emissionen des Flugverkehrs, der Landwirtschaft, der Abfallwirtschaft und der Industrie aufzuzeigen und Massnahmenvorschläge für deren Reduktion zu machen.

2 Klimawirksame Emissionen

2.1 Nicht-CO₂-Emissionen gemäss Treibhausgasinventar

Das vom Bundesamt für Umwelt BAFU erstellte Treibhausgasinventar weist nebst den CO₂-Emissionen auch die Emissionen weiterer Treibhausgase aus, namentlich Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sowie verschiedene synthetische Gase. Abbildung 1 gibt einen Überblick über diese Emissionen im Jahr 2020, gegliedert nach den Sektoren gemäss CO₂-Verordnung. Unter Berücksichtigung der geltenden Systemgrenzen (d.h. ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr, ohne Landnutzungsänderungen bzw. Forstwirtschaft) betragen die Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen insgesamt rund 9 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, was etwa 20 Prozent der gesamten Emissionen im Treibhausgasinventar entspricht. Davon macht Methan 51 Prozent aus, Lachgas 32 Prozent und die synthetischen Gase 17 Prozent.

Bei der Nutzung von Energieträgern entstehen nur relativ geringe Mengen an Nicht-CO₂-Emissionen. Entsprechend wenig tragen die Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie zu den gesamten Nicht-CO₂-Emissionen bei. Die Lachgasemissionen der Industrie stammen zum grössten Teil aus einem einzigen Chemiewerk. Dank eines mittlerweile eingebauten Katalysators konnten diese ab Ende 2021 auf relativ geringe Mengen reduziert werden (in Abbildung 1 für das Jahr 2020 noch nicht ersichtlich).

Die Methan- und Lachgasemissionen der Schweiz entstehen hauptsächlich in der Landwirtschaft. Die Nutztierhaltung (insbesondere Kühe und Rinder) verursachte im Jahr 2020 mehr als 80 Prozent der Methanemissionen. Ungefähr 65 Prozent der gesamten Lachgasemissionen stammten aus der Landwirtschaft, wobei insbesondere die Düngung landwirtschaftlich genutzter Böden dazu beitrug.

Im Sektor Abfall entstehen ebenfalls Methan- und Lachgasemissionen (rund 0.5 bzw. 0.2 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente). Von den Methanemissionen stammen 55 Prozent aus Abfalldeponien und 39 Prozent aus der Abwasserreinigung, während die Lachgasemissionen zu 62 Prozent bei der Abwasserreinigung und zu 33 Prozent durch übrige Verbrennung (ohne energetische Nutzung) entstehen.

Die Emissionen synthetischer Treibhausgase betragen aktuell rund 1.5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Mit rund 85 Prozent stammt der grösste Anteil davon aus der Anwendung von Kältemitteln, z.B.

in Kühl- und Tiefkühlanlagen, Klimaanlage und Wärmepumpen. Eine weitere Emissionsquelle im Umfang von etwa 9 Prozent ist die Anwendung von Schwefelhexafluorid als Isolationsgas.

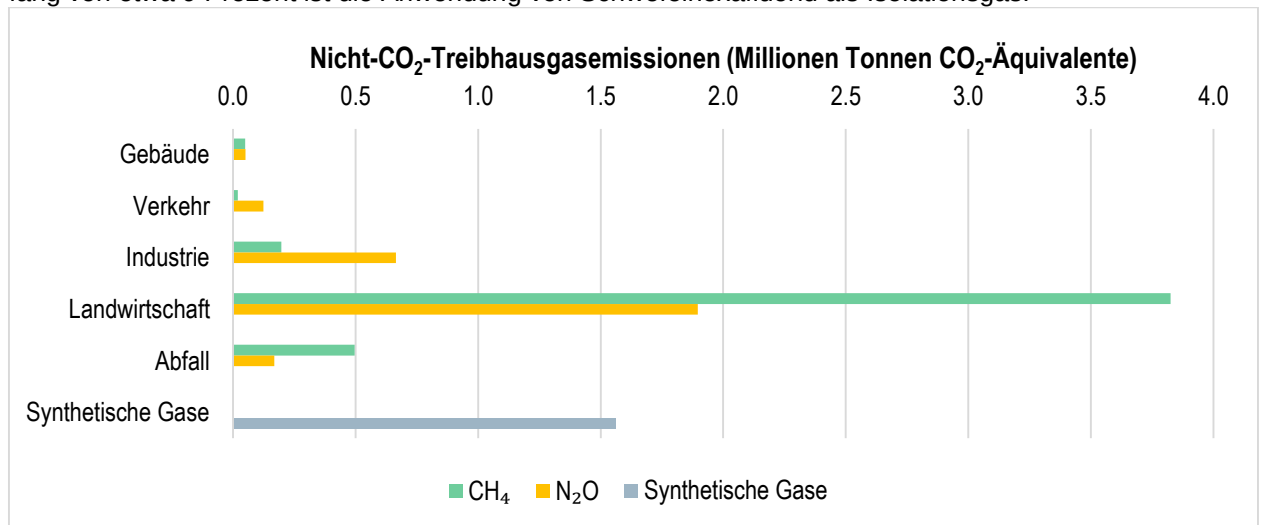


Abbildung 1: Nicht-CO₂-Emissionen gemäss Treibhausgasinventar im Jahr 2020

2.2 Darstellung der im Treibhausgasinventar nicht berücksichtigten Effekte

Die Sektoren gemäss CO₂-Verordnung (Abschnitt 2.1) erfassen weder die CO₂- noch die nicht-CO₂-Emissionen aus dem internationalen Flug- und Schiffsverkehr. Während der Schiffsverkehr für die Schweiz von geringer Bedeutung ist, tragen die Nicht-CO₂-Effekte des Flugverkehrs trotz geringen Methan- und Lachgasemissionen zur Klimaerwärmung bei. Emissionen von beispielsweise Wasserdampf, Stickoxiden und Russ führen zu einer zusätzlichen Klimawirkung. Anders als Treibhausgase können deren Auswirkungen aufs Klima abhängig von Ort, Zeit, Wetter und zahlreichen weiteren Faktoren erwärmend oder auch kühlend sein. Gemäss einer Studie der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz¹ aus dem Jahr 2021 beträgt die historische Klimawirkung der globalen Luftfahrt das Dreifache der CO₂-Emissionen, die beim Verbrennen der Flugtreibstoffe entstehen, was rund 15 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten entspräche (davon rund 5 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen). Wie der Bundesrat bereits in seiner Antwort auf Interpellation Ryser² festgehalten hat, ist diese Angabe allerdings mit einer hohen Unsicherheit behaftet und wird periodisch überprüft und den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen nachgeführt.

3 Massnahmenvorschläge

3.1 Massnahmen im Bereich Landwirtschaft (Methan und Lachgas)

Die Reduktion landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen ist im Gegensatz zu anderen Emissionsquellen nur bedingt mit technischen und betrieblichen Massnahmen möglich. Um wieviel die Emissionen

¹ [Neu U \(2021\) Die Auswirkungen der Flugverkehrsemissionen auf das Klima. Swiss Academies Communications 16 \(3\)](#)

² 21.4259 Wie schädlich sind die Flugemissionen wirklich? Berücksichtigung der Nicht-CO₂-Emissionen mit einem Emissionsgewichtungsfaktor

durch produktionsseitige Optimierungen reduziert werden können, ist schwierig abzuschätzen. Aufgrund von wissenschaftlichen Studien und ersten Erfahrungen aus Pilotprojekten dürfte das umsetzbare Gesamtpotential mit heute verfügbaren Technologien bei 10-20 Prozent liegen^{3,4}.

Über eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Landwirtschaft und Ernährung bestehen weitere Reduktionsmöglichkeiten, z.B. durch die Ausrichtung auf eine gesunde und ausgewogene Ernährung gemäss Lebensmittelpyramide, die Anpassung von Produktportfolios und die Reduktion von Lebensmittelverschwendung⁵. Durch eine Ausrichtung auf eine ressourcenschonende Ernährung liesse sich der entsprechende Treibhausgasfussabdruck um über 50% reduzieren, wobei die inländischen Emissionen um ungefähr 30 Prozent sinken würden.

Das Bundesamt für Landwirtschaft erarbeitet derzeit zusammen mit dem Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen und dem Bundesamt für Umwelt eine Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung, welche einerseits Grundsätze, Ziele und Stossrichtungen und andererseits einen Massnahmenplan enthalten soll. Eingebettet in eine Gesamtvision des Landwirtschafts- und Ernährungssystems werden entlang der gesamten Lebensmittelkette Massnahmen verortet, die zum Ziel haben, die Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion im Inland bis 2050 gegenüber 1990 um mindestens 40 Prozent zu reduzieren. Gleichzeitig soll der Treibhausgasfussabdruck der Ernährung pro Kopf gegenüber 2020 um mindestens zwei Drittel gesenkt werden. Dabei sollen vermeidbare Emissionsverlagerungen ins Ausland verhindert und flankierende Massnahmen ergriffen werden, um die notwendige Transformation sozialverträglich und nachhaltig auszurichten. Der Weg zur Zielerreichung soll über 10-Jahres-Etappen führen und einem linearen Absenkpfad folgen. Bereits bestehende und mögliche neue agrarpolitische Massnahmen und Aktivitäten wurden in Kapitel 3.6 (insbesondere Tabelle 4, Seite 71ff) des Berichts des Bundesrates zur zukünftigen Ausrichtung der Agrarpolitik in Erfüllung der Postulate 20.3931 der WAK-S und 21.3015 der WAK-N aufgeführt.⁶ Gemäss diesem Bericht können – bei entsprechender Ausrichtung der Ernährung auf die Lebensmittelpyramide – der Selbstversorgungsgrad gesteigert und gleichzeitig die Umweltauswirkungen verringert werden.

3.2 Massnahmen im Bereich Abfallwirtschaft (Methan und Lachgas)

In der Schweiz gilt seit dem Jahr 2000 ein Verbot für die Ablagerung brennbarer Abfälle. Aus bereits bestehenden Deponien entweicht jedoch nach wie vor Methan. Diese Emissionen nehmen aber kontinuierlich ab und betragen heute nur noch rund einen Drittel der Emissionen von 1990. Kompensationsprojekte und -programme vermindern die Emissionen aus Deponien zusätzlich, beispielsweise indem austretendes Methan abgefackelt oder energetisch genutzt wird.

Biogasanlagen produzieren durch anaerobe Vergärung von Biomasse Methan, welches anschliessend zur Strom- und/oder Wärmeproduktion verwendet wird. Damit können fossile Energieträger ersetzt werden. Zudem tragen Biogasanlagen dazu bei, die CH₄-Emissionen, welche beispielsweise durch die in der herkömmlichen landwirtschaftlichen Praxis üblichen Lagerung von Gülle und Mist entstehen, zu vermindern. Der Betrieb von Biogasanlagen selbst führt jedoch auch zu ungewollten CH₄-Emissionen, welche durch geeignete Anlagentechnik und Steuerung der Biogaserzeugung sowie regelmässige Kontrollen möglichst geringgehalten werden müssen. Biogasanlagen können im Rahmen von Kompensationsprojekten und -programmen Bescheinigungen beantragen. Verschiedene Projekte sind seit mehreren Jahren registriert und operativ.

Eine vom BAFU in Auftrag gegebene Studie zeigt, dass die N₂O-Emissionen aus der Abwasserreinigung deutlich höher sind als bisher angenommen. Gemäss dieser neuen Berechnungsgrundlage betragen

³ Bretscher, D., Ammann, Ch., Wüst, Ch., Nyfeler, A. und Felder, D. (2018) Reduktionspotenziale von Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Nutztierhaltung. *Agrarforschung Schweiz* 9 (11 12): 376 383

⁴ Alig, M., Prechsl, U., Schwitter, K., Waldvogel, T., Wolff, V., Wunderlich, A., Zorn, A., Gaillard, G. (2015) Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutzmassnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz. *Agroscope Science; Umwelt* Nr. 29, Agroscope.

⁵ [Aktionsplan gegen die Lebensmittelverschwendung. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 18.3829 Chevalley vom 25. September 2018](#)

⁶ [Zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik. Bericht des Bundesrates in Erfüllung der Postulate 20.3931 der WAK-S vom 20. August 2020 und 21.3015 der WAK-N vom 2. Februar 2021](#)

die N₂O-Emissionen aus der Abwasserreinigung heute ca. 0.8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (in Abbildung 1 noch nicht ersichtlich). Durch eine Steigerung der Stickstoffeliminierung in Abwasserreinigungsanlagen, was auch aus Sicht Gewässerschutz wünschenswert ist, können die Lachgasemissionen weiter verringert werden. Zudem können auch die N₂O-Emissionen aus der Klärschlammverbrennung durch geeignete Rauchgasbehandlung reduziert werden. Für beide Ansätze gibt es bereits Kompensationsprojekte und -programme.

3.3 Massnahmen im Bereich synthetischer Treibhausgase

Die Gruppe der teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) dominiert den Verbrauch synthetischer Treibhausgase. Mit der Ratifikation des Kigali Amendments hat sich die Schweiz verpflichtet, diesen Verbrauch bis 2036 auf 15 Prozent der in den Jahren 2011–2013 verwendeten Mengen zu reduzieren. Die Verwendung dieser Substanzen (z.B. als Kältemittel) ist in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) geregelt und auf jene Anwendungen beschränkt, für welche keine Alternativen bestehen.

Im Rahmen von Kompensationsprojekten unter dem CO₂-Gesetz laufen Programme zur Förderung klimafreundlicher Kältemittel bzw. zum Ersatz klimaschädlicher Kältemittel in bestehenden Anlagen. Zudem sind Dichtigkeitskontrollen vorgeschrieben, und der Umgang mit solchen Kältemitteln erfordert eine Fachbewilligung, was die Emissionen klimaschädlicher Kältemittel aus bestehenden Anlagen minimiert.

Die sukzessive Einschränkung der Anwendungsbereiche in den letzten Jahren und eine freiwillige Branchenvereinbarung zur Anwendung von Schwefelhexafluorid führten dazu, dass die Emissionen synthetischer Treibhausgase seit 2018 tendenziell rückläufig sind. Die Regulierung in der ChemRRV wird periodisch dem Stand der Technik nachgeführt. Dadurch werden die synthetischen Treibhausgase zunehmend durch weniger klimaschädliche Alternativen ersetzt.

3.4 Massnahmen im Bereich Flugverkehr

Massnahmen zur Reduktion der Nicht-CO₂-Emissionen im Flugverkehr und deren Klimawirkung können sich auf die Reduktion der Menge dieser Emissionen und/oder deren Klimawirksamkeit richten. Dies weil die Klimawirkung der Nicht-CO₂-Emissionen im Flugverkehr nicht nur von der Menge dieser Emissionen, sondern auch von weiteren Faktoren wie z.B. der Witterung (Temperatur, relative Feuchte) und der Flughöhe abhängig ist. Einzelne Massnahmen zur Reduktion der Klimawirkung von Nicht-CO₂-Emissionen können zu einer Erhöhung der CO₂-Emissionen führen. Man muss daher in jedem Fall vertieft prüfen, ob der Nutzen durch die Reduktion der Nicht-CO₂-Effekte nicht durch zusätzliche CO₂-Emissionen zunichte gemacht wird.⁷

Jede Massnahme zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs hat grundsätzlich eine Reduktion der CO₂-Emissionen sowie der Nicht-CO₂-Effekte zur Folge. Mögliche Massnahmen sind effizientere Luftfahrzeuge, Effizienzsteigerungen im Betrieb, sowie markt- und nachfrageseitige Massnahmen. Der Einsatz von erneuerbaren Flugtreibstoffen⁸ ist einer der vielversprechendsten Ansätze, die CO₂- und nicht-CO₂-Emissionen in der Luftfahrt deutlich zu reduzieren. Schon mit der heutigen Flugzeugflotte ist es möglich, erneuerbare Flugtreibstoffe einzusetzen. Eine wichtige Massnahme ist die Einführung einer Beimischpflicht für erneuerbare Flugtreibstoffe, wie sie im Vorschlag des Bundesrates zur Revision des CO₂-Gesetzes enthalten ist. Erneuerbare Flugtreibstoffe weisen in der Regel eine tiefere Konzentration aromatischer Verbindungen und einen geringeren Schwefelgehalt auf. Dadurch entsteht bei der Verbrennung der erneuerbaren Flugtreibstoffe weniger Feinstaub, was zu geringerer Wolkenbildung und somit zu einer Senkung der Nicht-CO₂-Klimawirkung führen kann.⁹ Detailliertere Informationen zur Förderung

⁷ [Neu U \(2021\) Die Auswirkungen der Flugverkehrsemissionen auf das Klima. Swiss Academies Communications 16 \(3\)](#)

⁸ Darunter fallen erneuerbare biogene und erneuerbare synthetische Flugtreibstoffe

⁹ [Max-Planck-Gesellschaft \(2021\) Deutlich geringere Klimawirkung von Kondensstreifen durch nachhaltige Kraftstoffe | Max-Planck-Gesellschaft \(mpg.de\)](#)

und zum Einsatz erneuerbarer Treibstoffe sowie zu weiteren emissionsmindernden Massnahmen finden sich in einem kürzlich verabschiedeten Strategiebericht¹⁰ des BAZL.

Grundlegend für die Diskussion von Massnahmen ist ein genaues Verständnis der Nicht-CO₂-Effekte. Dazu gehört die Möglichkeit, diese Effekte vorherzusagen, sowie die Wirkung von Massnahmen zu quantifizieren. All dies ist heute noch mit hohen Unsicherheiten behaftet. Die Verwendung eines Gewichtungsfaktors auf CO₂ bei der Bewertung von zukünftigen Massnahmen zur Reduktion der Nicht-CO₂-Effekte wird dem Sachverhalt nicht gerecht. Die folgende Liste fasst die wichtigsten möglichen Massnahmen zur Reduktion der Klimawirkung des Luftverkehrs zusammen, beurteilt die erwarteten Wirkungen auf die CO₂- und die Nicht-CO₂-Emissionen und zeigt den aktuellen Stand der Umsetzung.

Massnahme	Erwartete Wirkung	Aktueller Stand der Umsetzung
Beimischpflicht für erneuerbare Flugtreibstoffe (Vorschlag des Bundesrates im Rahmen der Revision des CO ₂ -Gesetzes)	Reduktion der CO ₂ - und der Nicht-CO ₂ -Effekte	Auf Ebene Schweiz / EU geplant
Gezielter Einsatz von erneuerbaren Treibstoffen auf Nachtflügen	Im Vergleich zur Beimischpflicht identische Wirkung auf CO ₂ aber verstärkte Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte	Noch nicht implementiert, müsste vertieft geprüft werden
Angepasste Flugroute resp. Flughöhe: Umfliegen von besonders feuchten und kalten Luftmassen	Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte (Wolkenbildung), aber auch gewisse Zunahme von CO ₂ -Emissionen	Noch nicht implementiert, wissenschaftliche Grundlagen werden aktuell erarbeitet
Angepasste Flugzeiten, bspw. Vermeiden von Nachtflügen	Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte (nächtlich persistente Wolken)	Noch nicht implementiert, müsste vertieft geprüft werden
Regulierung der Treibstoffzusammensetzung: Limitieren von Schwefel- und Aromatengehalt	Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte (Wolkenbildung) durch geringere Feinstaubemissionen	Vertiefte Prüfung bis 2025 auf internationaler Ebene in Arbeit
Alternative Antriebskonzepte, wie batterie-elektrisch und Wasserstoff	Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte, Einfluss auf CO ₂ -Emissionen ungewiss	Technologisch heute nicht umsetzbar. Potenzial zur Reduktion von Nicht-CO ₂ -Effekten prinzipiell nur auf hoher Flughöhe vorhanden.
Ambitionierte Emissionsstandards für Flugzeugtriebwerke bzgl. NO _x und Feinstaub	Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte (NO _x , Wolkenbildung), NO _x -Reduktion kann zu Zunahme von CO ₂ -Emissionen führen	Feinstaub-Standard bereits global implementiert, Weiterentwicklung der NO _x -Regulierung in Arbeit
Erhöhung schadstoffabhängiger Landegebühren	Reduktion der Nicht-CO ₂ -Effekte (NO _x , Wolkenbildung)	Mit aktuellen gesetzlichen Grundlagen nicht umsetzbar, müsste vertieft geprüft werden
Markt- und nachfrageseitige Massnahmen	Verringerung des Treibstoffabsatzes, daher Verringerung der CO ₂ - und Nicht-CO ₂ -Effekte	Noch nicht implementiert, müsste vertieft geprüft werden

¹⁰ [Bundesamt für Zivilluftfahrt \(2022\) Bericht des BAZL betreffend die Förderung der Entwicklung und des Einsatzes von nachhaltigen Flugtreibstoffen](#)