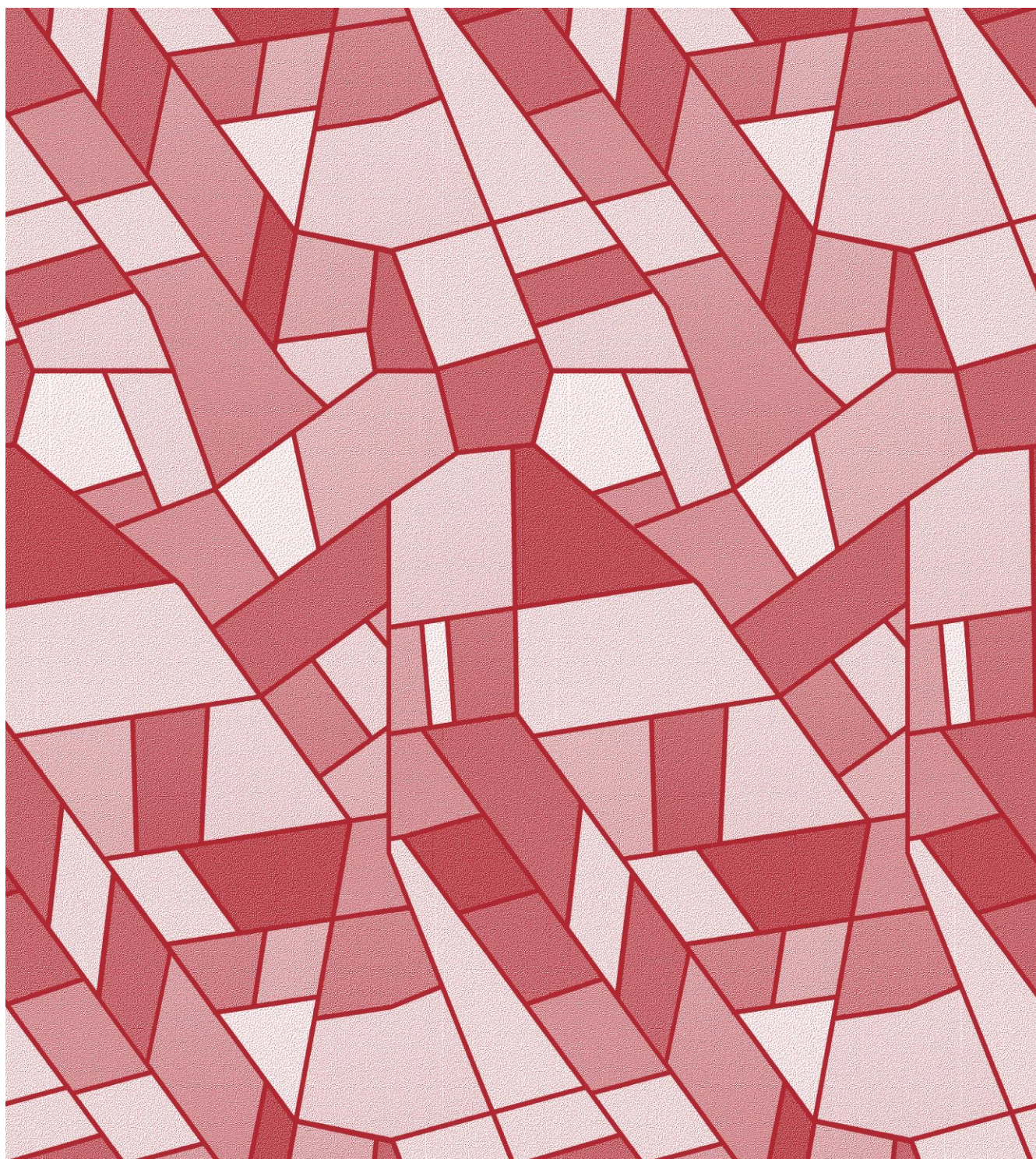


Klimametrik Kanton Bern: Technische Dokumentation

Methode für eine kantonale Bilanzierung der Treibhausgas-Emissionen
Schlussbericht, Version vom 23. Februar 2024



Erarbeitung der Klimametrik Kanton Bern:

Die Erarbeitung erfolgte durch EBP im Auftrag des Kantons Bern und wurde durch eine Steuerungsgruppe strategisch und eine Begleitgruppe fachlich begleitet.

Steuerungsgruppe

Ulrich Nyffenegger (Vorsteher AUE), Christian Glauser (Leiter Abt. Energie), Hans-Peter Tschirren (Leiter Abt. Immissionsschutz), Thomas Rosenberg (Projektleiter Klimametrik Kanton Bern)

Begleitgruppe

Christoph Baltzer (AUE), Lisa Eymann (LANAT), Manon Giger (AÖV), Christine Hauert (Stadt Thun), Thomas Rosenberg (Projektleiter Klimametrik Kanton Bern), Martin Schmidt (AUE), Roland Schneider (Energieberatung Oberland-Ost), Adrian Stämpfli (Gemeinde Köniz), Nana von Felten (Kanton Aargau)

Projektteam EBP

Michel Müller, Milena Krieger, Denise Fussen, Lukas Lanz, Nina Flükiger, Joséphine Zumwald, Isabel OConnor, Jonas Hess, Andreas Bühlmann

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Druck: 23. Februar 2024
2024-02-23_Klimametrik_Technische_Dokumentation.docx

Protokoll Dokument-Versionen

Version / Datum	Freigabe	Bemerkungen
1.0 / 08.07.2022	Thomas Rosenberg	Abschluss des Projekts Klimametrik
2.0 / 03.07.2023	Nicolas Lanz	Abschluss der Erhebung der Startbilanz für das Jahr 2020
3.0 / 23.02.2024	Nicolas Lanz	Abschluss der Erhebung für das Jahr 2022; punktuelle Anpassungen der Erhebung der Startbilanz für das Jahr 2020

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Ziele und Dokumentation	4
1.3	Systemgrenzen und wichtige Festlegungen	4
2.	Klimametrik in der Übersicht	7
3.	Methodisches Vorgehen	11
3.1	Wärme	11
3.2	Energieumwandlung	16
3.3	Verkehr	19
3.4	Industrie: Nicht-energetische Emissionen	25
3.5	Landwirtschaft	28
3.6	Abwasser und Abfall	33
3.7	Flüchtige Emissionen	37
3.8	Landnutzung (LULUCF)	39
3.9	Senken (Negativemissionen)	42
4.	Datengrundlagen	44
4.1	Für alle Sektoren relevant	44
4.2	Wärme und Energieumwandlung	45
4.3	Verkehr	50
4.4	Industrie: Nicht-energetische Emissionen	52
4.5	Landwirtschaft	52
4.6	Abwasser und Abfall	53
4.7	Flüchtige Emissionen	55
5.	Technische Umsetzung	56
5.1	Wärme und Energieumwandlung	56
5.2	Verkehr	69
5.3	Industrie: Nicht-energetische Emissionen	84
5.4	Landwirtschaft	85
5.5	Abwasser und Abfall	92
5.6	Flüchtige Emissionen	96

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Treibhausgasemissions-Bilanzen sind wichtige Grundlagen für die Klima- und Energiepolitik. So erstellen auch Gemeinden und Regionen im Kanton Bern zunehmend eigene Bilanzen. Diese sind methodisch begrenzt miteinander vergleichbar und können auf kantonaler und nationaler Ebene nicht aggregiert werden. Wichtige Synergien und Potenziale bleiben somit ungenutzt. Für kleine Gemeinden ist die fundierte Erstellung von Treibhausgasemissions-Bilanzen zudem oft zu aufwändig. Damit kommt dem Kanton eine wichtige Rolle zu, indem er ein kantonales Grundangebot bereitstellt und eine Harmonisierung der Ansätze und eingesetzten Methoden koordiniert.

Bilanzen als Grundlage der Klima- und Energiepolitik

1.2 Ziele und Dokumentation

Die Klimametrik Kanton Bern liefert eine vollständige Übersicht der Treibhausgasemissionen im Kanton Bern. Die zugrunde liegende Methodik zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen:

Ziele der Klimametrik Kanton Bern

- ist kantonsweit harmonisiert und breit abgestützt.
- liefert allen Gemeinden direkt verwendbare Kennzahlen.
- ist mit Aufgaben der Klima- und Energiepolitik kompatibel. Dafür bildet die Methodik Entwicklungen lokal und zeitlich in hoher Auflösung ab. Insbesondere wird dadurch ein Monitoring der Wirkung von Massnahmen über die Zeit ermöglicht.

Die Klimametrik Kanton Bern ist in folgenden Dokumenten beschrieben:

Dokumentation der Klimametrik Kanton Bern

- Der vorliegende technische Bericht, welcher die Projektarbeiten und die resultierende Methodik für den internen Gebrauch des Kantons und weitere Fachpersonen umfassend dokumentiert, von den verfügbaren Datengrundlagen bis hin zur Erstellung einer vollständigen THG-Bilanz. Als Grundlage für die Integration in die kantonale Energie- und Klimadatenplattform weist diese detaillierte Dokumentation Umsetzungsreife auf.
- ein Leitfaden für Gemeinden, welcher die Methodik zusammengefasst beschreibt und das kantonale Angebot erklärt.

1.3 Systemgrenzen und wichtige Festlegungen

Die Klimametrik bilanziert die Treibhausgasemissionen mit dem Territorialprinzip. Damit fokussiert sie auf die direkten Treibhausgasemissionen, die vor Ort in jeder Gemeinde entstehen. Dieser Fokus auf direkte Emissionen vor Ort wird auch Scope 1 genannt. Die Klimametrik unterscheidet energetische Emissionen von nicht-energetischen Emissionen. Neben dem Treibhausgas CO₂ werden in den betrachteten Sektoren die Treibhausgase Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sowie synthetische Gase ausgestossen und bilanziert. Die Klimametrik berücksichtigt Treibhausgasemissionen aus den

Systemgrenzen: Scope 1 und betrachtete Sektoren

Sektoren Wärme, Energieumwandlung, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft, Abwasser und Abfall, flüchtige Emissionen, Landnutzung und Senken.

Diese Systemgrenze entspricht dem Ansatz des Schweizer Treibhausgasinventares. Somit ist die Klimametrik Kanton Bern mit übergeordneten Bilanzierungen kompatibel. Weitere Bilanzierungsmethoden wie beispielsweise jene des Greenhouse Gas Protocols oder der 2000-Watt-Gesellschaft unterscheiden sich bezüglich Systemgrenze von der Methodik der Klimametrik, als Grundlage können jedoch dieselben Daten verwendet werden.

Kompatibilität mit übergeordneten Bilanzierungen

Systemgrenze Klimametrik

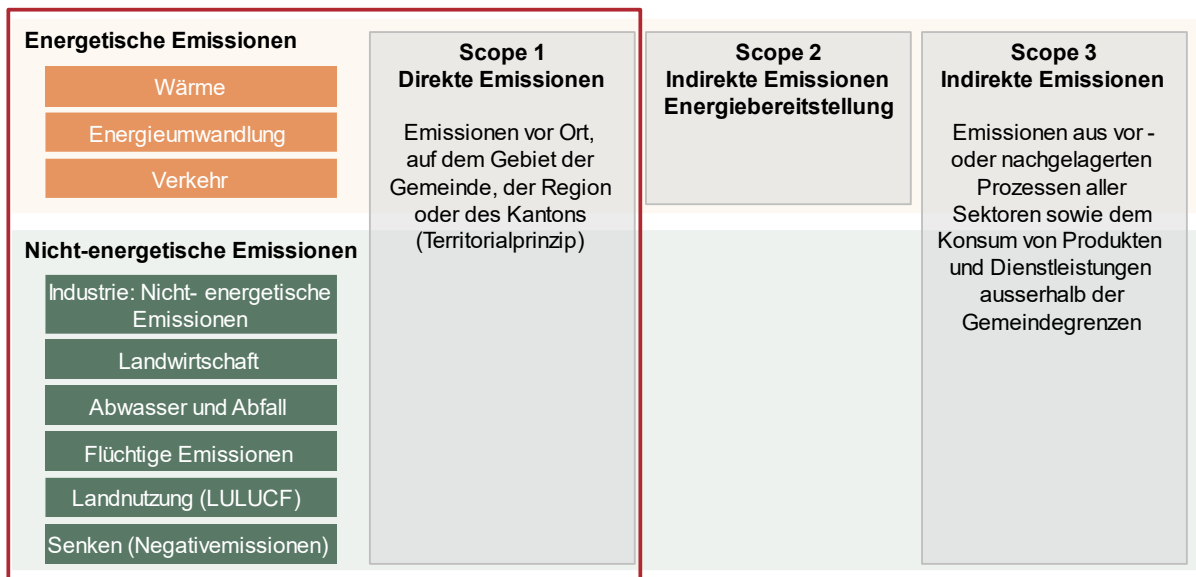


Abbildung 1 Mögliche Systemgrenzen von Treibhausgasbilanzen und gewählte Systemgrenze der Klimametrik Kanton Bern (Scope 1)

Neben den direkten Emissionen entstehen durch Aktivitäten im Kanton Bern auch indirekte Treibhausgasemissionen, die ausserhalb des Kantons anfallen. Sie beinhalten indirekte Emissionen für die Aufbereitung und Bereitstellung der Energie (Scope 2) sowie indirekte Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen aller Sektoren (Scope 3). Auch die bei der Herstellung von Gütern und Dienstleistungen für den Kanton Bern und seine Bevölkerung entstehenden Emissionen sind darin enthalten. Diese indirekten Emissionen entsprechen in der Schweiz im Durchschnitt knapp dem Eineinhalbfachen der direkten Emissionen¹. Aufgrund der schwierigen und unsicheren Quantifizierung werden die indirekten Treibhausgasemissionen mit der Methodik der Klimametrik jedoch nicht erhoben.

Nicht betrachtet: Scopes 2 und 3

Die Sektoren Landnutzung (LULUCF) und Senken (Negativemissionen) werden zurzeit mit der Methodik der Klimametrik noch nicht erhoben. Der Beitrag der Landnutzung kann mit aktuellen Methoden für Gemeinden nur mit sehr grossen Unsicherheiten abgebildet werden. Senken sind heute noch wenig relevant, werden aber in Zukunft von grosser Wichtigkeit sein. Senken, sogenannte negative Emissionen, sind Emissionen, die aus der

Sektoren Landnutzung und Senken: zurzeit noch nicht erhoben

1 BAFU, BFS: Treibhausgas-Fussabdruck.

Atmosphäre entfernt und langfristig gespeichert werden. Negativemissionen werden notwendig sein, um nicht vermeidbare Emissionen in Sektoren wie der Landwirtschaft zu kompensieren und dadurch netto null Emissionen zu erreichen. Zu den Negativemissionen zählen die natürlichen Senkenleistungen von Wald und Boden, aber auch Negativemissionstechnologien, die sich noch in der Entwicklung befinden. Eine Methodik zur Bilanzierung der Negativemissionen wird mit deren zunehmenden Wichtigkeit in einem späteren Schritt in der Klimametrik ergänzt.

Die Klimametrik soll alle zwei Jahre erhoben werden. Das erste Jahr, für welches die Treibhausgas-Emissionen als Startbilanz erhoben wurden ist das Jahr 2020. Jede Erhebung der Klimametrik fokussiert sich auf ein klar definiertes Bezugsjahr. Liegen für ausgesuchte Sektoren und Datengrundlagen für dieses Jahr noch keine Daten vor, so wird die aktuellst mögliche Grundlage verwendet und die Resultate werden als provisorisch gekennzeichnet. Die Resultate werden in der nächsten Erhebung der Klimametrik aktualisiert und als definitiv gekennzeichnet.

Periodizität und
Bezugsjahre der
Klimametrik

Wird in zukünftigen Erhebungen die Methodik der Klimametrik angepasst, so soll die angepasste Methodik nach Möglichkeit rückbezüglich auf die gesamte Zeitreihe der Klimametrik angewendet werden. Dies stellt konsistente Zeitreihen sicher, welche in sich vergleichbar sind.

Umgang mit
methodischen
Anpassungen

Die Methodik und Indikatoren der Klimametrik sollen folgende Kriterien möglichst vollständig erfüllen:

Anforderungen und
Kriterien

- **Genauigkeit:** Die ausgewiesenen Emissionen sollen den tatsächlich ausgestossenen Emissionen möglichst genau entsprechen. In erster Priorität sollen die Emissionen auf Stufe der einzelnen Quellen erhoben werden. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten sind jedoch teilweise Schätzungen nötig.
- **Sensitivität:** Die Resultate und Indikatoren sollen Änderungen über die Zeit und räumlich verteilt tatsächlich und möglichst direkt abbilden. Nur so können Massnahmenwirkungen tatsächlich abgebildet werden.
- **Konsistenz:** Alle erhobenen Resultate sollen konsistent in drei Dimensionen sein: 1) räumlich vergleichbar zwischen den einzelnen Gemeinden, 2) zeitlich vergleichbar zwischen einzelnen Erhebungsjahren und 3) vergleichbar mit übergeordneten Erhebungsmethoden (bspw. Treibhausgasinventar der Schweiz).
- **Vollständigkeit:** Die Treibhausgasemissionen im Kanton Bern sollen möglichst vollständig abgedeckt werden.
- **Räumliche Auflösung:** Die Resultate sollen in hoher räumlicher Auflösung verfügbar sein, idealerweise für einzelne Emissionsquellen, mindestens jedoch für einzelne Gemeinden.
- **Einfachheit der Erhebung:** Die Erhebungen sollen mit geringem Aufwand durchführbar sein. Aufwändigere Erhebungen sollen ausschliesslich für relevante Sektoren und Aktivitäten eingesetzt werden.

2. Klimametrik in der Übersicht

Die Klimametrik verwendet in jedem Sektor die bestmöglichen Datenquellen. Zudem wird ein Fokus auf jenen Sektoren und Aktivitäten gelegt, die einen relevanten Beitrag an den Treibhausgasemissionen haben. Daraus resultieren massgeschneiderte Methoden für die Erhebung der Treibhausgasemissionen in jedem Sektor.

Bestmögliche Daten mit Fokus auf relevante Sektoren und Aktivitäten

Die vorliegende Technische Dokumentation liefert detaillierte Informationen zu den angewendeten Methoden. Für jeden Sektor sind übergeordnet das methodische Vorgehen (Kapitel 3), die zur Verfügung stehenden und verwendeten Datengrundlagen (Kapitel 4) und eine detaillierte Anleitung für die technische Umsetzung (Kapitel 5) beschrieben. Tabelle 1 zeigt pro Sektor, welche Treibhausgasemissionen abgebildet werden und verweist mit Links auf die entsprechenden Inhalte dieser Dokumentation.

Übersicht Technische Dokumentation und Sektoren

Sektoren	Abgebildete Treibhausgasemissionen	Verweise zu Kapiteln
Energetische Emissionen		
Wärme	Emissionen (v.a. CO ₂) aus der Wärmeerzeugung in Einzel- und Gemeinschaftsheizungen für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme in den Bereichen: <ul style="list-style-type: none"> – Gebäude: Haushalte – Gebäude: Dienstleistungen – Industrie: Gebäude und Prozesse – Landwirtschaft 	Methode > 3.1 Datengrundlagen > 4.2 Technische Umsetzung > 5.1
Energieumwandlung	Emissionen (v.a. CO ₂) aus zentralen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen, konkret Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA), Blockheizkraftwerke (BKHV) und Wärmeverbunde sowie Notstromaggregate.	Methode > 3.2 Datengrundlagen > 4.2 Technische Umsetzung > 5.1
Verkehr	Emissionen (v.a. CO ₂) des Strassenverkehrs, des Offroad-Verkehrs und des Schiffverkehrs.	Methode > 3.3; Datengrundlagen > 4.3; Techn. Umsetzung > 5.2
Nicht-energetische Emissionen		
Industrie: Nicht-energetische Emissionen	Emissionen (alle Treibhausgase, inkl. der synthetischen Gase HFCs, PFCs, SF ₆ , NF ₃) aus der Zementproduktion, von Kühlmitteln, Aerosolen und Lösungsmitteln sowie aus der Nutzung von elektrischen Geräten und dem Lösungsmittelverbrauch	Methode > 3.4 Datengrundlagen > 4.4 Technische Umsetzung > 5.3
Landwirtschaft	Emissionen (v.a. CH ₄ und N ₂ O) aus der Nutztierhaltung, Düngelagerung und -applikation und landwirtschaftlichen Böden	Methode > 3.5; Datengrundlagen > 4.5; Techn. Umsetzung > 5.4
Abwasser und Abfall	Emissionen (CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) aus Abwasserreinigung (Abwasserbehandlung, Klärschlammverbrennung, Klärgasbehandlung) und Abfallbewirtschaftung (Deponien, Kompostierung, Biogasanlagen, Krematorien, illegale Verbrennung von Abfall)	Methode > 3.6 Datengrundlagen > 4.6 Technische Umsetzung > 5.5
Flüchtige Emissionen	Flüchtige Emissionen (CO ₂ und CH ₄) aus Transport und Verteilung von Erdgas	Methode > 3.7; Datengrundlagen > 4.7; Techn. Umsetzung > 5.6
Landnutzung (LULUCF)	Bewirtschaftungsart & Wechsel der Bewirtschaftung (z.B. Waldzuwachs oder Wechsel Wald zu Siedlung)	Noch nicht erhoben > 3.8
Senken (Negativemissionen)	Emissionen, die aus der Atmosphäre entfernt und langfristig gespeichert werden.	Noch nicht erhoben > 3.9

Tabelle 1 Abgrenzung der Sektoren für die Klimametrik Kanton Bern

In den folgenden Abschnitten wird pro Sektor zusammengefasst, welche Daten für die Erhebung der Emissionen verwendet werden und welche Massnahmen und Entwicklungen die jeweilige Methodik abbildet.

Energetische Emissionen

Für die Bilanzierung der Wärmeversorgung werden Verbrauchsdaten sowie Anlagendaten verwendet. Die Auswertungen erfolgen dadurch mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung und Genauigkeit. Für eine gute Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Bilanzierungsjahren werden alle Verbrauchsdaten witterungsbereinigt. Die Methodik weist für Verbrauchsdaten eine hohe Sensitivität bezüglich Energieträgerwechsel und Effizienzmassnahmen auf. Bei Energieverbräuchen, die auf Anlagendaten beruhen, wird der Energieträgerwechsel direkt abgebildet. Effizienzmassnahmen können jedoch nicht direkt abgebildet werden.

Sektor Wärme

Für die Bilanzierung der Emissionen im Sektor Energieumwandlung stehen verschiedene Datenquellen zur Verfügung. Nach Möglichkeit werden dabei Absatz- respektive Verbrauchszahlen verwendet. Wie bei der Methodik im Sektor Wärme werden alle Verbrauchsdaten witterungsbereinigt. Die angewendete Methodik weist eine hohe Sensitivität auf. Denn bei der Verwendung effektiver Absatzwerte werden sowohl Effizienzmassnahmen wie auch Energieträgerwechsel abgebildet.

Sektor Energieumwandlung

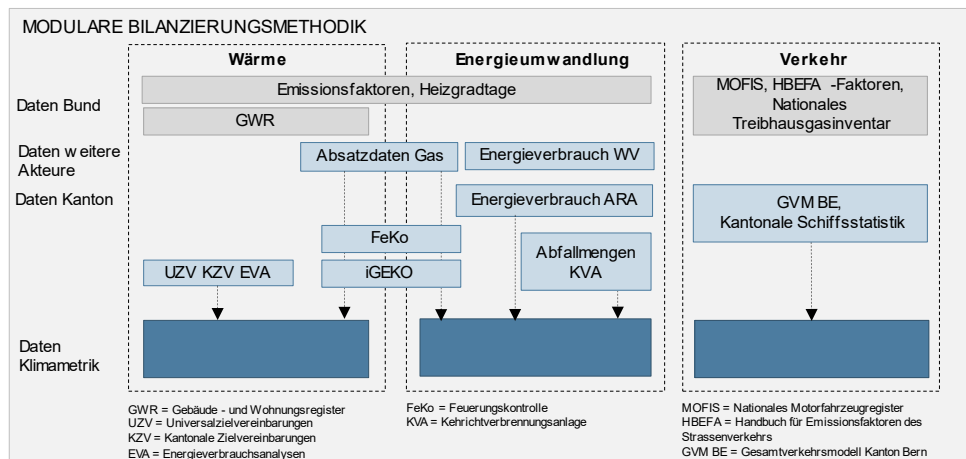


Abbildung 2 Übersicht der verwendeten Datengrundlagen in den Sektoren mit energetischen Emissionen

Im Sektor Verkehr wird der Strassenverkehr im grössten Detailgrad abgebildet. Für die Bilanzierung wird das Territorialprinzip angewendet. Das heisst, es wird ausschliesslich die Fahrleistung innerhalb der Gemeindegrenzen betrachtet. Dabei wird der gemeindeinterne Binnenverkehr vom restlichen Ziel-, Quell- und Durchgangsverkehr unterschieden (s. Abbildung 3). Hauptgrundlagen für die Quantifizierung der Emissionen im Strassenverkehr sind das kantonale Gesamtverkehrsmodell und die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte im jeweiligen Jahr. Das kantonale Gesamtverkehrsmodell, welches die Verkehrsleistung abbildet, wird nur periodisch aktualisiert. Da Veränderungen der Fahrleistung jedoch langsam passieren, ist die Sensitivität des angewendeten Vorgehens gut, da Veränderungen in der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte zeitnah abgebildet werden.

Sektor Verkehr

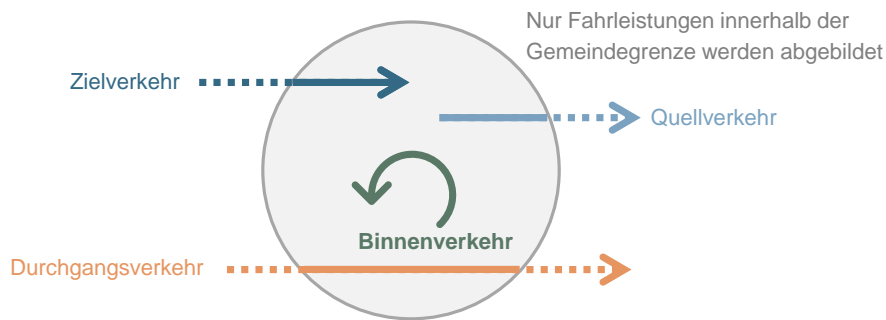


Abbildung 3 Unterscheidung der verschiedenen Verkehrsarten Binnen-, Ziel-, Quer- und Durchgangsverkehr.

Ergänzend zum Strassenverkehr wird der Offroad-Verkehr in Industrie und Forst- und Landwirtschaft und der Schiffverkehr mit einer vereinfachten Methodik berücksichtigt. Der internationale Flugverkehr wäre eine relevante zusätzliche Emissionsquelle. Die Klimametrik fokussiert auf lokale und beeinflussbare Emissionen. Somit wird der gesamte Flugverkehr ausgeklammert.

Nicht-energetische Emissionen

Die Berechnung der nicht-energetischen Treibhausgasemissionen im Bereich Industrie orientieren sich am Treibhausgasinventar der Schweiz. Branchen, die einen Anteil von unter 5% der Emissionen des Sektors ausmachen, werden vernachlässigt. Die Sensitivität der Emissionen im Sektors Industrie unterscheidet sich je nach Branche. Für die Zementproduktion können die effektiven Emissionen als Punktquelle quantifiziert werden und die Werte reagieren damit sensitiv auf ergriffene Massnahmen. Die übrigen nicht-energetischen Emissionen werden über die Bevölkerungsanzahl vom Schweizer Durchschnittswert auf den Kanton, bzw. die Gemeinden heruntergebrochen und sind damit nicht sensitiv auf Massnahmen der Gemeinden.

Sektor Industrie
(Nicht-energetische
Emissionen)

Im Sektor Landwirtschaft strebt der Kanton keine Reduktion auf null Emissionen an und daher werden auch 2050 Emissionen ausgestossen. Zur Erreichung von netto-null müssen diese Emissionen entsprechend durch negative Emissionen aus verschiedenen Sektoren in und ausserhalb des Kantons Bern kompensiert werden. Der Kanton Bern erhebt jährlich umfassende Daten zu allen landwirtschaftlichen Betrieben im Kanton. Die Zahlen zu den Tierbeständen und der landwirtschaftlichen Nutzfläche können pro Gemeinde zusammengefasst werden. Mit der angewendeten Methode werden strukturelle Veränderungen gut abgebildet (Anzahl Nutztiere, Landnutzung). Massnahmen, welche Treibhausgasemissionen über die Art der Tierhaltung und die Bewirtschaftung der Böden reduzieren, werden noch kaum abgebildet. Zurzeit fliesst als solche Massnahme nur die Schleppschlanchanwendung in die Bilanzierung ein. Der Kanton plant jedoch eine Vertiefung der Methodik, mit welcher die Wirkung von Massnahmen besser abgebildet werden soll.

Sektor Landwirt-
schaft

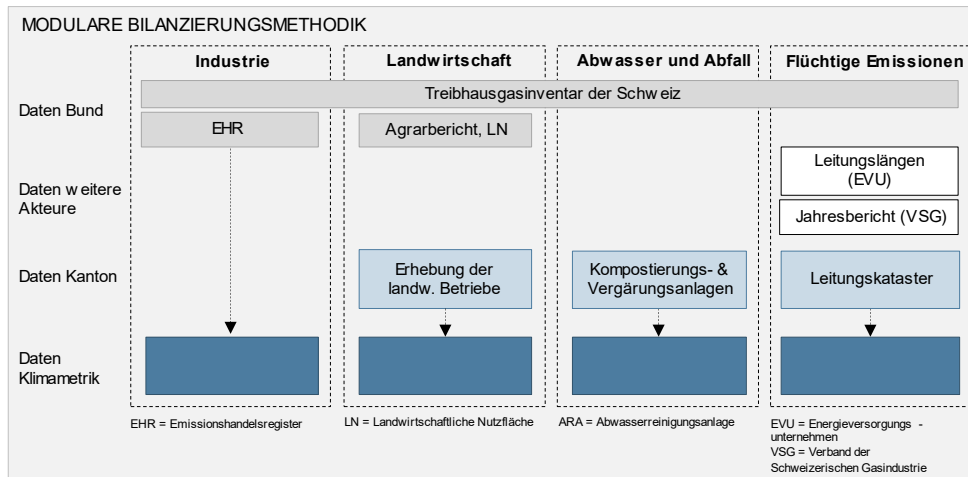


Abbildung 4 Übersicht der verwendeten Datengrundlagen in den Sektoren mit nicht-energetischen Emissionen

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Bereich Abwasser und Abfall orientiert sich am Treibhausgasinventar der Schweiz. Die Schweizer Emissionen des Abwassers werden basierend auf der Anzahl der an eine ARA angeschlossenen EinwohnerInnen pro Gemeinde berechnet. Dasselbe Vorgehen wird für die Emissionen in Deponien, Kompostierung und Biogasanlagen angewendet. Die Emissionen der industriellen Kompostierungsanlagen und der Biogasanlagen sind durch den Kanton erhobene Werte und damit sensitiv auf Entwicklungen. Für die restlichen Emissionen können konkrete Reduktionsmassnahmen jedoch nur bedingt abgedeckt werden, die Sensitivität des Sektors Abwasser und Abfall ist daher eher gering.

Sektor Abwasser und Abfall

Die Bilanzierung der flüchtigen Emissionen des Kantons Bern basiert auf dem Treibhausgasinventar und sind abhängig von der Leitungslänge des Gasnetzes in den Gemeinden. Die flüchtigen Emissionen des Kantons Bern und der jeweiligen Gemeinden können anhand der Länge des Gasnetzes innerhalb des Kantons und der jeweiligen Gemeinde von den nationalen Emissionen heruntergebrochen werden. Die verwendeten Datenquellen weisen eine hohe Sensitivität bei Stilllegungen des Gasnetzes auf, soweit die Daten zum Gasnetz regelmässig aktualisiert werden können.

Sektor Flüchtige Emissionen

3. Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird das Methodische Vorgehen zur Erhebung der Klimametrik nach Sektoren aufgezeigt.

Vorgehen nach Sektoren

3.1 Wärme

3.1.1 Beschreibung

Die Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung setzen sich zusammen aus Emissionen aus den folgenden Bereichen:

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

- Gebäude (Haushalte): Dies beinhaltet die Emissionen aus dem Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwassererzeugung von Wohngebäuden.
- Gebäude (Dienstleistungen): Dies beinhaltet die Emissionen aus dem Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwassererzeugung von Dienstleistungsgebäuden.
- Industrie: Dies beinhaltet die Wärmeerzeugung in der Industrie. Neben der Raumwärme und der Warmwassererzeugung enthält die Industrie auch Emissionen aus der Prozessenergieerzeugung.
- Landwirtschaft: Dies beinhaltet die Wärmeerzeugung in der Landwirtschaft und beinhaltet sowohl die Raumwärme und Warmwassererzeugung als auch die benötigte Wärme des landwirtschaftlichen Betriebs (Heutrocknung, Stallheizung, etc.).

Für die Treibhausgasemissionen sind die Energieträger Erdgas und Heizöl relevant, die Emissionen der Holzverbrennung und von Biogas sind nicht fossil und werden somit nicht angerechnet.

Die relevanten Treibhausgasemissionen sind ausschliesslich CO₂. Bei der Holzverbrennung können zusätzlich CH₄-Emissionen entstehen, dies insbesondere bei alten Öfen oder bei handbeschickten Scheitholzöfen und vor allem bei Holz von schlechter Qualität. Bei Öl- und Gasheizungen entweichen zudem Lachgasemissionen. Aufgrund der schwierigen Quantifizierung und der geringen Menge werden diese Emissionen vernachlässigt.

3.1.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Eine Abgrenzung ist relevant zu folgenden Sektoren:

Abgrenzung zu Industrie, Landwirtschaft und Energieumwandlung

- Industrie (Nicht-energetische Emissionen): Sämtliche nicht-energetische Emissionen aus industriellen Aktivitäten werden dem Sektor Industrie (Nicht-energetische Emissionen) angerechnet.
- Landwirtschaft: Emissionen, die bei der Wärmeerzeugung im Sektor Landwirtschaft entstehen, werden dem Sektor Wärme angerechnet.
- Energieumwandlung: Emissionen aus der Wärmeproduktion in grösseren Anlagen wie Wärmeverbunden, Wärmekraftkopplungs-Anlagen (WKK), ARA, Notstromanlagen und Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) werden dem Sektor Energieumwandlung angerechnet.

3.1.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet, detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.2:

Verwendete Datengrundlagen

- Gebäude- und Wohnungsregister (GWR)
- Absatzdaten Gas
- Energieverbrauchsdaten von Grossverbrauchern (Universalzielvereinbarungen, Kantonale Zielvereinbarungen, Energieverbrauchsanalysen)
- Energieverbrauchsdaten Wärmeverbunde
- Feuerungskontrolle
- iGEKO Feuerungsanlagen
- Heizgradtage

3.1.4 Methodisches Vorgehen

Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung soll verbraucherscharf auf Basis konkreter Quellen erfolgen, sodass realitätsnahe Aussagen zu den Treibhausgasemissionen gemacht werden können. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der verwendeten Datengrundlagen in den beiden Sektoren Wärme und Energieumwandlung. In diesen Sektoren werden ähnliche Datengrundlagen genutzt und die Beschreibung der technischen Umsetzung im Kapitel 5.1 erfolgt für beide Sektoren gemeinsam.

Abgestimmte Methodik in Sektoren Wärme und Energieumwandlung

Datengrundlage	Sektoren		
	Energieumwandlung	Wärme	
	Bereiche	Wärmeverbunde, Fernwärme, Notstromanlagen	Haushalte, Dienstleistungen, Industrie, Landwirtschaft
Gasabsatzdaten (verbraucherscharf)		✓	✓
UZV, KZV, EVA (Verbrauch fossiler Energieträger ausser leitungsgebundenem Gas)			✓
Energieverbrauch Wärmeverbunde		✓	
Feuerungskontrolle			✓
iGEKO (Grossfeuerungen, Notstromanlagen, BHKW)		✓	✓
Energieverbrauch ARA		✓	
Erhebung der Betriebsdaten von Kehrlichverbrennungsanlagen und Deponien		✓	

Tabelle 2 Nutzung der Datengrundlagen für die Sektoren Energieumwandlung und Wärme

Zur Erhebung der Emissionen werden folgende Datenquellen verwendet: Erste Priorität haben Absatz- und Verbrauchsdaten, zweite Priorität Anlagendaten. Hierbei muss insbesondere beachtet werden, dass keine Doppelzählungen durch die Verwendung mehrerer Datenquellen oder durch Zuordnung zu mehreren Sektoren entstehen. Alle Datensätze werden über

Verbrauchs- und Anlagendaten

die Adresse mit dem GWR-Datensatz verknüpft und jede Adresse einem eindeutigen Sektor, respektive Bereich zugeordnet. Blockheizkraftwerke (BHKW), Notstromanlagen, KVA und Wärmeverbunde werden dem Sektor Energieumwandlung zugeordnet und im Sektor Wärme nicht berücksichtigt.

Unter einer Witterungskorrektur wird die Umrechnung des Energieverbrauchs auf ein durchschnittliches Jahr, also das Herausrechnen witterungsbedingter Effekte, verstanden. Diese Witterungskorrektur ist nur nötig bei effektiven Absatz- respektive Verbrauchsdaten. Das heisst bei den Gasabsatzdaten, Heizölverbräuchen von Wärmeverbunden sowie bei Energieverbrauchsdaten der Grossverbraucher (UZV, KZV, EVA). Bei der Witterungskorrektur wird den Anteilen Warmwasser und Prozesswärme Rechnung getragen, da diese Energieverbräuche nicht witterungsabhängig sind. Die Verbrauchsdaten werden mithilfe der Anzahl Heizgradtage auf einen Verbrauch in einem durchschnittlich warmen Jahr korrigiert. Als Referenz wird jeweils ein gleitendes Mittel der Heizgradtage der letzten zehn Jahre verwendet.

Witterungskorrektur

Bei der Berechnung des Energieverbrauchs über die Anlagendaten müssen Annahmen für die Volllaststunden getroffen werden. Hierfür werden für verschiedene Kategorien von Verbrauchern aus den effektiven Gasabsatzdaten und den Leistungen der Gasfeuerungen (Feuerungskontrolle) Volllaststunden abgeschätzt. Diese Werte werden anschliessend auf die Anlagendaten der Ölfeuerungen angewendet.

Erhebung von Volllaststunden

Die Zuordnung der erhobenen Energieverbräuche auf die Bereiche Gebäude (Haushalte), Gebäude (Dienstleistungen), Industrie und Landwirtschaft ist insbesondere in Mischzonen oder Gebäuden mit teilweiser Wohnnutzung eine Herausforderung. Für die Zuordnung werden jedem Verbraucher Informationen zum Gebäude- respektive Verbrauchertyp zugeordnet. Hierbei werden Informationen zum Feuerungstyp aus iGEKO sowie die Informationen zu Gebäudetypen aus den GWR-Daten verwendet.

Aufteilung der Emissionen auf Bereiche

Für jede Gemeinde wird der Energieverbrauch nach Energieträger aufsummiert und anschliessend die Treibhausgasemissionen mithilfe der Emissionsfaktoren des BAFU nach Bereich und Energieträger berechnet.

Treibhausgasbilanz pro Gemeinde

Die Resultate der Bilanz werden mit folgendem Vorgehen plausibilisiert. Die Summe der gebäudescharfen Gasabsätze im Gesamtdatensatz wird verglichen mit den Gasabsatzdaten pro Gemeinde. Bei den Ölheizungen wird aus der Summe aller Leistungen mit einer Annahme für die durchschnittlichen Volllaststunden der Energieverbrauch mit der Summe der gebäudescharfen Energieverbräuche plausibilisiert.

Plausibilisierung

3.1.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Wärme werden mit folgenden Indikatoren beschrieben:

Indikatoren Treibhausgasbilanz

- Treibhausgasemissionen in t CO₂eq pro Energieträger (Heizöl, Erdgas und andere Energieträger) und nach folgenden Bereichen:
 - Gebäude (Haushalte): Emissionen aus dem Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwassererzeugung von Wohngebäuden.
 - Gebäude (Dienstleistungen): Emissionen aus dem Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwassererzeugung von Dienstleistungsgebäuden.
 - Industrie: Dies beinhaltet die Wärmeerzeugung in der Industrie. Neben der Raumwärme und der Warmwassererzeugung enthält die Industrie auch Emissionen aus der Prozessenergieerzeugung.
 - Landwirtschaft: Dies beinhaltet die Wärmeerzeugung in der Landwirtschaft und beinhaltet sowohl die Raumwärme und Warmwassererzeugung als auch die benötigte Wärme des landwirtschaftlichen Betriebs (Heutrocknung, Stallheizung, etc.).

Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden pro Gemeinde die folgenden Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben:

Ergänzende Indikatoren

- Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf)
- Treibhausgasemissionen pro Person nach Bereich (t CO₂eq pro Kopf)
- Endenergieverbrauch pro Energieträger (Heizöl, Erdgas, Biogas und andere fossile Energieträger) und nach den Bereichen Haushalte, Dienstleistungen, Industrie und Landwirtschaft (kWh)
- Anteil erneuerbare Gase (%)
- Anzahl Heizöl-Feuerungen und Gasverbraucher (Anzahl)
- Leistung der Heizöl-Feuerungen (kW)

3.1.6 Bewertung

Tabelle 3 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Wärme. Die Methodik erfüllt die meisten Kriterien in hohem Ausmass, jedoch auf Kosten eines hohen Aufwands.

Bewertung des angewendeten Vorgehens

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●●○	Die Verwendung tatsächlicher Emissions- und Absatzdaten sichert eine hohe Genauigkeit. Die Emissionen von Heizölfeuerungen müssen mit einer gewissen Ungenauigkeit aus Anlagendaten geschätzt werden. Ebenso ist die Schätzung der Aufteilung auf Sektoren und Bereiche mit Ungenauigkeit verbunden.
Sensitivität	●●●○	Die verwendeten Datenquellen weisen eine hohe Sensitivität auf. Wichtig ist sicherzustellen, dass der Einfluss der Witterung Aussagen zur Entwicklung der Emissionen im Jahresvergleich nicht verunmöglicht (Witterungsbereinigung). Bei Emissionserhebungen, die nur auf Anlagendaten beruhen, können Effizienzmassnahmen nicht direkt

		abgebildet werden und sind somit nur auf Heizungswechsel, nicht aber auf Gebäudehüllensanierungen sensitiv.
Konsistenz	●●●●●	Vergleiche zwischen Gemeinden und einzelnen Jahren sind konsistent, wenn der Einfluss der Witterung korrigiert wird. Die Methodik entspricht dem Territorialprinzip.
Vollständigkeit	●●●●●	Die verwendeten Datenquellen decken die Wärmeerzeugung vollständig ab. Wichtig ist die Abgrenzung der Datenquellen untereinander zur Vermeidung von Doppelzählungen.
Räumliche Auflösung	●●●●●	Die Bilanzierung erfolgt verbraucherscharf und somit räumlich in hoher Auflösung.
Einfache Umsetzung	●○○○○	Die Bilanzierung erfolgt räumlich hoch aufgelöst auf Gebäudeebene und führt daher zu hohen Aufwänden. Die Datenerhebung und -verknüpfung im Allgemeinen und die Zuordnung der Treibhausgasemissionen zu den verschiedenen Bereichen im Spezifischen ist aufgrund der zahlreichen verwendeten Datenquellen aufwändig.

Tabelle 3 Bewertung der Methodik im Sektor Wärme

3.2 Energieumwandlung

3.2.1 Beschreibung

Die Treibhausgasemissionen der Energieumwandlung setzen sich zusammen aus Emissionen aus den folgenden Bereichen:

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

- Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)
- Blockheizkraftwerke (BHKW)
- Wärmeverbunde (grössere Verbunde, die in der Datengrundlage iGEKO als Wärmeverbunde identifiziert sind)
- Notstromanlagen (NOST)
- Ölverbrauch in Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Für die Treibhausgasemissionen sind die Energieträger Erdgas, Heizöl sowie Abfälle relevant. Die relevanten Treibhausgasemissionen sind CO₂.

3.2.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Eine Abgrenzung ist relevant zu folgenden Sektoren:

Abgrenzung zu Sektoren Wärme und Abfall

- Wärme: Dezentrale Wärmeerzeugung in Industrieanlagen (Prozesswärme) oder Wohn- und Dienstleistungsgebäuden (Raumwärme und Warmwasser; in Einzelheizungen oder Gemeinschaftsheizungen) werden dem Sektor Wärme zugeordnet.
- Abfall: Die Abfallbewirtschaftung wie Deponien, biologische Verarbeitung durch Kompostierung und Biogasanlagen sind im Sektor Abwasser und Abfall enthalten.

3.2.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet, detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.2:

Verwendete Datengrundlagen

- Absatzdaten Gas
- Energieverbrauchsdaten Heizöl von Wärmeverbunden
- Energieverbrauchsdaten Heizöl und Biogas in ARA
- Feuerungskontrolle
- iGEKO Feuerungsanlagen (BHKW, Notstromanlagen, Wärmeverbunde)
- Erhebung der Betriebsdaten von Kehrichtverbrennungsanlagen und Deponien

3.2.4 Methodisches Vorgehen

Das Vorgehen für die Erhebung der Treibhausgasemissionen unterscheidet sich für Wärmeverbunde, BHKW und KVA.

Wärmeverbunde, BHKW, Notstromanlagen und ARAs

Für die Bilanzierung der Emissionen für Wärmeverbunde und BHKW stehen verschiedene Datenquellen zur Verfügung. Effektive Verbrauchs- oder Absatzzahlen sind dabei Abschätzungen basierend auf Feuerungsleistung-

Vorgehen vergleichbar mit Sektor Wärme

gen vorzuziehen. Es wird methodisch das gleiche Vorgehen wie beim Sektor Wärme verfolgt mit den folgenden Schritten.

Wärmeverbunde, BHKW und Notstromanlagen werden in der Feuerungskontrolle aufgrund der Beschreibung der Anlage identifiziert. Die Gasverbräuche können den verbraucherscharfen Gasabsatzdaten entnommen werden. Die Heizölverbräuche von Wärmeverbunden müssen separat erhoben werden. Die Energieverbräuche von Biogas und Heizöl in ARAs können der kantonalen Erhebung der technischen Kennzahlen für Abwasserverbände entnommen werden. Für Anlagen, bei denen keine Verbrauchswerte vorliegen, müssen die Heizölverbräuche geschätzt werden. Die Schätzung erfolgt basierend auf der Leistung des Heizkessels sowie einer Annahme für die Volllaststunden, welche auf den kantonalen Gasabsatzdaten und der Feuerungskontrolle basiert. Für Wärmeverbunde und ARAs ohne Verbrauchsdaten werden die Volllaststunden über die für diese Anlagentypen erhobenen Verbräuche und die entsprechenden Leistungen aus der Feuerungskontrolle berechnet. Es muss beachtet werden, dass die Feuerungen (Gas und Öl), welche dem Sektor Energieumwandlung zugeordnet werden, nicht in die Bilanzierung des Sektors Wärme einfließen, da es sonst zu Doppelzählungen kommt.

Verbrauchs- und Anlagendaten

Unter Witterungskorrektur wird die Umrechnung des Energieverbrauchs auf ein durchschnittliches Jahr, also das Herausrechnen witterungsbedingter Effekte, verstanden. Diese Witterungskorrektur ist nur nötig bei effektiven Absatz- respektive Verbrauchsdaten, nicht bei Schätzungen des Verbrauchs basierend auf Anlagendaten. Für die Witterungsbereinigung werden die Anteile von Raumwärme, Prozesswärme und Warmwasser berücksichtigt, da diese in unterschiedlicher Masse von der Witterung abhängig sind. Die Verbrauchsdaten werden mithilfe der Anzahl Heizgradtage auf einen Verbrauch in einem durchschnittlich warmen Jahr korrigiert. Als Referenz wird jeweils ein gleitendes Mittel der Heizgradtage der letzten zehn Jahre verwendet.

Witterungskorrektur

KVA

Die Emissionen aus Kehrichtverbrennungsanlagen werden pro Anlage mit der Menge an jährlich verbranntem Abfall, sowie dem Emissionsfaktor für Abfallverbrennung des BAFU berechnet. Unterstützungsheizungen der KVA werden auch dem Sektor Energieumwandlung angerechnet und müssen somit in den verbraucherscharfen Daten identifiziert werden.

Emissionen KVA

Die Zuordnung der Emissionen der einzelnen Anlagen auf die Gemeinden erfolgt mittels Territorialprinzip gemäss dem Standort der Anlage.

Treibhausgasbilanz pro Gemeinde

3.2.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Energieumwandlung werden mit folgenden Indikatoren beschrieben:

Indikatoren Treibhausgasbilanz

— Treibhausgasemissionen in t CO₂eq pro Energieträger (Heizöl, Erdgas und Andere) und nach Bereichen:

- Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)
- Wärmeverbunde

- Weitere Bereiche (ARA, Blockheizkraftwerke und Notstromanlagen)

Neben den Treibhausgasemissionen werden pro Gemeinde folgende Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben:

Ergänzende Indikatoren

- Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf)
- Treibhausgasemissionen pro Person nach Bereich (t CO₂eq pro Kopf)
- Endenergieverbrauch pro Energieträger (Heizöl, Erdgas, Biogas und andere fossile Energieträger) und nach den Bereichen KVA, Wärmeverbunde und weitere Bereiche (kWh)
- Anteil erneuerbare Gase (%)
- Anzahl Heizöl-Feuerungen und Gasverbraucher (Anzahl)
- Leistung der Heizöl-Feuerungen (kW)

3.2.6 Bewertung

Tabelle 4 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Energieumwandlung. Wie im Sektor Wärme erfüllt die Methodik die meisten Kriterien in hohem Ausmass. Aufgrund der geringeren Anzahl Anlagen ist der damit verbundene Aufwand etwas geringer als im Sektor Wärme.

Bewertung des angewendeten Vorgehens

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●●●○	Wenn keine effektiven Absatzdaten für den Ölverbrauch in Wärmeverbunden und BHKW vorhanden sind, sind die Emissionen über die Leistung nur schwierig genau zu bestimmen. Emissionen von Gasfeuerungen können jedoch genau erhoben werden.
Sensitivität	●●●●○	Die verwendeten Datenquellen weisen, insbesondere bei der Verwendung effektiver Absatzwerte, eine hohe Sensitivität auf. Wichtig ist sicherzustellen, dass der Einfluss der Witterung Aussagen zur Entwicklung der Emissionen im Jahresvergleich nicht verunmöglicht (Witterungsbereinigung).
Konsistenz	●●●●●	Vergleiche zwischen Gemeinden und einzelnen Jahren sind konsistent, wenn der Einfluss der Witterung korrigiert wird. Die Methodik entspricht dem Territorialprinzip und ist daher mit der schweizweiten Bilanzierung konsistent.
Vollständigkeit	●●●●●	Die verwendeten Datenquellen decken die Energieumwandlung vollständig ab. Wichtig ist die Abgrenzung der Datenquellen untereinander und das Vermeiden von Doppelzählungen, an der Schnittstelle zu den Sektoren Wärme und Industrie.
Räumliche Auflösung	●●●●●	Die Bilanzierung erfolgt verbraucherscharf und somit räumlich in hoher Auflösung.
Einfache Umsetzung	●●●○○	Da sich die Anzahl Anlagen in Grenzen hält, ist der Aufwand überschaubar. Bei der Allokation der Emissionen pro Gemeinde und bei der Abgrenzung zwischen den Sektoren fällt jedoch ein grösserer Aufwand durch die teilweise händische Zuordnung der Feuerungen zu den Sektoren an.

Tabelle 4 Bewertung der Methodik im Sektor Energieumwandlung

3.3 Verkehr

3.3.1 Beschreibung

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Verkehr setzen sich zusammen aus Emissionen der folgenden Bereiche:

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

- Strassenverkehr: Personenwagen, Motorräder, leichter und schwerer Nutzverkehr, Reisebusse, Linienbusse
- Offroad-Verkehr: Fahrzeuge und Maschinen in der Industrie, in der Forst- und Landwirtschaft, im Gewerbe und in Haushalten
- Übriger Verkehr: nationaler Schiffsverkehr, nationaler Flugverkehr, nationaler Bahnverkehr, Militärverkehr

Die Emissionen des Sektors Verkehr entsprechen 2019 national insgesamt 15.9 Mio. t CO₂eq (35.9 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz). Die Emissionen aus dem Strassenverkehr entsprechen dabei über 91 %. Der Offroad-Verkehr von Fahrzeugen und Maschinen in der Industrie entspricht ca. 4.0 % dieser Emissionen, Fahrzeuge und Maschinen in der Forst- und Landwirtschaft verursachen ca. 2.4 %, solche von Gewerbe und Haushalte je 0.1 %. Der nationale Schiffsverkehr, der nationale Flugverkehr und der Militärverkehr machen je ca. 0.7 % aus und der nationale Bahnverkehr nur 0.2 %.

Die Methodik der Klimametrik bildet den Strassenverkehr im grössten Detailgrad ab (vgl. 3.3.4). Ergänzend zum Strassenverkehr wird der Offroad-Verkehr in Industrie und Forst- und Landwirtschaft und der Schiffverkehr mit einer vereinfachten Methodik berücksichtigt. Der restliche Offroad-Verkehr, der Bahnverkehr, der Militärverkehr und der nationale Flugverkehr werden vernachlässigt. Der internationale Flugverkehr wäre eine relevante zusätzliche Emissionsquelle. Die Klimametrik fokussiert auf lokale und beeinflussbare Emissionen. Somit wird der gesamte Flugverkehr ausgeklammert.

Fokus der Klimametrik

Für die Treibhausgasemissionen relevant sind die Energieträger Benzin, Diesel und Gas. Die Treibhausgasemissionen beinhalten ausschliesslich CO₂ aus der Verbrennung der Treibstoffe. Zusätzliche CH₄- und N₂O-Emissionen werden vernachlässigt, da sie schweizweit jeweils weniger als 0.1 bzw. 0.8% der Emissionen im Sektor Verkehr ausmachen.

3.3.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Eine Abgrenzung ist relevant zu folgenden Sektoren:

- Industrie (Nicht-energetische Emissionen): Emissionen aus dem Betrieb von Bau- und Industriemaschinen werden im Sektor Verkehr abgebildet.
- Landwirtschaft: Emissionen aus dem Betrieb land- und forstwirtschaftlicher Fahrzeuge werden im Sektor Verkehr abgebildet.

Abgrenzung zu Sektoren Industrie und Landwirtschaft

3.3.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet, detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.3:

Verwendete Datengrundlagen

- Nationales Motofahrzeugregister (MOFIS)
- Kantonale Schiffsstatistik der Vereinigung der Schifffahrtsämter
- Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern (GVM BE)
- Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA)
- Nationales Treibhausgasinventar

3.3.4 Methodisches Vorgehen

Das angewendete und unten beschriebene methodische Vorgehen fokussiert auf den Strassenverkehr. Ergänzend wird der Offroad-Verkehr in Industrie und Forst- und Landwirtschaft in einer vereinfachten Methodik berücksichtigt. Da im Kanton Bern viele bedeutende Schweizer Seen liegen und die Schifffahrt stark durch den Kanton beeinflusst werden kann, wird zudem der Schiffsverkehr in einer vereinfachten Methodik ebenfalls bilanziert. Der restliche Offroad-Verkehr, der Bahnverkehr, der Militärverkehr und der Flugverkehr werden vernachlässigt. Grund dafür sind die geringe CO₂-Intensität bzw. die geringe Beeinflussbarkeit durch den Kanton und die Gemeinden. Insbesondere der internationale Flugverkehr wäre eine relevante zusätzliche Emissionsquelle, die sich zudem sehr dynamisch entwickelt. Da die kantonale Klimametrik jedoch auf lokale und durch die Gemeinden und den Kanton beeinflussbare Emissionen fokussiert, wird der gesamte Flugverkehr ausgeklammert. Zudem wird auch der Langsamverkehr (z.B. Fussverkehr, Veloverkehr etc.) nicht betrachtet, da er keine direkten THG-Emissionen verursacht. Damit werden im Rahmen dieser Methodik auch keine ergänzenden Indikatoren zu Fuss- und Veloverkehr ausgewiesen.

Fokus auf den Strassenverkehr

Strassenverkehr (motorisierter Individualverkehr (MIV), Nutzverkehr)

Da Verkehrsfahrzeuge diffuse und mobile THG-Quellen sind, erfolgt die Analyse des Strassenverkehrs stets mittels einer Modellierung. Für die Bilanzierung des modellierten Verkehrs sind grundsätzlich zwei Optionen denkbar: Bilanzierung nach Territorialprinzip (Bilanzierung des gesamten Verkehrs auf jeweiligem Territorium) oder nach Verursacherprinzip (Bilanzierung des gesamten Verkehrs der im jeweiligen Territorium immatrikulierten Fahrzeuge). Beide haben entscheidende Vor- und Nachteile, weshalb eine Kombination der beiden Prinzipien angewendet wird. Grundsätzlich erfolgt die Bilanzierung nach Territorialprinzip, sie wird jedoch durch eine Differenzierung des gemeindeinternen Binnenverkehrs und des restlichen Verkehrs über die Gemeindegrenzen hinaus verfeinert. Damit können für den gemeindeinternen Verkehr auch die tatsächlichen Emissionsfaktoren der Gemeindeflotte verwendet werden.

Methode zur Erhebung der Emissionen des Strassenverkehrs

Für den motorisierten Individualverkehr und den Nutzverkehr wird dabei anhand der in der Folge beschriebenen Schritte vorgegangen. Abbildung 5 dient dabei als Übersicht, wie die verschiedenen Daten und Zwischenergebnisse verknüpft werden.

In einem ersten Schritt werden territoriale Fahrleistungen erhoben. Die Hauptquelle für die Ermittlung der territorialen Fahrleistung pro Gemeinde

Territoriale Fahrleistungen des MIV und Nutzverkehrs pro Gemeinde aus dem GVM BE

(Fahrzeugkilometer pro Jahr) ist das kantonale Gesamtverkehrsmodell. Es wird für folgende Arbeitsschritte verwendet:

- Modellierung der gesamten Fahrleistung (Fahrzeugkilometer) auf dem Territorium jeder Gemeinde
- Aufteilung der Fahrleistung nach Fahrzeugkategorien (Personenwagen und Motorräder, Lieferwagen, Lastwagen und Cars, Last- und Sattelzüge)
- Aufteilung der Fahrzeugkategorien (und entsprechenden Fahrleistung) nach nationalen Hochleistungsstrassen (Autobahn inkl. Auffahrten, andere nationale Strassen) und allen restlichen Strassen
- Aufteilung der Fahrleistung pro Strassentyp nach Verkehrsarten (Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr)

Im zweiten Schritt werden die Fahrzeugbestände ermittelt. Zur Verfeinerung der Bilanzierung nach Territorialprinzip wird die Flottenzusammensetzung für den Binnenverkehr pro Gemeinde differenziert. Für den restlichen Verkehr (Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr) wird mit einer durchschnittlichen Flotte des Kantons gerechnet. Die Ermittlung der Flottenzusammensetzung erfolgt über folgende Arbeitsschritte:

Erhebung der fahrleistungsgewichteten Flottenzusammensetzung des Kantons und pro Gemeinde

- Ermittlung Flottenzusammensetzung (nach Anzahl immatrikulierten Fahrzeugen) nach Fahrzeugkategorie², Antriebsart³ und Alter der Fahrzeuge aus Motorfahrzeuginformationssystem der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (MOFIS)
- Gewichtung der Fahrzeugflotte auf Basis der abnehmenden spezifischen Fahrzeuggesteuerung (Kilometer pro Fahrzeug) mit fortschreitendem Alter und differenziert nach Fahrzeugkategorie und Grössenklassen.

Der Arbeitsschritt zur Erhebung der Flottenzusammensetzung werden für den gesamten Kanton, sowie einmal für jede Gemeinde einzeln durchgeführt.

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren (Gramm CO₂eq pro Fahrzeugkilometer) der verschiedenen Gemeinde- und Kantonsflotten, werden im dritten Schritt differenzierte Emissionsfaktoren der Fahrzeuge mit den in Schritt 2 ermittelten Flottenzusammensetzungen verbunden. Hauptquelle für die differenzierten Emissionsfaktoren (nach Fahrzeugkategorie, Antriebsart, Alter der Fahrzeuge und, falls vorhanden, Grössenklasse) ist das Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA).

Erhebung fahrleistungsgewichteter Emissionsfaktoren

Die Gesamtemissionen des MIV und des Nutzverkehrs pro Gemeinde werden schliesslich im vierten und letzten Schritt mittels folgender Arbeitsschritte berechnet:

Berechnung Gesamtemissionen pro Gemeinde nach Verkehrsart und Strassentyp

2 Fahrzeugkategorien: Personenwagen (PW) und Motorräder (MR), Lieferwagen (LI), Lastwagen und Cars (LW), Last- und Sattelzüge (LZ/SZ)

3 Antriebsarten: Benzin, Diesel, Gas, hybrid-elektrisch, vollelektrisch, Wasserstoff

- Berechnung der Emissionen des Binnenverkehrs mittels gemeindespezifischer Fahrleistung des Binnenverkehrs (Schritt 1) und gemeindespezifischem Emissionsfaktor der Flotte (Schritt 3)
- Berechnung der Emissionen des restlichen Verkehrs mittels gemeindespezifischer Fahrleistung des Quell-/Ziel- und Durchgangsverkehrs (Schritt 1) und kantonalem Emissionsfaktor der Flotte (Schritt 3)

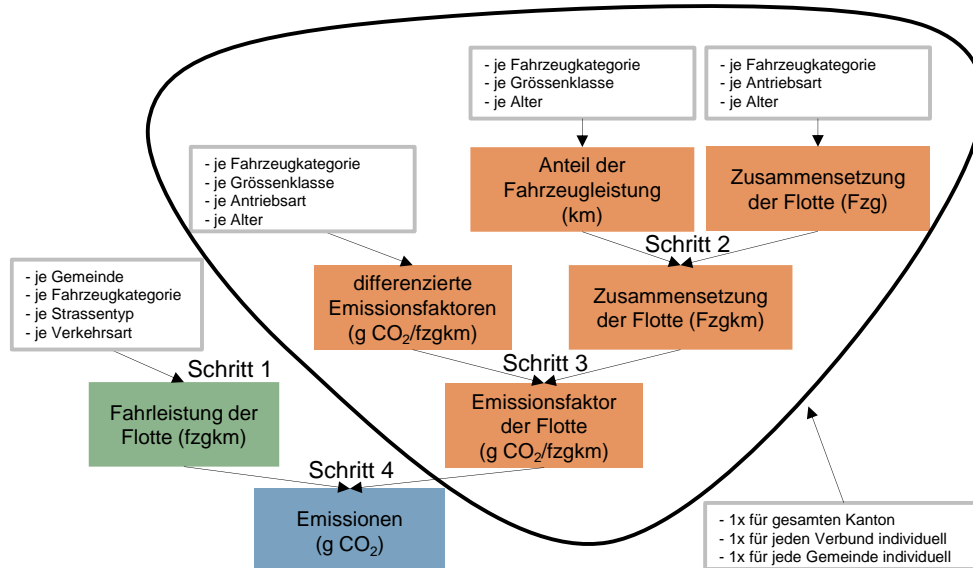


Abbildung 5 Übersicht über Vorgehen der Bilanzierung im Strassenverkehr

Strassenverkehr (öffentlicher Verkehr, ÖV)

Das Vorgehen zur Ermittlung der Emissionen im öffentlichen Strassenverkehr (Linienbusse) ist weitgehend analog zum Vorgehen im MIV und Nutzverkehr. In einem ersten Schritt werden ebenfalls die territorialen Fahrleistungen aus dem kantonalen Gesamtverkehrsmodell ermittelt. Die Flottenzusammensetzung und Verknüpfung mit differenzierten Emissionsfaktoren wird methodisch gleich wie beim restlichen Strassenverkehr eruiert – die fahrleistungsgewichteten Emissionsfaktoren der Busflotten werden jedoch auf Ebene von regionalen Verkehrsverbänden ermittelt, da die Fahrzeuge nur in Ausnahmefällen direkt in den jeweiligen Gemeinden immatrikuliert sind (vgl. Abbildung 5).

Vorgehen im ÖV weitgehend analog

Schiffsverkehr und Offroadverkehr

Der Schiffsverkehr und der Offroadverkehr aus Industrie und Landwirtschaft werden jeweils mittels einer Top-down-Modellierung auf Basis des Schweizerischen Treibhausgasinventars abgeschätzt. Um die nationalen Treibhausgasemissionen des Schiffsverkehrs räumlich aufzuteilen, dienen kantonale Statistiken der Vereinigung der Schifffahrtsämter (vks), Statistiken der Schweizer Schifffahrtsgesellschaften zu ihren Kursschiffлотten, individuelle Auswertungen des kantonalen Schifffahrtsamts des Kantons Bern, geografische Gewässeranstösse und die Bevölkerungszahl. Um die Emissionen des Offroadverkehrs zu allozieren, wird das nationale Motorfahrzeugregister nach der Verteilung der landwirtschaftlichen und industriellen Fahrzeuge und Maschinen ausgewertet.

Anwendung einer Top-down Methode

3.3.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr werden mit folgenden Indikatoren beschrieben:

Indikatoren Treibhausgasbilanz

- Treibhausgasemissionen (t CO₂eq) des motorisierten Individualverkehrs und des Nutzverkehrs aufgeteilt nach Fahrzeugkategorie, Verkehrsstrom und Strassentyp:
 - Strassentyp: nationale Hochleistungsstrassen (Autobahn inkl. Auffahrten, andere nationale Strassen), alle restlichen Strassen
 - Verkehrsstrom: Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr
 - Fahrzeugkategorie: Personenwagen und Motorräder, leichte Nutzfahrzeuge, Lastwagen und Reisebusse, Last-/Sattelzüge
- Treibhausgasemissionen (t CO₂eq) des öffentlichen Strassenverkehrs, aufgeteilt nach Betreibern
- Treibhausgasemissionen (t CO₂eq) des Offroad-Verkehrs, aufgeteilt auf Fahrzeuge und Maschinen in der Industrie und in der Land- und Forstwirtschaft
- Treibhausgasemissionen (t CO₂eq) des Schiffsverkehrs, aufgeteilt nach Kursschiffen, Domizilbooten und Boote mit Bootsplatz

Neben den Treibhausgasemissionen werden die folgenden Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben:

Ergänzende Indikatoren

- Anzahl Fahrzeuge des Strassenverkehrs nach Verkehrsart, Fahrzeugkategorie und Antriebsart (Anzahl)
- Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf) im Sektor Verkehr insgesamt und getrennt nach MIV/NV, ÖV, Schiffsverkehr und Offroad-Verkehr.
- Anteil Fahrzeuge des Strassenverkehrs mit alternativem Antrieb⁴ nach Fahrzeugkategorie (Anzahl)
- Spezifische Treibhausgasemissionen der lokalen Fahrzeugflotte nach Fahrzeugkategorie (g CO₂eq/km)
- Motorisierungsgrad Personenwagen (Anzahl Personenwagen pro 1'000 EinwohnerInnen)
- Motorisierungsgrad Personenwagen mit alternativem Antrieb (Anzahl Personenwagen mit alternativem Antrieb pro 1'000 EinwohnerInnen)

3.3.6 Bewertung

Tabelle 5 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Verkehr. Insbesondere der Strassenverkehr und die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte werden gut abgebildet. Die grössten Unsicherheiten beste-

Bewertung des angewendeten Vorgehens

4 Als Fahrzeuge mit alternativem Antrieb werden folgende Fahrzeuge gezählt: BEV (Vollelektrische Fahrzeuge), PHEV (Plug-in Hybrid Fahrzeuge) und FCEV (Wasserstoff-Brennstoffzellen Fahrzeuge)

hen in der Bestimmung der Fahrleistungen und in der Beschreibung des Nicht-Strassenverkehrs.

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●●○○	Für Emissionen des Verkehrs ist eine Bottom-up-Bilanzierung grundsätzlich nur über Annahmen, Statistiken und die Anwendung von Modellen möglich. Die Feinheit und Qualität der Modelle sind entscheidend für die Genauigkeit. Das aktuelle GVM Bern berücksichtigt ein sehr dichtes Strassennetz und hat somit eine hohe Feinheit. Für die Qualität des Modells sind die Anzahl bei der Kalibrierung des Modells verwendeten Zählungen des Strassenverkehrs massgeblich – diese Anzahl ist beim GVM Bern hoch. Ungenauigkeiten sind jedoch inhärent. Die Genauigkeit nimmt je nach Grösse der Gemeinden ab. Dies umso mehr, desto feiner die betrachtete Kategorie ist (z.B. Binnenverkehr, je nach Strassenkategorie). Der Nicht-Strassenverkehr hat durch fehlende Modellgrundlagen noch grössere Ungenauigkeiten.
Sensitivität	●●●○○	Hauptgrundlage im Strassenverkehr ist ein Verkehrsmodell, welches nur periodisch aktualisiert wird; veränderte Fahrzeug-Kaufentscheide werden gut abgebildet und Verkehrsarten und Strassentypen werden differenziert. Die top-down Methodiken des Offroad und übrigen Verkehrs sind abhängig von Änderungen im nationalen Treibhausgasinventar.
Konsistenz	●●●○○	Gemeindevergleiche sind grundsätzlich konsistent, ausgewiesene Verkehrsleistungen liegen nur teilweise im Einflussbereich der Gemeinden (z.B. Durchgangsverkehr), werden aber differenziert abgebildet. Bei Aktualisierungen des Verkehrsmodells sind Vergleiche der Fahrleistungen direkt vergleichbar, bei methodischen Erneuerungen des Verkehrsmodells können grössere Sprünge entstehen, die rückwirkend korrigiert werden müssen. Die kantonale Aggregation stimmt mit dem übergeordnet angewendeten Territorialprinzip überein.
Vollständigkeit	●●●●○	Sehr gute Vollständigkeit mit Abdeckung des gesamten Strassenverkehrs. Schiffs- und Offroad-Verkehr werden durch Runterbrechen des nationalen Treibhausgasinventars ebenfalls vollständig abgebildet. Restliche Sektoren werden teilweise vernachlässigt.
Räumliche Auflösung	●●●●○	Gute räumliche Auflösung des Mobilitätsverhaltens. Teilweise gute räumliche Auflösung des Fahrzeugbestands.
Einfache Umsetzung	●●○○○	Aufwändige Aufbereitung von Primärquellen (Verkehrsmodellen); Kombination vieler verschiedener Datenquellen

Tabelle 5 Bewertung der Methodik im Sektor Verkehr

3.4 Industrie: Nicht-energetische Emissionen

3.4.1 Beschreibung

Die Emissionen der Industrie beinhalten die nicht-energetischen Emissionen aus industriellen Prozessen. Es werden dabei nur diejenigen Branchen abgebildet, welche relevant zu den nicht-energetischen Emissionen im Sektor Industrie beitragen. Welche Sektoren das betrifft, wird beim methodischen Vorgehen beschrieben. Die Treibhausgasemissionen beinhalten alle Treibhausgase inklusive der synthetischen Gase (HFCs, PFCs, SF₆, NF₃).

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

3.4.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Eine Abgrenzung ist relevant zu folgenden Sektoren:

- Wärme: Emissionen, die im Sektor Industrie bei der Erzeugung von Prozesswärme oder Raumwärme entstehen, werden dem Sektor Wärme zugeordnet.
- Verkehr: Emissionen aus dem Off-Road-Verkehr (Baumaschinen, Gabelstapler etc.) werden dem Sektor Verkehr angerechnet.

Abgrenzung zu Sektoren Wärme und Verkehr

3.4.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet, detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.4:

- Treibhausgasinventar der Schweiz
- Emissionshandelsregister

Verwendete Datengrundlagen

Beim Kanton vorhandene Daten zu den diffusen Emissionen von FCKW in industriellen Anlagen wurden nicht berücksichtigt, da die verursachten Emissionen sehr gering sind und somit vernachlässigbar.

3.4.4 Methodisches Vorgehen

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Bereich Industrie (Nicht-energetische Emissionen) orientiert sich an der Herangehensweise des Treibhausgasinventars der Schweiz.

Methodik orientiert sich am Treibhausgasinventar

Gemäss dem Schweizer Treibhausgasinventar machen die nicht-energetischen Emissionen rund 10% der Schweizer Gesamtemissionen aus. Die nicht-energetischen Emissionen des Industriesektors teilen sich folgendermassen zwischen den Branchen auf.

Anteile der Bereiche

Industrial processes und product use	Anteil der THG-Emissionen
A. Mineral industry	42.3%
B. Chemical industry	18.4%
C. Metal industry	0.3%
D. Non-energy products from fuels and solvent use	1.2%
E. Electronic industry	0.5%
F. Product uses as ODS substitutes	32.4%
G. Other product manufacture and use	4.9%
H. Other	0.0%

Tabelle 6 Anteile der verschiedenen Kategorien der nicht-energetischen Emissionen im Sektor Industrie in der Schweiz im Jahr 2019. Quelle: Treibhausgasinventar der Schweiz, 2019.

In der Kategorie Mineralindustrie (A. Mineral industry) macht die Zementproduktion mit Abstand den grössten Anteil aus. Aus diesem Grund werden die Emissionen in diesem Bereich über Informationen zu Punktquellen der Zementindustrie abgeschätzt. Hierbei werden von den öffentlich zugänglichen Gesamtemissionen der Anlage (Emissionshandelsregister) die energetischen Emissionen (Erhebung gemäss Methodik Sektor Wärme) abgezogen, um die Menge der nicht-energetischen Emissionen, sogenannte geogenen Emissionen berechnen zu können.

Mineralindustrie:
Zementproduktion

Die Chemie-Industrie (B. Chemical industry) besteht aus den Kategorien «Carbide production» und «Petrochemical and carbon black production». Für beide Kategorien gibt es schweizweit jeweils nur eine Produktionsstätte. Diese liegen nicht im Kanton Bern.

Chemie-Industrie:
keine Betriebe im
Kanton Bern

In der Kategorie «F. Product uses as ODS substitutes» enthalten sind Kühlmittel, Aerosole und Lösungsmittel. Da diese Emissionen in allen Haushalten (Kühlgeräte, Fahrzeuge, etc.) entstehen, werden die Emissionen des Kantons Bern proportional zur Anzahl EinwohnerInnen aufgeteilt. Das gleiche Vorgehen wird für die Kategorie «G. Other product manufacture and use» angewendet. Es handelt sich um Emissionen aus der Nutzung von elektrischen Geräten, der Anwendung von SF₆ und PFC und dem Lösungsmittelverbrauch, Tabakkonsum und Feuerwerke in Haushalten.

Weitere relevante
Kategorien entstehen
in Haushalten

Die Kategorien Metallindustrie (C. Metal industry), Lösungsmittel (D. Non-energy products from fuels and solvent use), Elektronikindustrie (E. Electronic industry) und Andere (H. Other) sind vernachlässigbar und werden daher nicht berücksichtigt.

Nicht berücksichtigte
Kategorien

3.4.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie (Nicht-energetische Emissionen) werden insgesamt in t CO₂eq und als ergänzender Indikator als Treibhausgasemissionen pro Person erhoben (t CO₂eq pro Kopf).

Indikatoren

3.4.6 Bewertung

Tabelle 7 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Industrie (Nicht-energetische Emissionen).

Bewertung des angewendeten Vorgehens

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●○○○	Die Zementemissionen entsprechen den effektiven Emissionen (EHS) während die anderen nicht-energetischen Emissionen von nationalen Werten des Treibhausgasinventars heruntergebrochen werden.
Sensitivität	●●●○○	Die Zementemissionen entsprechen den effektiven Emissionen und sind damit sensitiv, während die anderen nicht-energetischen Emissionen mit der Bevölkerungszahl auf den Kanton, bzw. die Gemeinden heruntergebrochen und damit nicht sensitiv auf ergriffene Massnahmen sind.
Konsistenz	●●●●●	Vergleiche zwischen Gemeinden und einzelnen Jahren sind konsistent. Die Methodik entspricht dem Territorialprinzip und ist mit der schweizweiten Bilanzierung konsistent.
Vollständigkeit	●●●●○	Die verwendeten Datenquellen decken die Emissionen grösstenteils ab (gemäss den Annahmen des Treibhausgasinventars der Schweiz). Branchen, deren Emissionen vernachlässigbar klein sind, wurden nicht bilanziert.
Räumliche Auflösung	●●○○○	Die Bilanzierung erfolgt nur beim Zementwerk anlagenscharf. Bei den sonstigen Emissionen wird eine Methodik gewählt, die nicht auf räumlich spezifische Gegebenheiten eingeht und sich nur an den Bevölkerungszahlen orientiert.
Einfache Umsetzung	●●●●●	Die Bilanzierung basiert auf den effektiven Emissionen der Zementindustrie, bzw. dem Treibhausgasinventar der Schweiz und wird auf die Gemeinden heruntergebrochen.

Tabelle 7 Bewertung der Methodik im Sektor Industrie (Nicht-energetische Emissionen)

3.5 Landwirtschaft

3.5.1 Beschreibung

Zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft gehören alle direkten Emissionen, die in der Landwirtschaft entstehen. Die wichtigsten Emissionsquellen sind dabei die Tierhaltung und Emissionen aus Düngerlagerung und -applikation, wobei vor allem CH₄ und N₂O anfällt.

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

Das Treibhausgasinventar der Schweiz berechnet die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft basierend auf spezifischen Emissionen pro Tier. Die nicht-energetischen Emissionen der Landwirtschaft entsprechen 2019 insgesamt 5.9 Millionen t CO₂eq (13 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz).

Im Sektor Landwirtschaft strebt der Kanton keine Reduktion auf null Emissionen an und daher werden auch 2050 Emissionen ausgestossen. Zur Erreichung von netto-null müssen diese Emissionen entsprechend durch negative Emissionen aus verschiedenen Sektoren in und ausserhalb des Kantons Bern kompensiert werden.

3.5.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Eine Abgrenzung ist relevant zu folgenden Sektoren:

Abgrenzung zu Sektoren Wärme, Verkehr und Abfall

- Wärme: Die Emissionen der Wärmeerzeugung für die landwirtschaftlichen Gebäude, sowie spezifische Wärmebedürfnisse wie Treibhäuser und Gastrocknungsanlagen werden im Sektor Wärme bilanziert.
- Verkehr: Emissionen aus dem Betrieb land- und forstwirtschaftlicher Fahrzeuge werden im Sektor Verkehr abgebildet.
- Abfall: Die Emissionen von Kompostierung und Biogasanlagen sind im Sektor Abwasser und Abfall berücksichtigt.

3.5.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet, detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.5:

Verwendete Datengrundlagen

- Kantonale Erhebung der landwirtschaftlichen Betriebe
- Treibhausgasinventar der Schweiz
- Agrarbericht (Biodiversitätsbeiträge)
- Landwirtschaftliche Nutzfläche (ohne Sömmerungsweiden)

3.5.4 Methodisches Vorgehen

Die Bilanzierung für den Kanton Bern bildet die Emissionen aus den folgenden Kategorien gemäss Treibhausgasinventar der Schweiz ab:

Fokus der Klimametrik

- Nutztierhaltung (nur CH₄)
- Hofdüngerbewirtschaftung (CH₄ und N₂O)
- Landwirtschaftliche Böden (nur N₂O)

Aufgrund der geringen Emissionen (0.8% der Landwirtschaftsemissionen der Schweiz) werden die Kategorien Kalkdüngung und die Harnstoffdüngung in den Berechnungen des Kantons Bern nicht berücksichtigt.

Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft auf Basis einzelner Betriebe ist aus Gründen des Datenschutzes nicht möglich. Die aggregierte Erhebung auf Gemeindeebene ist jedoch vertretbar und damit umsetzbar. Der Kanton Bern erhebt jährlich umfassende Daten zu allen landwirtschaftlichen Betrieben im Kanton. Die Zahlen zu den Tierbeständen und der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) können pro Gemeinde zusammengefasst werden und dienen als Grundlage zur Bilanzierung der Emissionen pro Gemeinde.

Bilanzierung pro Gemeinde

Als Grundlage für die Berechnung der CH₄-Emissionen aus der Tierhaltung können die Tierbestände aus der Erhebung des Kantons verwendet werden: Anzahl Rindvieh, Schweine, Pferde, Ziegen, Nutzhühner, usw. sind in Anzahl Tiere und Anzahl Grossvieheinheiten (GVE) verfügbar. Diese können mit den Emissionsfaktoren pro Tier aus dem Treibhausgasinventar der Schweiz multipliziert werden.

Nutztierhaltung

Für die Berechnung der Emissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung werden gemäss dem Treibhausgasinventar der Schweiz CH₄ und N₂O berücksichtigt. Hier können dieselben Grundlagendaten wie bei der Tierhaltung verwendet werden und wiederum mit entsprechenden Emissionsfaktoren pro Tier gemäss dem Treibhausgasinventar der Schweiz multipliziert werden.

Hofdüngerbewirtschaftung

Die Kategorie «Landwirtschaftliche Böden» berücksichtigt N₂O-Emissionen bei der Applikation von mineralischen und organischen Düngern, Ernterückstände etc. Zur Bilanzierung werden die Emissionen aus dem Treibhausgasinventar der Schweiz auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen (LN) der Schweiz als Emissionsfaktor heruntergerechnet, welcher dann pro LN der Gemeinden angewendet werden kann. Für die Bilanzierung werden zwei Aspekte berücksichtigt: die Kulturen sowie die Bewirtschaftung. Die Bilanzierung basiert auf verschiedenen Grundlagen und beinhaltet neben robusten Daten auch Abschätzungen.

Landwirtschaftliche Böden

In Bezug auf die Kulturen wird zwischen bewirtschafteten Flächen mit durchschnittlichen Emissionen, Flächen mit reduzierten Emissionen sowie Flächen ohne Emissionen unterschieden. Die Flächen mit durchschnittlichen Emissionen sind Kulturen, die eine regelmässige Bewirtschaftung und Düngung erfordern, wie beispielsweise Getreide oder Obstanlagen. Flächen mit reduzierten Emissionen werden weniger intensiv bewirtschaftet, wie beispielsweise Heuwiesen oder Brachen. Die Kategorisierung entspricht einer ersten Einschätzung anhand der Wegleitung zur Betriebs- und Strukturdatenerhebung des Kantons Graubünden⁵. Die Kulturen, welche reduzierte Emissionen bzw. keine Emissionen aufweisen sind in Kapitel 5.4.3 aufgeführt.

Unterscheidung der Kulturen nach Emissionsintensität

5 Amt für Landwirtschaft und Geoinformation (2020): Wegleitung zur Betriebs- und Strukturdatenerhebung 2021. Quelle: Microsoft Word - 21 Strukturdatenerhebungswegleitung deutsch ENT-WURF.docx (gr.ch)

In Bezug auf die Bewirtschaftung stossen Flächen mit Anwendung von Schleppschläuchen, Schleppschuhen, Gülledrill und tiefe Gülleinjektion reduzierte Emissionen aus. Gemäss zwei Studien liegen die Ammoniakemissionen und damit die N₂O-Emissionen zwischen 30 % und 50 % tiefer⁶. Diejenigen Flächen, die mit diesen Anwendungen bewirtschaftet werden, sind somit auch als Flächen mit reduzierten Emissionen gekennzeichnet.

Konkrete Bewirtschaftung, welche zu reduzierten Emissionen führt

Die Emissionsfaktoren pro landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) werden von den totalen Emissionen im Treibhausgasinventar der Schweiz berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Flächen mit reduzierten Emissionen 40 % weniger Emissionen ausstossen als die Flächen mit durchschnittlichen Emissionen (Mittelwert der oben genannten Studie für die Flächen mit Schleppschlauchanwendung und Schätzung für die Flächen mit reduziertem Bewirtschaftungsaufwand).

Herleitung von Emissionsfaktoren

3.5.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft werden mit folgenden Indikatoren beschrieben:

Indikatoren Treibhausgasbilanz

— Treibhausgasemissionen in t CO₂eq des Sektors Landwirtschaft insgesamt und getrennt nach:

- Treibhausgasemissionen der Nutztierhaltung
- Treibhausgasemissionen der Hofdüngerlagerung und -bewirtschaftung
- Treibhausgasemissionen landwirtschaftlicher Böden

Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden die folgenden Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben:

Ergänzende Indikatoren

— Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf): Landwirtschaft insgesamt, Nutztierhaltung, Hofdüngerlagerung und -bewirtschaftung und landwirtschaftliche Böden

— Treibhausgasemissionen nach Tierart (Nutztierhaltung und Hofdüngerbewirtschaftung) (t CO₂eq pro Tierart)

— Anzahl Tiere nach Tierart (Anzahl)

— Treibhausgasemissionen pro landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) (landwirtschaftliche Böden) (t CO₂eq pro ha)

— Totale Landwirtschaftliche Nutzfläche (ha) und landwirtschaftliche Nutzfläche aufgeteilt nach Nutzflächen mit durchschnittlichen Emissionen, reduzierten Emissionen und ohne Emissionen

6 Huguenin-Elie O. et al (2018). Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf Ertrag und Stickstoffflüsse im Grasland. Quelle: 2018_0708_2401.pdf (agrarforschungschweiz.ch)

3.5.6 Bewertung

Tabelle 8 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Landwirtschaft.

Bewertung des angewendeten Vorgehens

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●●○○	Genauigkeit wird insbesondere als gut bewertet für die Nutztierhaltung und Hofdüngerbewirtschaftung. Mit grösseren Unsicherheiten behaftet ist das Vorgehen für landwirtschaftliche Böden.
Sensitivität	●●○○○	Mit der angewendeten Methode sind insbesondere strukturelle Veränderungen messbar (Anzahl Nutztiere, LN).
Konsistenz	●●●●○	Es wird eine einheitliche Datengrundlage verwendet.
Vollständigkeit	●●●●●	Es werden alle wichtigen Quellen der Treibhausgase abgedeckt.
Räumliche Auflösung	●●●●●	Sehr gute Daten auf Betriebsebene und somit auf Gemeindeebene verfügbar.
Einfache Umsetzung	●●●●○	Kantonale Daten müssen aufbereitet werden.

Tabelle 8 Bewertung der Methodik im Sektor Landwirtschaft

Mit der angewendeten Methode werden strukturelle Veränderungen gut abgebildet (Anzahl Nutztiere, Landnutzung). Massnahmen, welche Treibhausgasemissionen über die Art der Tierhaltung und die Bewirtschaftung der Böden reduzieren, werden noch kaum abgebildet. Zurzeit fliesst als solche Massnahme nur die Schleppschlauchanwendung in die Bilanzierung ein. Der Kanton plant jedoch eine Vertiefung der Methodik, mit welcher die Wirkung von Massnahmen besser abgebildet werden soll. Bei dieser Vertiefung kann insbesondere auf jene Kulturen fokussiert werden, welche im Kanton besonders relevant sind.

Vertiefung der Erhebungsmethodik durch Kanton geplant

Von den insgesamt rund 500 Kulturen sind innerhalb des Kantons 26 Kulturen besonders relevant. Als besonders relevant eingeschätzt wurden Kulturen, welche entweder über den gesamten Kanton stark verbreitet sind oder in einzelnen Gemeinden einen hohen Anteil der Landwirtschaftsfläche ausmachen. Diese Kulturen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Kulturen von besonderer Relevanz

Code	Kultur
502	Wintergerste
507	Futterweizen
508	Körnermais
513	Winterweizen
521	Silo- und Grünmais
522	Zuckerrüben
524	Kartoffeln
527	Winterraps zur Speiseölgewinnung
528	Soja
601	Kunstwiesen (ohne Weiden)
611	Extensiv genutzte Wiesen

612	Wenig intensiv genutzte Wiesen
613	Übrige Dauerwiesen
616	Weiden
617	Extensiv genutzte Weiden
618	Waldweiden
625	Waldweiden (ohne BFF)
714	Ziersträucher etc.
851	Streueflächen
852	Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Krautsaum)
10021	Gutedel/Chasselas
10059	Muscat
20108	Blauburgunder/Pinot Noir
20118	Regent
51713	Winterweizen als Saatgetreide
54501	Einjährige Freilandgemüse ohne Konservengemüse

Tabelle 9: Besonders relevante Kulturen im Kanton Bern. Quelle: Landwirtschaftliche Erhebung Kanton Bern.

3.6 Abwasser und Abfall

3.6.1 Beschreibung

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Abwasser und Abfall setzen sich zusammen aus Emissionen der folgenden Bereiche:

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

— Abwasserreinigungsanlagen (ARA): Dies beinhaltet die Abwasserbehandlung (Haushalte und Industrie), Klärschlammverbrennung und die Klärgasbehandlung. Gemäss den Angaben des Treibhausgasinventars der Schweiz können die Emissionen der Klärschlamm-trocknung vernachlässigt werden.

In Bezug auf die industriellen Abwasserbehandlungen gibt es schweizweit rund 20 Anlagen, die das Abwasser vorbehandeln und anschliessend in eine ARA geleitet werden. Da diese Prozesse sehr stark miteinander verbunden sind, werden diese innerhalb des Treibhausgasinventars der Schweiz gemeinsam betrachtet.

— Abfallbewirtschaftung: Dies beinhaltet Deponien, biologische Verarbeitung durch Kompostierung und Biogasanlagen sowie übrige Verbrennungen. Die übrigen Verbrennungen beinhalten Krematorien, Klärschlammverbrennungsanlagen sowie die illegale Verbrennung von Abfall oder von Garten- und Landwirtschaftsabfällen.

Die relevanten Treibhausgasemissionen sind CO₂, CH₄ und N₂O. Die Emissionen aus Abwasser und Abfall der Schweiz entsprechen 2019 insgesamt rund 750 000 t CO₂eq (0.5 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz). Die Emissionen aus dem Abwasser entsprechen dabei ca. 39 % und die Emissionen aus Deponien 38 %. Die übrigen Verbrennungen entsprechen 18 % und die biologische Verarbeitung 5 % der gesamten Emissionen aus Abwasser und Abfall.

3.6.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Eine Abgrenzung ist relevant zu folgenden Sektoren:

Abgrenzung zu Sektoren Energieumwandlung und Wärme

— Energieumwandlung: Die Verbrennung von Abfall und Klärschlamm in einer Kehrriechverbrennungsanlage (KVA) oder Sonderabfallverbrennungsanlage (SVA) ist im Sektor Energieumwandlung abgedeckt. Auch die Produktion von Wärme und Strom aus BHKWs in ARAs oder Biogasanlagen ist im Sektor Energieumwandlung abgedeckt.

— Wärme: Die Verbrennung von Klärschlamm und alternativen Abfällen in industriellen Feuerungen wie beispielsweise im Zementsektor ist im Sektor Wärme abgedeckt.

3.6.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet, detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.6:

Verwendete Datengrundlagen

— Treibhausgasinventar der Schweiz

— Kompostierungs- und Vergärungsanlagen im Kanton Bern

— Informationen zu Biogasanlagen im Kanton Bern von verschiedenen Grundlagen (Liste Kanton, opendata, KEV-Bezüger, Ökostrom Schweiz)

3.6.4 Methodisches Vorgehen

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Bereich Abwasser und Abfall orientiert sich an der Herangehensweise des Treibhausgasinventars der Schweiz.

Abwasser

Gemäss dem Treibhausgasinventar der Schweiz werden die Emissionen des Abwassers basierend auf der Anzahl der an eine ARA angeschlossenen EinwohnerInnen pro Gemeinde berechnet. Aktuell sind 97 % der Bevölkerung der Schweiz an eine ARA angeschlossen⁷. Die Emissionen der restlichen 3 % kann gemäss Treibhausgasinventar der Schweiz vernachlässigt werden.

Treibhausgasemissionen der Abwasserreinigungsanlagen

Die Treibhausgasemissionen (CH₄ und N₂O) des Kantons Bern, bzw. der Gemeinden können somit basierend auf der Anzahl angeschlossene Einwohner pro Abwasserreinigungsanlage und dem im Schweizer Treibhausgasinventar definierten Emissionsfaktor pro Bewohner und Jahr direkt berechnet werden. Die Emissionen werden der jeweiligen Gemeinde angerechnet, auf deren Gebiet sich die Abwasserreinigungsanlage befindet.

Abfall: Deponien

Seit 2000 dürfen keine Haushaltsabfälle mehr deponiert werden und müssen in einer KVA entsorgt und verbrannt werden. Daher entsprechen diese Emissionen ausschliesslich der Ausgasung durch die Zersetzung der Biomasse auf den geschlossenen Deponien. Für die Berechnung der Emissionen der in der Vergangenheit deponierten Abfallmenge in den Deponien (ausschliesslich CH₄) liegen keine spezifischen Daten der Schweiz vor. Daher benutzt das Schweizer Treibhausgasinventar die Standardwerte des IPCC. Dabei werden die Emissionen abgezogen, die durch die Abfackelungen auf der Deponie nicht emittiert werden oder die durch die Nutzung des Deponiegases in einem BHKW energetisch genutzt und im Sektor Energieumwandlung rapportiert werden.

Treibhausgasemissionen der Deponien

Auch im Kanton Bern sind keine vollständigen Daten in Bezug auf die Emissionen der Deponien vorhanden. Für einzelne Deponien, die das Deponiegas nutzen oder abfackeln, gibt es punktuelle Messungen (jedoch nicht für alle). Die Emissionen hängen von der in der Vergangenheit deponierten Abfallmenge ab. Die Deponien waren jeweils in der Nähe der Siedlungen angelegt und die Abfallmenge kann als proportional zur Bevölkerung angenommen werden. Für den Kanton Bern können die Emissionen aus den Deponien somit basierend auf dem Bevölkerungsanteil im Kanton gegenüber der Gesamtbevölkerung der Schweiz heruntergebrochen werden.

⁷ [Indikator Wasser \(admin.ch\)](#) (konsultiert am 29.10.2021)

Abfall: Biologische Verarbeitung

Die Treibhausgasemissionen (CH₄ und N₂O) durch die biologische Verarbeitung (Kompostierung und Biogasanlagen) werden basierend auf den Angaben des Treibhausgasinventars der Schweiz berechnet.

Treibhausgasemissionen durch Kompostierung und Biogasanlagen

Die Kompostierung kann in zwei Aspekte aufgeteilt werden: die industrielle Kompostierung und die Gartenkompostierung von Haushalten. Die Emissionen basieren dabei auf den erhobenen, bzw. geschätzten Mengen Frischsubstanz.

Für die industriellen Kompostierungsanlagen können die Emissionen für den Kanton Bern, bzw. die Gemeinde anhand der an den Kanton rapportierten Tonnagen Frischsubstanz (ohne Hofdünger) abgestützt werden. Die Emissionen können für jede Anlage der entsprechenden Gemeinde, in der die Anlage steht, angerechnet werden.

Industrielle Kompostierungsanlagen

Die Emissionen der Gartenkompostierung können proportional auf die Anzahl der Bewohner des Kantons, bzw. pro Gemeinde heruntergebrochen werden.

Gartenkompostierung

Für die (industriellen und landwirtschaftlichen) Biogasanlagen können die Emissionen für den Kanton Bern analog zu den industriellen Kompostierungsanlagen anhand der im Kanton betriebenen Biogasanlagen und der für Biogasanlagen, die Biogas ins Netz einspeisen, entsprechend rapportierten aufbereiteten Biogasmengen abgestützt werden. Dabei ist zu beachten, dass es keine vollständige Liste der Biogasanlagen im Kanton gibt und diese aus verschiedenen Datenquellen zusammengetragen und abgeglichen werden müssen. In Bezug auf die ins Netz eingespiesene Biogasmenge gibt es aktuell keine Angaben. Von den Betreibern einer Anlage, die bei Ökostrom Schweiz als solche deklariert wird, wurde bestätigt, dass sie kein Biogas ins Netz einspeisen. So gibt es aktuell im Kanton Bern keine Anlage, die Biogas ins Netz einspeist.

Biogasanlagen

Abfall: Übrige Verbrennungen

Die Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄ und N₂O) der übrigen Verbrennungen des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde werden vom Schweizer Treibhausgasinventar proportional entsprechend der Bevölkerungsanzahl heruntergebrochen.

Treibhausgasemissionen der übrigen Verbrennungen

3.6.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Abwasser und Abfall werden mit folgenden Indikatoren beschrieben:

Indikatoren Treibhausgasbilanz

— Treibhausgasemissionen in t CO₂eq des Sektors Abwasser und Abfall insgesamt und getrennt nach:

- Abwasserreinigungsanlagen (ARA): Abwasserbehandlung, Klärschlammverbrennung und Klärgasbehandlung
- Abfallbewirtschaftung: Deponien, Kompostierung, Biogasanlagen, Krematorien und illegale Verbrennung von Abfall

Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen können die folgenden Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben werden:

Ergänzende Indikatoren

— Treibhausgasemissionen pro Person im gesamten Sektor und für Abwasser und Abfall getrennt (t CO₂eq pro Kopf)

3.6.6 Bewertung

Tabelle 10 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Abwasser und Abfall.

Bewertung des angewendeten Vorgehens

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●○○○	Die Daten basieren auf dem Treibhausgasinventar der Schweiz. Mit Ausnahme der Kompostierungs- und Biogasanlagen basieren die Daten auf Standardwerten oder Schweizer Mittelwerten.
Sensitivität	●●○○○	Die Emissionen der industriellen Kompostierungsanlagen und der Biogasanlagen sind kantonsspezifische Werte und damit höchst sensitiv. Für die restlichen Emissionen können konkrete Reduktionsmassnahmen nur bedingt abgedeckt werden. Dies ist jedoch aufgrund des geringen Anteils an den Gesamtemissionen vertretbar.
Konsistenz	●●●●●	Vergleiche zwischen Gemeinden und einzelnen Jahren sind konsistent. Die Methodik entspricht dem Territorialprinzip und ist mit der schweizweiten Bilanzierung konsistent.
Vollständigkeit	●●●●●	Die verwendeten Datenquellen decken die Emissionen vollständig ab (gemäss den Annahmen des Treibhausgasinventars der Schweiz).
Räumliche Auflösung	●●●●●	Die Bilanzierung erfolgt anlagenscharf und somit räumlich in hoher Auflösung.
Einfache Umsetzung	●●●●○	Die Bilanzierung basiert auf dem Treibhausgasinventar der Schweiz und wird auf die Gemeinden heruntergebrochen.

Tabelle 10 Bewertung der Methodik im Sektor Abwasser und Abfall

3.7 Flüchtige Emissionen

3.7.1 Beschreibung

Die flüchtigen Treibhausgasemissionen der Schweiz beinhalten die Emissionen der Erdölindustrie, des Transports und der Verteilung von Erdgas sowie der Abfackelung von Öl. Tankstellen emittieren gemäss dem Treibhausgasinventar der Schweiz ausschliesslich NMVOC-Emissionen und sind somit für diese Bilanzierung nicht relevant. Da im Kanton Bern keine Erdölindustrie angesiedelt ist, sind die Emissionen aus Erdöl für den Kanton nicht relevant und können vernachlässigt werden. Für den Kanton Bern werden somit ausschliesslich flüchtige Emissionen von Erdgas betrachtet. Die relevanten Treibhausgasemissionen sind CO₂ und CH₄.

Um welche Treibhausgasemissionen geht es?

3.7.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Keine.

3.7.3 Verwendete Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen werden verwendet: Treibhausgasinventar der Schweiz, Leitungskataster des Kanton Bern (sobald eine genügend grosse Abdeckung gewährleistet ist), Angaben zu Leitungslängen von Seiten der Energieversorger, Jahresbericht des Verbands der Schweizerischen Gasindustrie (VSG). Detailliertere Erläuterungen dazu finden sich im Kapitel 4.7.

Verwendete Datengrundlagen

3.7.4 Methodisches Vorgehen

Die Bilanzierung der flüchtigen Emissionen des Kantons Bern basiert auf den Emissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz. Heute stammen ca. 85 % der flüchtigen Emissionen von Erdgas, die basierend auf der Länge des Gasnetzes (der gesamten Länge bis zu den Endverbrauchern) und einem darauf angewendeten Faktor für Verluste berechnet werden. Die restlichen 15 % stammen aus der Abfackelung von Erdöl bei der Raffinerie, welche sich im Kanton Neuenburg befindet. Die Emissionen können daher für den Kanton Bern vernachlässigt werden.

Top-down Methode auf Basis des THG-Inventars

Die flüchtigen Emissionen des Kantons Bern und der jeweiligen Gemeinden können anhand der Länge des Erdgasnetzes innerhalb des Kantons und der jeweiligen Gemeinde von den nationalen Emissionen heruntergebrochen werden.

3.7.5 Indikatoren

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Flüchtige Emissionen werden mit folgendem Indikator beschrieben:

Indikatoren Treibhausgasbilanz

— Treibhausgasemissionen in t CO₂eq für Transport und Verteilung von Erdgas

Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden die folgenden Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben:

Ergänzende Indikatoren

— Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf)

— Leitungslänge des Gasnetzes (km)

3.7.6 Bewertung

Tabelle 11 zeigt die Bewertung des angewendeten Vorgehens im Sektor Flüchtige Emissionen.

Bewertung des angewendeten Vorgehens

Kriterium	Bewertung	Kommentar
Genauigkeit	●●●○○	Die Emissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz basieren auf einer Studie aus dem Jahr 2014 und werden dann auf die Länge der Gasleitungen im Kanton umgerechnet. Da die Emissionen jedoch einen sehr kleinen Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen, können allfällige Unsicherheiten vernachlässigt werden.
Sensitivität	●●●●○	Die verwendeten Datenquellen weisen eine hohe Sensitivität auf, soweit die Daten zum Gasnetz regelmässig aktualisiert werden können.
Konsistenz	●●●●●	Vergleiche zwischen Gemeinden und einzelnen Jahren sind konsistent. Die Methodik entspricht dem Territorialprinzip und ist mit der schweizweiten Bilanzierung konsistent.
Vollständigkeit	●●●●●	Die verwendeten Datenquellen decken die flüchtigen Emissionen des Kantons gemäss des Treibhausgasinventars der Schweiz vollständig ab.
Räumliche Auflösung	●●●●●	Die Bilanzierung erfolgt auf Gemeindeebene und somit räumlich in hoher Auflösung.
Einfache Umsetzung	●●●●○	Die Bilanzierung erfolgt basierend auf vorhandenen Daten des Treibhausgasinventars der Schweiz und der Angaben zum Gasnetz. Die Berechnungen können sehr einfach und rasch umgesetzt werden.

Tabelle 11 Bewertung der Methodik im Sektor Flüchtige Emissionen

3.8 Landnutzung (LULUCF)

3.8.1 Beschreibung

Die Treibhausgasflüsse des Sektors Landnutzung (LULUCF: Land use, land use change and forestry) setzen sich aus den folgenden Bereichen zusammen:

Um welche Treibhausgasflüsse geht es?

- CO₂-Senken und Quellen durch Landnutzung und Waldbewirtschaftung
- Speicherung von CO₂ in Holzprodukten

Anders als in anderen Sektoren geht es in diesem Sektor um die Veränderung des Kohlenstoffspeichers in Böden, Wald und Holzprodukten. Die Speicher fungieren als Senke, wenn netto Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Atmosphäre aufgenommen wird, und als Quelle, wenn netto mehr CO₂ in die Atmosphäre emittiert wird.

Diese Treibhausgasflüsse werden im nationalen Treibhausgasinventar der Schweiz für sechs Landnutzungskategorien erhoben: Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und unproduktive Flächen. Dabei dominiert in der Schweiz der Wald, der in den meisten Jahren über die Waldbewirtschaftung zu einem Aufbau der Gesamtkohlenstoffspeicher führt (Waldsenke). Für die internationale Kyoto-Kompatibilität gilt Zuwachs nur dann als Senke, wenn er durch eigens umgesetzte Massnahmen begründet ist. Natürlicher Waldzuwachs (ohne Massnahmen) gilt nicht als Senke.

Zusätzlich wird die Senkenwirkung von Holzprodukten (Harvested Wood Products, HWP) im Treibhausgasinventar der Schweiz bilanziert.

Die Senkenleistung des LULUCF-Sektors betrug schweizweit im Zeitraum 1990-2019 durchschnittlich -2.34 Mio t CO₂ eq und machte im Mittel 5% der Gesamtemissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz aus. Eine genaue Bilanzierung resp. regionale Aufschlüsselung ist sehr aufwändig und mit grossen Unsicherheiten verbunden.

3.8.2 Abgrenzungen zu anderen Sektoren

Keine.

3.8.3 Verwendete Datengrundlagen

Keine.

3.8.4 Methodisches Vorgehen

Innerhalb einer Studie von Meteotest (2017)⁸ wurde die Treibhausgasbilanz des LULUCF-Sektors für die Jahre 1990-2015 auf die Kantone heruntergebrochen. In den Jahren vor 2006 stellte der Kanton Bern im LULUCF-Sektor in der Regel eine CO₂-Senke dar, nach 2006 agierte er mit Ausnahme von 2009 als CO₂-Quelle. Letzteres war der Fall, da die Emissionen durch die übrigen Landnutzungen meist höher waren als die Senkenleis-

Vergangene Entwicklung des Kantons Bern

8 Die Studie und die Daten sind auf Anfrage beim BAFU erhältlich.

tung des Waldes und der Holzprodukte. Dabei gibt es keine Landnutzung oder Veränderung der Landnutzung, welche die Emissionen klar dominieren. Der Netto-Beitrag des Kanton Berns als Quelle zum schweizweiten LULUCF-Sektor lag in den Jahren 2009 bis 2015 meist deutlich unter 11%.

Bereits das Herunterbrechen der Treibhausgasbilanz des LULUCF-Sektors auf Kantone ist mit grossen Unsicherheiten verbunden. Eine Abbildung für Gemeinden wäre entsprechend nur mit sehr grossen Unsicherheiten möglich. Zudem wurde die Studie von Meteotest (2017) nur einmalig durchgeführt, eine Aktualisierung ist nicht geplant. Ausserdem wurde die schweizweite Methodik für die Bilanzierung in der Zwischenzeit verbessert, insbesondere bezüglich der Modellierung des Bodenkohlenstoffgehalts in mineralischen Böden auf Ackerland und Grasland. Durch die Verbesserung der Methodik wurden die Emissionen im Treibhausgasinventar der Schweiz im LULUCF-Sektor neu berechnet. Darum gibt es Abweichungen zwischen den Berechnungen im Treibhausgasinventar der Schweiz und den totalen LULUCF-Abschätzungen in der Meteotest-Studie.

Abbildung des LULUCF-Sektors für Gemeinden

In Anbetracht der fehlenden bzw. nicht aktuellen Datengrundlagen und der sehr grossen Unsicherheiten, mit welchen ein Herunterbrechen der Treibhausgasbilanz des LULUCF-Sektors auf Gemeinden verbunden wäre, wird auf eine Erhebung des LULUCF-Sektors zurzeit verzichtet. Der LULUCF-Sektor wird für den Kanton Bern und die Gemeinden auf 0 gesetzt und dieser Wert wird über die Zeit konstant gehalten. Eine aufwändige Erhebung scheint aus heutiger Sicht nicht gerechtfertigt. In zukünftigen Erhebungen der Klimametrik ist jedoch zu überprüfen, ob sich die verfügbaren Datengrundlagen und Methoden geändert haben und eine Erhebung des LULUCF-Sektors gerechtfertigt ist. Einzelne Aspekte des LULUCF-Sektors können durch Erhebungen der Gemeinden als ergänzende Indikatoren die Klimametrik ergänzen.

Treibhausgasemissionen im Kanton Bern

3.8.5 Ergänzende Indikatoren

Mögliche lokale Aktivitäten in Bezug auf die Landnutzungsemissionen und daraus resultierende Senkenleistungen können von Gemeinden erhoben und als ergänzende Indikatoren in der Klimametrik dargestellt werden. Damit können ausgesuchte Aspekte und Massnahmen sichtbar gemacht werden (bspw. der Einsatz von Pflanzenkohle). Grundlage für die Aufnahme in der Klimametrik ist, dass es für diese Aktivitäten eine entsprechende, vom Bund akzeptierte Methodik innerhalb des Instruments der Kompensationsprojekte der Schweiz gibt.

Ausgesuchte Aspekte LULUCF als ergänzende Indikatoren

Seit Juni 2022 werden in der Schweiz Senkenleistungen als Kompensationsprojekte akzeptiert. Als Ausnahme bereits seit einigen Jahren operativ ist das Projekt «0055 Anrechnung der Senkenleistung von Schweizer Holz als CO₂-Kompensationsmassnahme»⁹. Dieses ist jedoch so konzipiert, dass die entsprechenden Senkenleistungen nicht auf einen Kanton oder

Senkenleistungen als Schweizer Kompensationsprojekte

9

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/kompensation/inland/registrierte-projekte/9-1.html>

eine Gemeinde heruntergebrochen werden können, da die Senkenleistung basierend auf dem gesamtschweizerischen Holzumsatz berechnet wird.

In Zukunft könnten somit Gemeinden möglicherweise entsprechende Senkenleistungen durch Landnutzungsänderungen anrechnen lassen. Dies jedoch nur, falls eine entsprechende mit den Vorgaben des Bundes kompatible Methodik vorhanden ist oder erarbeitet wird. Wir empfehlen, auf die Methodiken von Kompensationsprojekten zurückzugreifen, sofern diese zukünftig registriert werden. Diese Methoden sind einfach umsetzbar, vom BAFU anerkannt und mit dem Treibhausgasinventar der Schweiz kompatibel und gewährleisten, dass es keine Doppelzählung gibt. Zudem muss die Methodik auf eine spezifische Gemeinde heruntergebrochen werden können.

Methodiken von Kompensationsprojekten als zukünftige Grundlage

Wichtig festzuhalten ist, dass die Gemeinden und der Kanton sich diese Senkenleistungen nicht formal anrechnen lassen dürfen, da diese bereits vom Bund angerechnet werden. Daher haben diese Angaben als ergänzende Indikatoren einen rein informativen Charakter.

Keine Anrechnung für Gemeinden und Kantone

3.8.6 Bewertung

Da auf die Abbildung des LULUCF-Sektors verzichtet wird, wird auf eine Bewertung verzichtet.

3.9 Senken (Negativemissionen)

Ergänzend zu Emissionsverminderungen in den verschiedenen Sektoren können auch Senken (sogenannte Negativmissionen) innerhalb des Kantons Bern erzeugt werden. Durch Negativemissionstechnologien wird der Atmosphäre CO₂ entzogen und dauerhaft gespeichert. Senken sind heute noch wenig relevant, werden aber in Zukunft von grosser Wichtigkeit sein. Eine Methodik zur Bilanzierung der Negativemissionen wird mit deren zunehmenden Wichtigkeit in einem späteren Schritt in der Klimametrik ergänzt.

Senken (Negativemissionen) und ihre Abbildung in der Klimametrik

Mögliche Ansätze für Senken (Negativemissionen) sind gegenwärtig sehr vielschichtig und reichen von bereits anwendbaren Ansätzen, wie zum Beispiel Aufforstung, bis zu technischen Lösungen, die sich noch in der Entwicklung befinden. Die folgende Tabelle zeigt, welche Vorschläge für Negativemissionstechnologien aktuell diskutiert werden.

Vielfältige Ansätze für Senken (Negativemissionen)

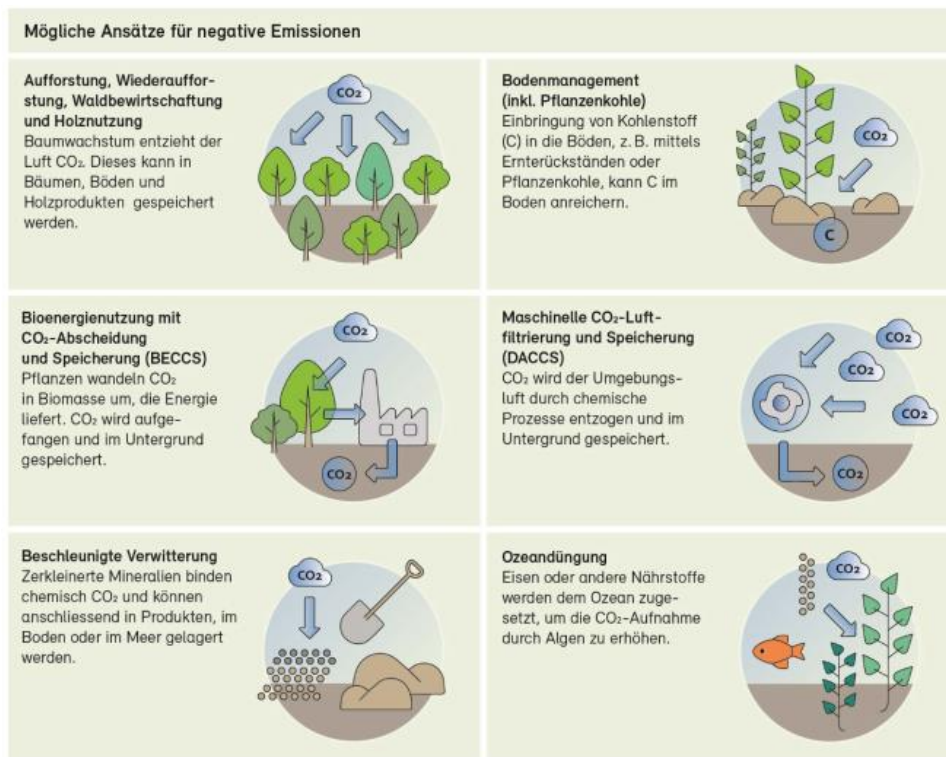


Abbildung 6 Vorschläge für Negativemissionstechnologien. Quelle: Bundesrat 2020 gestützt auf MCC 2016

Gemäss der 2020 veröffentlichten Studie des BAFU zum Potenzial von Negativemissionstechnologien besteht in der Schweiz ein langfristiges, theoretisches Senkenpotenzial von 6 Mio. t CO₂eq pro Jahr. Das realisierbare Potenzial liegt jedoch deutlich tiefer.

Theoretisches Senkenpotenzial von 6 Mio. t CO₂eq

Negativemissions-technologie	Theoretisches Potenzial in der Schweiz im Jahr 2050²¹ (Senkenleistung pro Jahr, ausser für DACCS total; Einzelbetrachtungen je Ansatz, z. T. mit Überlappungen)	Kosten pro Tonne aus der Atmosphäre entferntes CO₂²² (heute und mögliche zukünftige Kostenuntergrenze)
<i>Waldbewirtschaftung und Holznutzung</i>	3,1 Mio. Tonnen CO ₂ / Jahr (inkl. Substitutionseffekte von 1–2 Mio. Tonnen CO ₂)	1–100 Franken
<i>Bodenmanagement</i>	2,7 Mio. Tonnen CO ₂ / Jahr (für wenige Jahrzehnte)	0–80 Franken
<i>Einbringung von Pflanzenkohle</i>	2,2 Mio. Tonnen CO ₂ / Jahr (falls fast alle verfügbare Trockenbiomasse genutzt wird)	10–135 Franken
<i>Bioenergienutzung mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (BECCS)</i>	5,1 Mio. Tonnen CO ₂ / Jahr (falls alle verfügbare Trockenbiomasse genutzt wird)	50–250 Franken
<i>Maschinelle Luftfiltrierung und Speicherung (DACCS)</i>	2'500 Mio. Tonnen CO ₂ (<u>totales</u> theoretisches geologisches Speicherpotenzial)	40–1000 Franken
<i>Beschleunigte Verwitterung (via Zement)</i>	2,5 Mio. Tonnen CO ₂ / Jahr	20– über 1000 Franken
Geschätztes theoretisches Gesamtpotenzial gemäss Stakeholdern²¹ (Portfolio-Ansatz, Gesamtbeurteilung ohne Überlappungen)	6 Mio. Tonnen CO ₂ / Jahr	

Abbildung 7 Theoretisches Potenzial und Kosten pro Tonne CO₂ für negative Emissionen. Quelle: Bundesrat 2020

Die Entwicklung und Umsetzung von Projekten mit Negativemissionen stehen noch relativ am Anfang. In der Schweiz können ab Juni 2022 Kompensationsprojekte für negative Emissionen entwickelt und eingereicht werden. Ausnahme bildet das Senkenprojekt Wald, das bereits seit einigen Jahren operativ ist (siehe Kapitel 3.8.5). Das Projekt muss jedoch aufzeigen, dass der Kohlenstoff dauerhaft in Senken gespeichert wird, um damit das Speicherpotenzial langfristig zu gewährleisten. Hinweise zur Anrechnung und Umsetzung von Kompensationsprojekten sind im Kapitel 3.8.5 integriert.

Im Kanton Bern werden aktuell verschiedene Technologien in Pilotprojekten angewandt, wie beispielsweise die Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft.

Kompensationsprojekte für Senkenleistungen

Bestehende Pilotprojekte

4. Datengrundlagen

In diesem Kapitel werden alle Datengrundlagen beschrieben, die für die Erarbeitung der Klimametrik benötigt werden. Dabei wird auch auf die Verfügbarkeit, Periodizität, Vollständigkeit und Datenqualität der Grundlagen eingegangen. Für Datensätze, die eine weitere Aufbereitung benötigen, bevor sie genutzt werden können, wird das Vorgehen zur Bereinigung der Daten zusätzlich beschrieben. Auch eine Plausibilisierung der Daten wird bereits in diesem Schritt der Datensammlung empfohlen. Die Verknüpfung unterschiedlicher Datenquellen und Berechnung der Klimabilanzen pro Sektor wird im Kapitel 5 – Technische Umsetzung beschrieben.

Datengrundlagen für die Klimametrik

Die Datengrundlagen werden in Unterkapiteln nach Sektoren und danach nach Typ der Bezugsstelle unterschieden: übergeordnete Schweizer Datenquellen, kantonale Daten und lokale oder regionale Daten.

Struktur nach Sektoren und Bezugsstelle

4.1 Für alle Sektoren relevant

Treibhausgasinventar der Schweiz	
Beschreibung	Das Treibhausgasinventar berechnet jährlich die Treibhausgasemissionen der gesamten Schweiz (direkte Emissionen) für die verschiedenen Sektoren gemäss der internationalen Definition und Methodik. Die Sektoren beinhalten Energie (Stromproduktion, Wärme, Verkehr), Industrielle Prozesse, Landwirtschaft, LULUCF, Abfall. Das Treibhausgasinventar besteht aus einem Bericht, der die Datenquellen beschreibt und den Tabellen mit den entsprechenden Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (CRF-Tabellen).
Verfügbarkeit	Die Daten sind öffentlich zugänglich. Diese beinhalten jedoch ausschliesslich nationale Daten.
Periodizität	Die Daten werden jährlich erhoben und jeweils im April publiziert. Diese sind jedoch jeweils mit einer zweijährlichen Verzögerung verfügbar (Emissionen 1990 – 2020 im April 2022).
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten decken die gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz ab in allen Sektoren.
Datenbestellung	Die Daten sind öffentlich verfügbar (in Englisch): Latest greenhouse gas inventory of Switzerland (admin.ch)
Emissionsfaktoren BAFU	
Beschreibung	Das BAFU veröffentlicht regelmässig CO ₂ -Emissionsfaktoren für die Verbrennung von fossilen Energieträgern in einem Faktenblatt.
Verfügbarkeit	Öffentlich verfügbar
Periodizität	Jährliche Aktualisierung
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Emissionsfaktoren gemäss Faktenblatt BAFU sind die gebräuchlichen Emissionsfaktoren.

4.2 Wärme und Energieumwandlung

Datengrundlagen des Bundes und übergeordnete Datengrundlagen

Gebäude- und Wohnregister (GWR)

Beschreibung	Das GWR ist eine Gebäudedatenbank des BFS, die ursprünglich alle Gebäude mit Wohnnutzung enthielt, seit 2018 werden jedoch auch alle weiteren Gebäude ins GWR integriert. Neben dem eindeutigen Gebäudeidentifikator (EGID) werden verschiedene Informationen zu den Gebäuden geführt.
Verfügbarkeit	Die benötigten Informationen des GWR sind öffentlich zugänglich
Periodizität	Die Daten werden laufend nachgeführt.
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Datenbank ist eine belastbare Datenquelle, deren Verwendung für Treibhausgasbilanzen und als Grundlage für Energiebilanzen sehr gebräuchlich ist.
Datenbestellung	Die Daten können beim Bundesamt für Statistik bezogen werden. Als Datengrundlage aller Gebäude mit Adressen werden zwei Datensätze des GWR benötigt: <ul style="list-style-type: none"> — Entität Gebäude mit den folgenden Attributen: EGID, GKODE, GKODN, GKAT, GKLAS, GDENAME, GSTAT — Entität Gebäudeeingänge mit den folgenden Attributen: EGID, DKODE, DKODN, DPLZ4, DPLZNAME, STRNAME, DEINR — Entität Wohnungen mit folgenden Attributen: WNART
Datenaufbereitung	Der Datensatz des GWR wird auf die benötigten Attribute gekürzt. Die Daten zur Entität Gebäudeeingänge werden über den eindeutigen Gebäudeidentifikator EGID mit der Entität Gebäude verknüpft. Dabei ist zu beachten, dass mindestens ein, aber auch mehrere Gebäudeeingänge pro Gebäude bestehen können und somit der vollständige Datensatz mit allen Adressen länger ist als der Datensatz aller eindeutig identifizierbaren Gebäude (EGID). Im Datensatz werden nur Gebäude berücksichtigt, deren Gebäudestatus (GSTAT) «bestehend» ist. Für die Witterungskorrektur müssen zudem die Höhenmeter über Meer pro Gebäude identifiziert werden. Dafür werden die Gebäude mit einem Höhenprofil geografisch verknüpft.

Heizgradtage (HGT) des HEV Schweiz

Beschreibung	Heizgradtage sind ein Mass für die Abweichung der Aussenluft- zur angestrebten Innenlufttemperatur. Für die Witterungskorrektur werden die Heizgradtage des Bilanzjahres, sowie das langjährige Mittel der letzten zehn Jahre benötigt.
Verfügbarkeit	Die Heizgradtage sind für vier Standorte im Kanton Bern verfügbar: Bern, Interlaken, Adelboden und Wynau. Gemäss der Energieverordnung des Kanton Bern werden für Gebäude auf einer Höhe von über 800 M. ü. M. die Werte für Adelboden verwendet und für eine Höhe von unter 800 M. ü. M. die Werte für Bern.
Periodizität	Jährlich
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Verwendung von Daten für nur zwei Standorte für alle Gemeinden des Kantons ist eine Annäherung, entspricht aber dem in der Energieverordnung festgelegten Vorgehen.

Kantonale Datengrundlagen

Feuerungskontrolle des Kanton Bern

Beschreibung	Die Feuerungskontrolle beinhaltet Informationen zu den Standorten und weiteren Angaben wie insbesondere die Leistung von Gas- und Öl- und Holzfeuerungen. Der Datensatz beinhaltet Informationen für Öl- und Gasfeuerungen mit einer Leistung bis 1 MW und Holzfeuerungen mit einer Leistung bis 70 kW. Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen relevant sind die Gas- und Ölfeuerungen.
Verfügbarkeit	Die Daten der Feuerungskontrolle stehen beim Kanton zur Verfügung.
Periodizität	<p>Öl- und Gasfeuerungen müssen im Rahmen des Vollzugs der Luftreinhalte-Verordnung periodisch überprüft werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ölfeuerungen bis ein Megawatt alle zwei Jahre – Gasfeuerungen bis ein Megawatt alle vier Jahre <p>Die erhobenen Daten werden jährlich bis Ende Juni in der kantonalen Feuerungskontrolle aktualisiert.</p> <p>Im September wird jährlich ein Stand der Feuerungskontrolle als Excel exportiert und gespeichert. Weitere Zwischenstände sind nicht verfügbar. Der Export findet gleichzeitig wie der Export der Daten der iGeko statt.</p>
Vollständigkeit und Datenqualität	Feuerungsanlagen mit einer Leistung von bis zu 1 MW (Öl- und Gasfeuerungen) sind durch die Feuerungskontrolle vollständig abgedeckt. Die Datenqualität variiert jedoch zwischen den Gemeinden, da unterschiedliche FeuerungskontrolleurInnen zuständig sind. Die Daten bilden zudem aufgrund der Kontrolle, die nur alle zwei bis vier Jahre stattfinden, nicht den aktuellen Stand ab.
Datenbestellung	<p>Die Daten der Feuerungsanlagen können intern beim Kanton bestellt werden.</p> <p>Folgende Informationen werden benötigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> – EGID – Strasse und Nr. – PLZ – Gemeinde – Koordinaten – Feuerungswärmeleistung (FWL) – Nennleistung (NL) – Brennstoff
Datenaufbereitung	<p>Für die Verknüpfung der verschiedenen Datensätze werden Informationen zu den Feuerungen pro Adresse benötigt. Aus diesem Grund werden die Feuerungsleistungen (Feuerungswärmeleistung, FWL) pro Adresse und Energieträger aufsummiert. Pro Adresse sollte demnach nur noch maximal eine Leistungsangabe für Öl- und eine Angabe für Gasfeuerungen bestehen.</p> <p>Für Kessel mit fehlender Leistung wird aufgrund der hohen Unsicherheiten keine Schätzung vorgenommen, sondern mit einer Leistung von 0 kW gerechnet.</p>

Erhebung der Betriebsdaten von Kehrrechtverbrennungsanlagen und Deponien

Beschreibung	Jährlich werden die verarbeiteten Mengen an Kehrrecht in der Erhebung der Betriebsdaten aufgezeigt. Für die Berechnung der Emissionen aus KVA ist dabei die verbrannte Abfallmenge massgebend, welche pro Anlage ausgewiesen wird.
Verfügbarkeit	Der Bericht mit den Betriebsdaten steht jeweils im Mai für die Daten des vergangenen Jahres zur Verfügung.

Periodizität	Die Daten stehen jährlich zur Verfügung.
Vollständigkeit und Datenqualität	Daten für alle KVA des Kanton Bern sind vollständig vorhanden
Datenbestellung	Bau- und Verkehrsdirektion des Kanton Bern, Amt für Wasser und Abfall, Betriebe und Abfall Kontaktperson: Oliver Steiner

iGEKO

Beschreibung	Im iGEKO werden alle Anlagen, die Vorschriften der Luftreinhalteverordnung (LRV) unterliegen, aufgeführt. Dies umfasst Feuerungen und Verbrennungsanlagen mit einer Leistung von mehr als 1 MW (Öl und Gas), respektive 70 kW (Holz). Neben Feuerungen in Wohn-, Dienstleistungs- und Gewerbebauten gehören auch Prozesswärmefeuernungen, Sonderverbrennungsanlagen, Krematorien, BHKW und Notstromanlagen sowie weitere Anlagen mit nicht-energetischen Emission dazu.
Verfügbarkeit	Die Daten sind intern beim Kanton verfügbar.
Periodizität	Je nach Anlagentyp müssen in unterschiedlichen Zyklen Werte gemessen werden und dem Kanton die Messberichte eingeschickt werden (alle 2 Jahre für Holzheizungen bis alle 6 Jahre für Notstromanlagen). Die eingereichten Daten werden im Verlauf des Jahres in die Datenbank übertragen und fortlaufend aktualisiert, so werden auch Änderungen in der Feuerungsleistung registriert und angepasst. Es besteht keine Historisierung der iGEKO-Datenbank, d.h. es kann jeweils nur der neuste Stand der Datenbank exportiert werden. Für die Erhebung der Klimametrik soll jährlich im September ein Auszug (Komponentenliste aller Anlagen) durch den Kanton gemacht werden, zeitgleich mit dem Auszug der Feuerungskontrolle (Feko). Es wird jeweils der Stand vom September des Erhebungsjahres verwendet.
Vollständigkeit und Datenqualität	Alle Anlagen, die der Luftreinhalteverordnung unterliegen und nicht in der Feuerungskontrolle des Kantons abgedeckt sind, sind in der iGEKO-Datenbank enthalten.
Datenbestellung	Die Daten der Feuerungsanlagen können intern beim Kanton bezogen werden. Folgende Informationen werden benötigt: <ul style="list-style-type: none"> — Name — Strasse und Nr. — PLZ — Gemeinde — Feuerungswärmeleistung (FWL) — Nennleistung (NL) — Brennstoff — Wärmeverbund: ja/nein (diese Information ist aktuell noch nicht vorhanden, wird jedoch in der sich in Erarbeitung befindenden neuen Version des Datensatzes zur Verfügung stehen) — Anlagentyp: BHWK, Notstromanlage
Datenaufbereitung	Bei einzelnen Anlagen ist kein Energieträger hinterlegt. Für eine vollständige Datengrundlage müssen diese durch einzelne Abfragen in der iGEKO-Datenbank ergänzt werden oder aus der Liste gestrichen werden, wenn es sich um Anlagen handelt, die nicht-energetische Emissionen verursachen und aus diesem Grund in der Datenbank vorhanden sind. Für Kessel mit fehlender Leistung wird aufgrund der hohen Unsicherheiten keine Schätzung vorgenommen, sondern mit einer Leistung von 0 kW gerechnet.

Für die Berechnung des Energieverbrauchs wird die Feuerungswärmeleistung (FWL) verwendet. Für Kessel, bei denen keine Feuerungswärmeleistung angegeben ist, wird über die Nennleistung (NL) mit folgender Formel die FWL approximiert:

$$FWL = 1/\text{Nutzungsgrad} * NL$$

(Quelle:

<https://umwelt.tg.ch/public/upload/assets/57208/Emissionsmessung-bei-Feuerungen-fuer-Oel-Gas-und-Holz.pdf>)

Daten Zielvereinbarungen (UZV, KZV, EVA)

Beschreibung	<p>Unternehmen mit einem jährlichen Wärmebedarf von mehr als 5 GWh oder einem Elektrizitätsverbrauch von über 0.5 GWh gelten als Grossverbraucher. Gemäss Grossverbrauchermodell können die Firmen für die Umsetzung verpflichtender Massnahmen auf eine von drei Optionen zurückgreifen:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Universalzielvereinbarung (UZV): Mit der UZV kann gleichzeitig eine Befreiung von der CO₂-Abgabe erreicht werden. — Kantonale Zielvereinbarung (KZV) — Energieverbrauchsanalyse (EVA) <p>Im Rahmen dieser Instrumente werden die Energieverbräuche der einzelnen Grossverbraucher gemessen und rapportiert. Für die Klimametrik werden Energieverbräuche von fossilen Energieträgern (ausgenommen leitungsgebundenem Gas) verwendet.</p>
Verfügbarkeit	<p>Folgende Daten stehen von den drei Instrumenten zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Universalzielvereinbarung (UZV): Jährliche Energieverbrauchsdaten nach Energieträger. — Kantonale Zielvereinbarung (KZV): Jährliche Energieverbrauchsdaten nach Energieträger. — Energieverbrauchsanalyse (EVA): Energieverbrauch nach Energieträger aus der Erhebung des Kantons (ab 2013) und nur teilweise neuere Daten nach Umsetzung der Massnahmen. <p>Die Daten stehen jeweils im Mai für das vergangene Jahr zur Verfügung.</p>
Periodizität	<p>Die Datenerhebungen bei den Grossverbrauchern erfolgen jährlich und werden dem BAFU und dem BFE rapportiert.</p>
Vollständigkeit und Datenqualität	<p>Die Daten decken nur die Grossverbraucher ab, sind für diese jedoch in hoher Qualität vorhanden (tatsächliche Verbräuche).</p>
Abgrenzung zu anderen Datengrundlagen	<p>Die grösste Herausforderung ist die Abgrenzung der Unternehmensdaten mit Absatzdaten und Anlagendaten. Die Methodik zur Abgrenzung verschiedener Datenquellen wird im Kapitel der technischen Umsetzung beschrieben.</p>
Weiteres	<p>Der Aufwand zur Erhebung der Daten im Kanton ist relativ hoch. Grund dafür ist, dass die Informationen für die EVA und KZV aus einzelnen Dokumenten bestehen und nicht als gesammelte Datenbank bestehen. Die Daten des UZV liegen zwar als exportierbare Liste der Unternehmen mit fossilen Energieträgern vor, bei diesem Export fehlen jedoch Informationen zur Adresse der Unternehmen. Für eine vollständige Liste der Energieverbräuche aus allen drei Datenquellen ist somit ein hoher Aufwand für die händische Sammlung der Daten nötig.</p> <p>Die CO₂-Emissionsfaktoren für Energieträger mit fossilen CO₂-Emissionen werden aus dem schweizerischen Treibhausgasinventar verwendet.</p>

Erhebung der technischen Kennzahlen für Abwasserverbände	
Beschreibung	Aus kantonalen Daten zu den Abwasserreinigungsanlagen stehen folgende Energieverbrauchsdaten zur Verfügung: — Ölverbrauch (Liter) — Verbrannte Klärgasmenge (Norm-m ³ oder Betriebs-m ³): BHKW/Turbine, Klärgasmenge auf Klärgas-Heizkessel und Klärgasmenge auf Schlammverbrennung. Nicht berücksichtigt wird die Klärgasmenge in Biogasaufbereitungsanlagen, da davon ausgegangen wird, dass diese bereits im leitungsgebundenen Biogasan teil berücksichtigt wird.
Verfügbarkeit	Die Daten werden vom Kanton Bern erhoben und können entsprechend bereitgestellt werden.
Periodizität	Die Daten werden jährlich erhoben.
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten decken die gesamten Abwasseranlagen des Kantons ab.

Lokale und regionale Datengrundlagen

Energieverbrauch Wärmeverbunde	
Beschreibung	Mit einer Erhebung der effektiven Energieverbrauchswerte oder Volllaststunden bei den Wärmeverbundbetreibern, können die Schätzungen der Ölverbräuche über Volllaststunden stark verbessert werden. Die Zusammenstellung der Liste der Wärmeverbunde erfolgt über die iGEKO-Daten, in denen Anlagen über ihre Beschreibung als Wärmeverbund identifiziert werden können.
Verfügbarkeit	Aggregierte Energieverbrauchsdaten pro Energieträger sollten für alle Wärmeverbunde verfügbar sein, müssen jedoch individuell erhoben werden.
Periodizität	Jährliche Verbrauchswerte
Vollständigkeit und Datenqualität	Abhängig vom Wärmeverbundbetreiber, die Genauigkeit ist deutlich besser als bei einer Schätzung des Ölverbrauchs über Volllaststunden
Weiteres	Die individuelle Erhebung der Energieverbrauchsdaten pro Wärmeverbund ist aufwändig, da alle Wärmeverbunde einzeln kontaktiert werden müssen.

Gas-Absatzdaten (verbraucherscharf, Daten der Gasversorger)	
Beschreibung	Verbraucherscharfe Gas-Absatzdaten, die bei den Gasversorgern im Kanton erhoben werden. Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen müssen ebenfalls Daten zum Anteil erneuerbarer Gase erhoben werden (ebenfalls verbraucherscharfe Daten oder zumindest Anteile pro Gemeinde). Bei der Datenbestellung muss differenziert werden zwischen geliefertem Gas und verkauftem Gas (mit der Liberalisierung wird es hier zunehmend Differenzen geben).
Verfügbarkeit	Die Daten können auf Basis des kantonalen Energiegesetzes (Art. 6, Absatz 2) bei den Gasversorgern im Kanton erhoben werden.
Periodizität	Die Daten stehen pro Jahr zur Verfügung und können somit jährlich erhoben und ausgewertet werden.
Vollständigkeit und	Die Vollständigkeit und Datenqualität hängt von der Datenlieferung

Datenqualität	<p>der Gasversorger ab. Die Gas-Absatzdaten sind grundsätzlich vollständig und decken die Emissionen von Erdgas in hoher Qualität ab.</p> <p>Für die Datenlieferung sollten explizite Anforderungen gestellt werden (insbesondere Format von Adressen und ev. weitere Informationen wie Nutzung und Tarife, siehe Datenbestellung).</p>
Datenbestellung	<p>Daten zum Gasabsatz müssen bei den Gasversorgern direkt bestellt werden. Folgende Informationen werden benötigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Gesamter Gasabsatz im Versorgungsgebiet nach Gemeinden und Produkt (inkl. Unterscheidung Erdgas/Biogas) — Für alle Kunden die folgenden Informationen als gebäudebezogene Punktdaten: <ul style="list-style-type: none"> — Strasse und Nr. — PLZ und Gemeinde — EGID (falls vorhanden) — Absatz pro Kunde — Anteil erneuerbares Gas pro Kunde
Datenaufbereitung	<p>Falls nicht bereits in diesem Format geliefert: Trennung der Adresse in zwei klar definierte Spalten 1) Strasse und Nr.; 2) PLZ und Gemeindennamen (Oft werden Kundeninformationen in einem Textfeld geliefert, aus welchem Adressinformationen mit hohem Aufwand und teilweise individuell ausgelesen werden müssen)</p> <p>Plausibilisierung unmittelbar nach Datenlieferung: Abgleich der gesamthaften Absatzzahlen mit den gelieferten gebäudebezogenen Punktdaten</p>
Weiteres	<p>Gasabsatz-Daten decken grundsätzlich die gleiche Emissionsquelle wie Anlagendaten der Feuerungskontrolle ab. Wenn keine verbraucherscharfen Gasabsatzdaten vorliegen, kann mithilfe der gemeindscharfen Absatzdaten und den Feuerungsleistungen der Gasverbrauch verbraucherscharf geschätzt werden.</p> <p>Die Erhebung der Gasabsatzdaten soll direkt gemeinsam mit den Gasleitungslängen erfolgen, da beide Datensätze direkt bei den Gasversorgern angefragt werden.</p>

4.3 Verkehr

Datengrundlagen des Bundes

Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA)

Beschreibung	<p>Das Handbuch für Emissionsfaktoren stellt Emissionsfaktoren für die gängigsten Fahrzeugtypen zur Verfügung (PKW, Leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Linien- und Reisebusse sowie Motorräder), differenziert nach Emissionskonzepten (Euro 0 bis Euro 6/VI) sowie nach verschiedenen Verkehrssituationen. HBEFA ist eine Microsoft Access 2016 Runtime Applikation.</p>
Verfügbarkeit	<p>Die Bestellung und Nutzung des HBEFA kostet einmalig CHF 300. Eine neue Version kann für CHF 180 erworben werden.</p>
Periodizität	<p>Die Datenbank wird in unregelmässigen Zeitabständen von circa 2-4 Jahren aktualisiert. (neuste Version: HBEFA 4.1, August 2019)</p>
Vollständigkeit und Datenqualität	<p>Die Datenbank ist eine bekannte und belastbare Datenquelle und Branchenstandard. Sie deckt die wichtigsten Fahrzeugkategorien, Antriebsarten, Fahrzeuggrössen und Jahrgänge ab.</p>
Abgrenzung zu anderen Datengrundlagen	<p>Kann auch mit anderen Datenbanken von Emissionsfaktoren kombiniert werden (Mobitool, PSI Calculator, ...)</p>

Motorfahrzeuginformationssystem der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (MOFIS)	
Beschreibung	Automatisiertes Fahrzeug- und Fahrzeughalterregister der Schweiz und Lichtenstein, das Informationen zu allen in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein zugelassenen Motorfahrzeugen enthält. Ergänzt um technische Daten anhand der Typengenehmigungsdatenbank TARGA lassen sich detaillierte und aktuelle Fahrzeugbestände pro Gemeinden nach Fahrzeugkategorie, Antriebstechnologie, Treibstoffverbrauch und CO ₂ -Emissionsausstoss bestimmen.
Verfügbarkeit	Die MOFIS-Daten sind als offene Daten verfügbar.
Periodizität	Das Register wird als Datengrundlage laufend aktualisiert. Für die verwendete Periodizität besteht deshalb hohe Flexibilität (z.B. Aufdatierung des Fahrzeugbestandes einmal pro Jahr).
Vollständigkeit und Datenqualität	Deckt alle immatrikulierten Motorfahrzeuge mit hoher Qualität ab.

Statistik nach Schifffahrt 2020 (Vereinigung der Schifffahrtsämter, vks)	
Beschreibung	Statistik der immatrikulierten Schiffe nach Kantonen, aufgeteilt in folgende Schiffarten: <ul style="list-style-type: none"> — Ruderschiffe — Segelschiffe mit Maschinenantrieb (Verbrennungsmotor) — Segelschiffe mit Maschinenantrieb (Elektromotor) — Segelschiffe ohne Maschinenantrieb — Motorschiffe (Verbrennungsmotor) — Motorschiffe (Elektromotor) — Güterschiffe — Fahrgastschiffe — Arbeitsschiffe — Schiffe besonderer Bauart
Verfügbarkeit	Die Statistik ist öffentlich verfügbar ¹⁰ . Sie basiert auf kantonalen Registern der Schweizer Schifffahrtsämter.
Periodizität	Die Statistik wird jährlich am 30.09. aktualisiert.
Vollständigkeit und Datenqualität	Deckt alle immatrikulierten Schiffe mit hoher Qualität ab.

Factsheet VSSU 2020 (Verband Schweizerischer Schifffahrtsunternehmen)	
Beschreibung	Statistik der immatrikulierten Kursschiffe nach Gewässern, aufgeteilt in folgende Schiffarten: <ul style="list-style-type: none"> — Motorisierte Kursschiffe — Motorisierte Kursschiffe mit Dampfantrieb
Verfügbarkeit	Die Statistik ist öffentlich verfügbar ¹¹ . Sie basiert auf Angaben der Schifffahrtsgesellschaften zu ihren eigenen Flotten.
Periodizität	Die Statistik wird jährlich aktualisiert.
Vollständigkeit und Datenqualität	Deckt offizielle Kurschiffe mit hoher Qualität ab.

10 <https://www.vks.ch/de/statistiken/schiffsbestand> oder <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/luft-schiene-seilbahnen-schiffe.assetdetail.20164672.html>

11 https://www.schweizer-schifffahrt.ch/images/downloads/01-2020_VSSU-Factsheet.pdf

Datenqualität

Kantonale Datengrundlagen

Gesamtverkehrsmodell Kanton Bern (GVM BE):

Beschreibung	Ein Gesamtverkehrsmodell (GVM), das das Verkehrsangebot, das Verkehrsgeschehen und das Verkehrsverhalten im Modellperimeter abbildet. Es unterscheidet zwischen den Modi öffentlicher Verkehr (ÖV), motorisierter Individualverkehr (MIV), sowie Velo- und Fussverkehr ¹² . Das kantonale Verkehrsmodell kann genutzt werden, um territoriale Fahrleistungen in den Gemeinden zu bestimmen.
Verfügbarkeit	Kostenlos verfügbar für öffentliche Amtsstellen und Private mit öffentlichem Auftrag
Periodizität	Aktualisierung ca. alle 5 Jahre (neueste Version: 2019)
Vollständigkeit und Datenqualität	Komplexes Modell, basierend auf diversen Erhebungen, Messungen und Annahmen (insbesondere fliessen auch die Erhebungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehrs und Verkehrszählungen in das Modell ein). Vollständige und qualitativ gute Datengrundlage.
Datenbestellung	Das GVM BE kann intern beim Kanton bestellt werden. Folgende Modellzustände werden benötigt: — IST-Zustand MIV (DTV) — IST-Zustand ÖV (DWV)

4.4 Industrie: Nicht-energetische Emissionen

Datengrundlagen des Bundes

Emissionshandelsregister (Emissions Registry)

Beschreibung	Die effektiven Emissionen pro Anlage im EHS sind auf der Website des Emissionshandelsregisters publiziert und können von dort übernommen werden (www.emissionsregistry.admin.ch ; Abgegebene Einheiten).
Verfügbarkeit	Die Daten sind öffentlich verfügbar. Entsprechend sind auch Bedenken des Datenschutzes zur Veröffentlichung dieser Daten hinfällig.
Periodizität	Jährliche Aktualisierung
Vollständigkeit und Datenqualität	Vollständig und sehr hohe Qualität

4.5 Landwirtschaft

Datengrundlagen des Bundes

Agrarbericht (Biodiversitätsbeiträge)

Beschreibung	Online verfügbare Informationen zur Schweizer Landwirtschaft, diese beinhalten verschiedene Informationen in den Bereichen Mensch, Betrieb, Produkti-
--------------	---

¹² Velo- und Fussverkehr sind als nicht auf Querschnittswerte kalibrierte Quelle-Ziel-Matrizen verfügbar.

	on, Markt, Umwelt, Politik, International und Service. Die Biodiversitätsbeiträge sind im Bereich Politik > Direktzahlungen enthalten.
Verfügbarkeit	Die Daten sind online verfügbar: https://www.agrarbericht.ch/de/politik/direktzahlungen/biodiversitaetsbeitraege
Periodizität	Die Daten werden jährlich aktualisiert
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten sind öffentlich verfügbar und vollständig.

Landwirtschaftliche Nutzfläche (ohne Sömmerungsweiden)	
Beschreibung	Landwirtschaftliche Nutzfläche (ohne Sömmerungsweiden) gemäss dem Bundesamt für Statistik (BFS). Dazu zählen insbesondere die Flächen für Getreide, Kunstwiesen und Weiden.
Verfügbarkeit	Die Daten sind online verfügbar: https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/landwirtschaft.assetdetail.21244200.html
Periodizität	Die Daten werden jährlich aktualisiert
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten sind öffentlich verfügbar und vollständig.
Weiteres	Die landwirtschaftliche Nutzfläche entsprechen der Fläche ohne die Sömmerungsweiden.

Kantonale Datengrundlagen

Landwirtschaftliche Erhebung Kanton Bern	
Beschreibung	Der Kanton Bern erhebt jährlich umfassende Daten zu allen landwirtschaftlichen Betrieben im Kanton. Die Daten umfassen alle wichtigen Zahlen darunter Anzahl Tiere nach Art und Alterskategorie, sowie Parzellenscharfe Anbaudaten der unterschiedlichen Kulturen.
Verfügbarkeit	Die Daten können über das Amt für Landwirtschaft und Natur (LANAT) bezogen werden.
Periodizität	jährlich
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten sind vollständig und in sehr guter Qualität verfügbar.

4.6 Abwasser und Abfall

Übergeordnete Datengrundlagen

Biogasanlagen im Kanton Bern	
Beschreibung	Angaben zu den Biogasanlagen im Kanton Bern wurden basierend auf verschiedenen übergeordneten Datengrundlagen erhoben und aufbereitet (wobei alle Anlagen aufgenommen werden, die in einer der Listen erscheint): <ul style="list-style-type: none"> — Liste opendata Biogasanlagen: Biogasanlagen opendata.swiss — Liste KEV-Bezüger: Einspeisevergütung (admin.ch) — Liste Ökostrom Schweiz: Ökostrom: Standorte (oe-

kostromschweiz.ch	
Verfügbarkeit	Online verfügbar
Periodizität	Nicht definiert
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten sind in guter Qualität verfügbar
Abgrenzung zu anderen Datengrundlagen	Es muss sichergestellt werden, dass die Daten der verschiedenen Datengrundlagen (diese und die Liste des Kantons) konsistent sind. Dabei sind ARAs, Holzheizkraftwerke und Deponien innerhalb dieser Listen nicht zu berücksichtigen.

Kantonale Datengrundlagen

Kompostierungsanlagen im Kanton Bern

Beschreibung	Aufbereitung der Angaben zu den Kompostierungsanlagen im Kanton Bern: <ul style="list-style-type: none"> — Anlage — Anlagentyp (Kompostierung, Vergärung) — Standortgemeinde — Tonnen Frischsubstanz (ohne Hofdünger)
Verfügbarkeit	Die Daten werden vom Amt für Wasser und Abfall erhoben und können entsprechend bereitgestellt werden.
Periodizität	Die Daten werden jährlich erhoben.
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten decken die gesamten industriellen Kompostierungs- und Vergärungsanlagen innerhalb des Kantons ab.

Erhebung der technischen Kennzahlen für Abwasserverbände

Beschreibung	Energiedaten für jede Abwasseranlage des Kanton Bern mit folgenden Informationen: <ul style="list-style-type: none"> — Klärgasproduktion und Nutzung — Heizölverbrauch — Klärgasmenge
Verfügbarkeit	Die Daten werden vom Kanton Bern erhoben und können entsprechend bereitgestellt werden.
Periodizität	Die Daten werden jährlich erhoben.
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten decken die gesamten Abwasseranlagen des Kantons ab.

Biogasanlagen im Kanton Bern

Beschreibung	Liste Biogasanlagen des Kantons Bern (AfU)
Verfügbarkeit	Die Daten werden vom Amt für Wasser und Abfall erhoben und können entsprechend bereitgestellt werden.
Periodizität	Die Daten werden jährlich erhoben.

Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten bestehen aus einem Abgleich von verschiedenen Datenquellen, die unterschiedlicher Qualität sind.
Abgrenzung zu anderen Datengrundlagen	Es muss sichergestellt werden, dass die Daten der verschiedenen Datengrundlagen (Kanton und übergeordnete Grundlagen) konsistent sind. Dabei sind ARAs, Holzheizkraftwerke und Deponien innerhalb dieser Listen nicht zu berücksichtigen.

4.7 Flüchtige Emissionen

Übergeordnete Datengrundlagen

Jahresbericht des Verbands der Schweizerischen Gasindustrie (VSG)	
Beschreibung	Der Jahresbericht beschreibt die Aktivitäten des VSG. Darin enthalten ist die Länge des gesamten Schweizer Gasnetzes, welches für die Abschätzung der flüchtigen Emissionen in diesem Sektor benötigt wird.
Verfügbarkeit	Die Daten sind öffentlich zugänglich auf der Webseite des VSG: VSG: Jahresbericht (gazenergie.ch)
Periodizität	Die Daten werden jährlich publiziert.
Vollständigkeit und Datenqualität	Die Daten sind vollständig und von hoher Qualität.
Abgrenzung zu anderen Datengrundlagen	Es muss sichergestellt werden, dass die kantonal oder lokal erhobenen Daten zu den Leitungslängen des Gasnetzes konsistent mit dieser Datengrundlagen sind.

Lokale und regionale Datengrundlagen

Länge der Gasleitungen (Daten der Gasversorger)	
Beschreibung	Leitungslänge des Gasnetzes exkl. Hausanschlüsse pro Gemeinde
Verfügbarkeit	Die Daten müssen direkt bei den Gasversorgern bezogen werden und sollten grundsätzlich überall vorliegen.
Periodizität	Die Aktualisierung der Daten ist abhängig vom Gasversorger
Vollständigkeit und Datenqualität	Idealerweise liefert der Gasversorger die Leitungslängen nach Funktion der Leitungen (Transportnetz, Verteilnetz, Hausanschlüsse). Dies stellt die Konsistenz mit den übergeordneten Leitungslängen bestmöglich sicher.
Abgrenzung zu anderen Datengrundlagen	Falls der Bezug von Leitungslängen von den Gasversorgern nicht möglich ist, oder sich zu aufwändig gestaltet, können beim SVGW (Schweiz. Verein des Gas- und Wasserfaches) Längen der Gasleitungen nach Druckstufe pro Energieversorger bezogen werden. Informationen zur Länge der Gasleitungen und teilweise auch Angaben zum Durchmesser der Leitungen sind auch im Leitungskataster des Kantons verfügbar (siehe oben). Da zudem keine Daten zum Leitungsdruck vorliegen, wird diese Datengrundlage nicht verwendet.

5. Technische Umsetzung

Dieses Kapitel beschreibt die technische Umsetzung der Bilanzierung detailliert und für den internen Gebrauch des Kantons bzw. als Referenz für zukünftige Erhebungen durch weitere Fachpersonen. Dafür wird das Vorgehen pro Sektor detailliert beschrieben:

Detaillierte technische Umsetzung pro Sektor

- Wärme und Energieumwandlung werden gemeinsam beschrieben, da die jeweilige Methodik sehr ähnlich ist und auf die gleichen Datengrundlagen zurückgreift (Kapitel 5.1).
- Verkehr (Kapitel 5.2)
- Industrie: Nicht-energetische Emissionen (Kapitel 5.3)
- Landwirtschaft (Kapitel 5.4)
- Abwasser und Abfall (Kapitel 5.5)
- Flüchtige Emissionen (Kapitel 5.6)

Da auf eine Bilanzierung der Sektoren Landnutzung (LULUCF) und Senken (Negativemissionen) verzichtet wird, erübrigt sich eine technische Beschreibung dieser Sektoren.

5.1 Wärme und Energieumwandlung

Die Methodik für die beiden Sektoren Wärme und Energieumwandlung ist sehr ähnlich und basiert auf vielen gleichen Datengrundlagen. Deshalb wird im Folgenden ein paralleles Vorgehen dieser beiden Sektoren beschrieben.

Gemeinsames Vorgehen für Sektoren Wärme und Energieumwandlung

5.1.1 Erstellung Gesamtdatensatz

Damit alle Datengrundlagen verwendet werden können, muss ein verbrauchercharakteristischer Gesamtdatensatz mit einer Verknüpfung sämtlicher Datenquellen erstellt werden. Dieser Gesamtdatensatz zeigt schlussendlich auf, was der Energieträger pro Adresse ist und wie hoch der Endenergieverbrauch ist. Für den Gesamtdatensatz wird das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) als Ausgangslage verwendet. Relevante Informationen aus den GWR-Daten sind die Gebäude-ID (EGID), Adresse und Gebäudekategorie / Gebäudeklasse. Verbrauchswerte und Anlagendaten werden, wenn immer möglich, über die Adresse (d.h. Gebäude, resp. Teilgebäude) den Daten des GWR zugeordnet. In Fällen, in denen die Daten nicht über die Adresse einem spezifischen Gebäude aus dem GWR zugeordnet werden können, werden die Energieverbräuche übergeordnet der Standortgemeinde zugeordnet.

GWR-Daten als Grundlage

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Datengrundlagen und deren Verwendung in den Sektoren Wärme und Energieumwandlung (Details zu den Datengrundlagen und deren Aufbereitung sind in Kapitel 4 Datengrundlagen beschrieben).

Verwendete Daten

Datengrundlagen	Energieumwandlung	Wärme
Gasabsatzdaten (verbraucherscharf)	✓	✓
UZV, KZV, EVA (Verbrauch fossiler Energieträger ausser leitungsgebundenem Gas)		✓
Energieverbrauch Wärmeverbunde (Verbrauch Heizöl)	✓	
Feuerungskontrolle (Verbrauch Heizöl, Flüssiggas)		✓
iGEKO (Grossfeuerungen, Notstromanlagen, BHKW) (Verbrauch Heizöl, Flüssiggas)	✓	✓
Energieverbrauch ARA (Verbrauch Heizöl, Klärgas)	✓	
Erhebung der Betriebsdaten von Kehrichtverbrennungsanlagen und Deponien	✓	

Tabelle 12 Übersicht der verwendeten Datengrundlagen für die Sektoren Energieumwandlung und Wärme

Zusätzlich werden die Anlagendaten für Gasfeuerungen aus der Feuerungskontrolle und dem iGEKO für die Berechnung der Volllaststunden verwendet.

Für eine erfolgreiche Zuordnung zur GWR-Datengrundlage müssen Adressen teilweise manuell angepasst werden (Schreibfehler, Hausnummernzusätze). Ohne korrekte Zuordnung ist eine Einteilung auf die verschiedenen Bereiche (Wohnen, Dienstleistungen, Industrie, Landwirtschaft) in den meisten Fällen nicht möglich. Durch die Verknüpfung aller Datengrundlagen mit den GWR-Daten ist es möglich, dass zu einer Adresse Informationen aus verschiedenen Datengrundlagen zu einem Energieträger zur Verfügung stehen. Welche Datengrundlagen für Treibhausgasbilanz prioritär genutzt werden, wird im nächsten Kapitel 5.1.2 beschrieben. Bei den Anlagendaten der Feuerungskontrolle stehen neben der Adresse auch die EGID und die Anlagen-Nummer zur Verfügung, die zur Verknüpfung der Daten mit dem Gesamtdatensatz verwendet werden könnte.

Verknüpfung der Datengrundlagen über Adresse

Anlagendaten und Verbrauchsdaten, die nicht über die Adresse einer spezifischen GWR-Adresse zugeordnet werden können, werden auf übergeordneter Ebene den Gemeinden zugeordnet:

Zuordnung von Datensätzen nach Gemeinden

- iGEKO Notstromanlagen: Für die Notstromanlagen liegen in vielen Fällen keine zuordenbaren Adressen vor. Aus diesem Grund werden die Notstromanlagen nur auf Ebene Gemeinde zugeordnet. Da die Notstromanlagen sowieso dem Sektor Energieumwandlung zugeordnet werden, ergibt sich dadurch keine Ungenauigkeit in der Bereichszuteilung.
- Anlagendaten Heizöl (Feuerungskontrolle, iGEKO Grossfeuerungen und BHKW): Alle Feuerungen, die nicht einer Adresse aus GWR zugeordnet werden konnten, werden übergeordnet der Gemeinde angerechnet. Bei der Erhebung der Startbilanz 2020 betraf dies nur einen sehr geringen

Anteil aller Daten (Feuerungskontrolle: <1%, iGEKO: alle Öl- und Gasfeuerungen konnten zugeordnet werden).

- Grossverbraucher (UZV, KZV, EVA), Energieverbrauchsdaten Wärmeverbunde und ARA: Diese Daten überschneiden sich mit den Anlagendaten der Heizölfeuerungen (Feuerungskontrolle, iGEKO) und können aus diesem Grund nur verwendet werden, wenn sie eindeutig einer Adresse zugeordnet werden können und die betreffenden Anlagendaten ersetzen. Wenn dies nicht möglich ist, werden die Daten nicht verwendet, da es sonst zu Mehrfachzählungen kommen könnte.
- Gasverbrauch: Alle Gasabsätze, die nicht einer Adresse gemäss GWR zugeordnet werden können, werden übergeordnet der Gemeinde angerechnet. Falls für eine Gemeinde keine verbraucherscharfen Gasabsatzdaten vorliegen, werden anhand der Feuerungsdaten (Feuerungskontrolle, iGEKO) die Standorte der Anlagen identifiziert. Auch in diesem Fall werden die nicht zuordenbaren Feuerungen auf Ebene Gemeinde angerechnet (Vorgehen gleich wie bei Anlagendaten Heizöl).
- Erhebung der Betriebsdaten von Kehrichtverbrennungsanlagen und Deponien: Menge verbrannter Abfall wird auf Ebene Gemeinde angerechnet.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Zuordnung der Anlagendaten und Verbrauchsdaten zu den Adressen gemäss GWR kann je nach Datenqualität sehr aufwändig sein. Aus diesem Grund wäre es zielführend, wenn allfällige Adresskorrekturen nur einmalig durchgeführt und bei jeder weiteren Aktualisierung der Treibhausgasbilanz nicht erneut durchgeführt werden müssten. Es wird folgendes Vorgehen empfohlen:

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- Gasabsatzdaten: Die Gasverbraucher weisen in der Regel eine eindeutige ID des Gasversorgers auf. Es zeigt sich aber, dass diese je nach Versorger in einer unterschiedlichen Qualität geliefert werden. Zudem muss beachtet werden, dass sich bei Tarifänderungen teilweise auch die ID beim Gasversorger ändern kann. Die Überprüfung, ob sich Veränderungen in der Struktur der IDs ergeben haben, kann sehr aufwändig sein. Deshalb empfiehlt es sich, eine einmalige Bereinigung der Adressen vorzunehmen und diese direkt mit dem GWR zu verknüpfen. Bei einer erneuten Erhebung können die Gasverbraucher über die resultierende Adressdatenbank verknüpft werden.
- Anlagendaten Feuerungskontrolle: Die Anlagendaten verfügen bereits über Adressen und EGID. Teilweise scheinen diese Informationen jedoch nicht mit den Informationen im GWR übereinzustimmen. Für eine effiziente Datenverarbeitung würde sich eine einmalige Bereinigung und Aktualisierung der EGID und Adressen direkt in der Datenbank der Feuerungskontrolle lohnen.
- Anlagendaten iGEKO: Die iGEKO-Datenbank verfügt über eine eindeutige ID (Anlagen-Nummer). Wenn die Anlagen einmal korrekt der GWR-Datenbank zugeordnet wurden, können in weiteren Jahren die Anlagendaten über die bereits verknüpften Anlagen-Nummern zugeordnet werden.

- UVZ, KZV, EVA (Ölverbrauch): Auch hier wird eine einmalige Bereinigung der Adressen empfohlen, sodass diese mit Adressen des GWR übereinstimmen. In den Folgejahren kann die Zuordnung über den Firmennamen und die Zielvereinbarungs-ID erfolgen.

5.1.2 Verwendung Datengrundlagen

Für die Einschätzung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen werden pro Energieträger die jeweils genauesten verfügbaren Datengrundlagen verwendet. In erster Priorität werden effektive Absatzdaten resp. Verbrauchsdaten verwendet. Wenn diese nicht verfügbar sind, kommen in zweiter Priorität Anlagendaten zum Zug.

Verbrauchsdaten
als erste Priorität
vor Anlagendaten

Für alle Gasfeuerungen stehen mit den verbraucherscharfen Gasabsatzdaten der Gasversorger reale Energieverbrauchsdaten zur Verfügung und ergeben so die genaueste mögliche Schätzung der Treibhausgasemissionen aus der energetischen Nutzung von Gas. Dabei wird der Anteil erneuerbares Gas pro Verbraucher berücksichtigt. Um die Werte zwischen den Jahren vergleichen zu können, wird eine Witterungsbereinigung durchgeführt (siehe nächstes Kapitel).

Energieträger Gas

Um die Menge des erneuerbaren Gases korrekt abzubilden, werden zusätzlich die in ARA produzierten und direkt vor Ort verbrauchten Mengen an Klärgas aus der Erhebung der technischen Kennzahlen für Abwasserverbände aufgenommen.

Erneuerbare Gase
in ARA

Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen aus Heizöl stehen verschiedene Datengrundlagen zur Verfügung:

Energieträger
Heizöl

1. Priorität: Verbrauchsdaten

- Daten zu Grossverbrauchern (UZV, KZV, EVA), Energieverbrauchsdaten Wärmeverbunde, Energieverbrauchsdaten ARA: Diese Daten überschneiden sich mit den Anlagendaten aus iGEKO und der Feuerungskontrolle und müssen daher eindeutig abgegrenzt werden. Aus diesem Grund werden nur Verbrauchsdaten verwendet, denen über die Adresse aus dem GWR eindeutig auch die Leistung einer Anlage aus iGEKO oder der Feuerungskontrolle zugeordnet werden kann. Ist dies der Fall, wird dafür die Anlage in iGEKO/Feuerungskontrolle nicht in der Bilanzierung berücksichtigt, damit keine Doppelzählung entsteht.

2. Priorität: Anlagendaten

- iGEKO: Die iGEKO-Daten überschneiden sich nicht mit der Feuerungskontrolle, zwischen diesen beiden Datensätzen muss daher keine Abgrenzung erfolgen. Die iGEKO-Daten können sich jedoch mit den Daten zu Grossverbrauchern oder Verbrauchsdaten von Wärmeverbunden oder ARA überschneiden. Aus diesem Grund werden die Anlagendaten von Feuerungen, die sich an derselben Adresse befinden wie Feuerungen, für die Verbrauchsdaten bestehen nicht in die Bilanzierung aufgenommen.
- Feuerungskontrolle: Die Daten können sich mit den Daten aus den UVZ, KZV oder EVA oder den Energieverbrauchsdaten von ARA überschneiden. Aus diesem Grund werden die Anlagendaten von Feuerungen, die sich an derselben Adresse befinden wie Feuerungen, für die Ver-

brauchsdaten bestehen nicht in die Bilanzierung aufgenommen. Dabei wird zusätzlich überprüft, ob sich weitere Feuerungen auf dem Gelände befinden, um Doppelzählungen zu vermeiden.

Für Feuerungen mit den Energieträgern Biogas (iGEKO) sowie Flüssiggas (iGEKO und Feuko) werden mit einer Ausnahme (Verbrauch Klärgas aus Erhebung der ARAs) nur Anlagendaten verwendet. Die Berechnung des Energieverbrauchs erfolgt über Volllaststunden nach Bereich.

Energieträger
Biogas und Flüssiggas

In den Daten der Grossverbraucher kommen weitere fossile Energieträger vor (wie Koks, Kunststoffe, Lösungsmittel). Die Verbrauchswerte werden direkt übernommen.

Weitere fossile
Energieträger

Für eine Verbesserung der Datengrundlage könnten in Zukunft die Ölabsatzdaten analog zu den Gasabsatzdaten verbraucherscharf erhoben und als Grundlage für die Berechnungen der Treibhausgasemissionen verwendet werden. Dabei müsste jedoch folgende Herausforderungen berücksichtigt werden: Aufgrund der Speicherbarkeit liesse sich nicht direkt vom Absatz bzw. Kauf von Heizöl auf den jährlichen Verbrauch schliessen, sondern es müsste beispielsweise über einen mehrjährigen Schnitt ein durchschnittlicher Verbrauchswert eruiert werden. Aufgrund des grossen Aufwands wurde die Erhebung und Nutzung von Ölabsatzdaten vorerst verworfen. Einzig die Ölverbräuche einzelner Anlagen (Zielvereinbarungen, Wärmeverbunde und ARA) werden berücksichtigt.

Keine Erhebung
von Ölverbrauchs-
daten

Pro Adresse können sowohl ein Gasverbrauch als auch ein Ölverbrauch zugeordnet werden, dies ist der Fall für Heizsysteme mit zwei Energieträgern. Ein vorhandener Wert zum Gasabsatz schliesst somit nicht aus, dass auch ein Ölverbrauch an der gleichen Adresse besteht, und umgekehrt.

Keine Abgrenzung
zwischen Öl und
Gas nötig

Für die KVA werden die Mengen von verbranntem Kehrriech aus der Erhebung der Betriebsdaten von Kehrriechverbrennungsanlagen verwendet. Die Treibhausgasemissionen werden der Standortgemeinde angerechnet.

Menge verbrannter
Kehrriech in KVA

5.1.3 Sektor- und Bereichsaufteilung

Die Treibhausgasbilanz wird separat für die folgenden Sektoren und Bereiche ausgewiesen:

Bereiche des Sektors
Wärme

- Sektor Wärme mit den Bereichen Gebäude (Haushalte), Gebäude (Dienstleistungen), Industrie und Landwirtschaft
- Sektor Energieumwandlung

Dafür werden Informationen aus iGEKO sowie Attribute zur Gebäudeklasse respektive Gebäudekategorie des GWR verwendet und basierend darauf jedes Gebäude einem Bereich, respektive Sektor, zugeordnet.¹³

Die Datengrundlagen werden mit der folgenden Priorisierung verwendet.

¹³ In Mischgebäuden mit mehreren Bereichen führt diese Methodik dazu, dass Energieverbräuche nur einem von beiden Bereichen zugeordnet werden. Im einzelnen Gebäude kommt es daher zu Fehleinschätzungen. Da diese Verschiebung jedoch in beide Richtungen geschieht, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Effekte in etwa aufheben.

1. **Priorität: Informationen aus Verbrauchs- und Anlagendaten**

- Zuordnung Sektor Energieumwandlung: Die Emissionen der KVA, der Notstromanlagen (iGEKO) und BHKW (iGEKO) sowie der Wärmeverbunde werden komplett dem Sektor Energieumwandlung zugeordnet. Sowohl BHKW wie auch Notstromanlagen sind in der iGEKO-Datenbank anhand der Anlagenart identifizierbar. Zudem kann anhand der Beschreibung der Grossfeuerungen manuell identifiziert werden, ob es sich beim Verbraucher um einen Wärmeverbund handelt und somit dem Sektor Energieumwandlung zugeordnet wird. Diese Zuteilung wird sowohl für Gas- wie auch für Ölfeuerungen durchgeführt. In Zukunft ist beim Kanton vorgesehen, dass dem Datensatz iGEKO ein Attribut mit dieser Information hinzugefügt wird. Dieses Attribut könnte dann automatisiert für die Unterscheidung der Sektoren Wärme und Energieumwandlung eingesetzt werden.
- Zuordnung Bereiche im Sektor Wärme: Auch eine Zuordnung auf die Bereiche Industrie und Landwirtschaft ist anhand der Anlageart in der iGEKO-Datengrundlage möglich.
- Die automatische Zuteilung von Sektoren und Bereichen aus der iGEKO-Datengrundlage wird durch eine manuelle Einschätzung der einzelnen Feuerungen ergänzt.

1. Priorität: Direkte Erhebung aus Grundlagendaten

2. **Priorität: Attribut Gebäudeklasse (GKLAS) aus GWR**

Alle Gebäude werden gemäss der untenstehenden Tabelle den vier Bereichen im Sektor Wärme zugeordnet:

2. Priorität: Identifikation über Gebäudeklasse

Gebäudeklasse (GKLAS)	Bereich
1110 Gebäude mit einer Wohnung	Haushalte
1121 Gebäude mit zwei Wohnungen	Haushalte
1122 Gebäude mit drei oder mehr Wohnungen	Haushalte
1130 Wohngebäude für Gemeinschaften	Haushalte
1211 Hotelgebäude	Dienstleistungen
1212 Andere Gebäude für kurzfristige Beherbergungen	Dienstleistungen
1220 Bürogebäude	Dienstleistungen
1230 Gross- und Einzelhandelsgebäude	Dienstleistungen
1231 Restaurants und Bars in Gebäuden ohne Wohnnutzung	Dienstleistungen
1241 Bahnhöfe, Abfertigungsgebäude, Fernsprechvermittlungszentralen	Dienstleistungen
1242 Garagengebäude	Dienstleistungen
1251 Industriegebäude	Industrie
1252 Behälter, Silos und Lagergebäude	Industrie
1261 Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke	Dienstleistungen
1262 Museen / Bibliotheken	Dienstleistungen
1263 Schul- und Hochschulgebäude, Forschungseinrichtungen	Dienstleistungen

1264	Krankenhäuser und Facheinrichtungen des Gesundheitswesens	Dienstleistungen
1265	Sporthallen	Dienstleistungen
1271	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	Landwirtschaft
1272	Kirchen und sonstige Kulturgebäude	Dienstleistungen
1273	Denkmäler oder unter Denkmalschutz stehende Bauwerke	Dienstleistungen
1274	Sonstige Hochbauten, anderweitig nicht bekannt	Dienstleistungen
1275	Andere Gebäude für die kollektive Unterkunft	Haushalte
1276	Gebäude für die Tierhaltung	Landwirtschaft
1277	Gebäude für den Pflanzenbau	Landwirtschaft
1278	Andere landwirtschaftliche Gebäude	Landwirtschaft

Tabelle 13 Zuordnung der Gebäudeklasse auf die Bereiche

3. Priorität: Attribut Gebäudekategorie (GKAT) aus GWR

Wenn keine Information zur Gebäudeklasse (GKLAS) vorhanden ist, wird die Zuordnung über das Attribut GKAT vorgenommen (siehe Tabelle 14). Hier sind die Kategorien «Provisorische Unterkünfte», «Gebäude mit ausschliesslicher Wohnnutzung» eindeutig dem Bereich Haushalte zuzuordnen. Bei allen übrigen Kategorien wird der gesamte Energieverbrauch dem dominierenden Bereich zugeordnet (siehe Tabelle 14: GKAT 1030, 1040, 1060 und 1080).¹⁴

3. Priorität: Identifikation über Gebäudekategorie

Gebäudekategorie (GKAT)		Bereich
1010	Provisorische Unterkünfte	Haushalte
1020	Gebäude mit ausschliesslicher Wohnnutzung	Haushalte
1030	Wohngebäude mit Nebennutzung	Haushalte
1040	Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung	Dienstleistungen
1060	Gebäude ohne Wohnnutzung	Dienstleistungen
1080	Sonderbauten	Industrie
NA		unbekannt

Tabelle 14 Zuordnung der Gebäudekategorien zu den Bereichen

Verbraucher- oder Anlagendaten ohne GWR-Verknüpfung

Wenn der Adresse der Verbraucher- oder Anlagendaten kein Gebäude aus dem GWR zugeordnet werden kann und auch direkt auf Ebene Verbraucher- oder Anlagendaten keine Informationen zum Sektor oder Bereich vorliegen, wird der Verbraucher der Kategorie «unbekannt» zugeordnet. Eine Zuordnung der verbleibenden Energieverbraucher anteilmässig auf

Daten ohne GWR-Verknüpfung

¹⁴ Durch diese Zuordnung entsteht bei einzelnen Gebäuden eine Unschärfe aufgrund der fehlenden Aufteilung innerhalb des Gebäudes auf verschiedene Bereiche. Eine genauere Einschätzung der Anteile pro Gebäude sind jedoch mit den bestehenden Datengrundlagen nicht möglich und anderweitige Annahmen wären mit einem ähnlichen Unsicherheitsfaktor behaftet.

die verschiedenen Bereiche und Sektoren wurde nicht als sinnvoll erachtet, weil so die Unsicherheit in der Datengrundlage nicht sichtbar ist.

Alternative Vorgehensoptionen

Eine Zuteilung des Energieverbrauchs auf die verschiedenen Bereiche hätte zusätzlich mit den Informationen aus den Nutzungsplänen sowie den EBBE-Daten oder vergleichbaren Energiebedarfs-Daten erfolgen können. Im Folgenden wird hier aufgezeigt, wieso dieses Vorgehen nicht weiterverfolgt wurde.

Alternative Vorgehensoptionen geprüft und verworfen

Basierend auf der Nutzungsplanung könnte jedem Gebäude der GWR-Datenbank eine Zone zugeordnet werden als zusätzliche Information zum Bereich. Viele Zonen wie beispielsweise «Uferschutzplan», «Erhaltungszone», «Kernzone» lassen sich jedoch nicht eindeutig einem Bereich zuordnen und können daher die Einschätzung aus den Daten des GWR und den Anlagendaten kaum verbessern. Aus diesem Grund wurde der Einbezug der Nutzungspläne nicht weiterverfolgt.

Nutzungsplan

Mit den EBBE-Daten könnte sowohl ein hektarscharfes wie auch gemeindegrobes Vorgehen zur Einschätzung der Emissionsanteile pro Bereich gewählt werden. Für die hektarscharfe Methodik würden pro Hektare der Energiebedarf der Sektoren «Wohnen», «Industrie» und «Dienstleistungen» aus EBBE berechnet und daraus der Anteil der Bereiche am Energiebedarf abgeleitet. Die Treibhausgasemissionen aus den Verbrauchs- und Anlagendaten würden anschliessend pro Hektare gemäss den obigen Schlüsseln (Tabellen 13 und 14) auf die Bereiche verteilt. Für dieses Vorgehen ist jedoch die vereinfachende Annahme nötig, dass die Verteilung der Energieträger pro Sektor identisch ist. Zudem kann der Bereich Landwirtschaft nicht differenziert werden. Verglichen zum Ertrag dieser Methodik steht der damit verbundene Aufwand nicht im Verhältnis. Zudem ist unklar, wie lange die EBBE-Daten noch vom Kanton erhoben werden.

Energiebedarfsdaten: Anteile auf Hektarebene

Mit den EBBE-Daten könnte weiter eine Abschätzung der Anteile des Energieverbrauchs von den Bereichen Dienstleistungen in Mischgebäuden (Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung, Wohngebäude mit Nebennutzung) gemacht werden. Dafür würde der Energiebedarf fürs Wohnen aus EBBE in einen Energieverbrauch umgewandelt und mit dem Energieverbrauch verglichen, der durch die Methodik der Klimametrik berechnet wird, und so eine Verteilung auf die Bereiche durchgeführt. Eine Prüfung der Daten ergab jedoch, dass durch die unterschiedliche Erhebungsmethodik die Werte nicht vergleichbar genug sind und somit eine Verknüpfung der Daten keinen Sinn ergibt.

Energiebedarfsdaten: Anteile auf Gebäudeebene

Für das Vorgehen auf Ebene Gemeinde würden pro Gemeinde der Energiebedarf der Sektoren «Wohnen», «Industrie» und «Dienstleistungen» aus EBBE berechnet und daraus der Anteil der einzelnen Bereiche am Energieverbrauch abgeleitet. Die Öl- und Gasverbräuche gemäss Verbrauchs- und Anlagendaten würden dann anhand von diesen Anteilen auf die Bereiche verteilt werden. Für dieses Vorgehen ist jedoch die vereinfachende Annahme nötig, dass die Verteilung der Energieträger pro Sektor identisch ist. Zudem kann der Bereich Landwirtschaft nicht differenziert werden.

Energiebedarfsdaten: Anteile auf Gemeindeebene

5.1.4 Absatzdaten: Witterungsbereinigung

Für Absatzdaten wird grundsätzlich eine Witterungsbereinigung durchgeführt, sodass die Resultate der Klimabilanz zwischen den Jahren vergleichbar sind. Als Referenzperiode wird ein gleitendes Mittel der vorangegangenen zehn Jahre verwendet. Für die Datensätze wird individuell bestimmt, ob eine Witterungsbereinigung erfolgen soll:

Witterungsber
einigung der Absat
zdaten

- Verbraucherscharfe Gasabsatzdaten¹⁵ des Sektors Wärme und Energieverbrauchsdaten der Wärmeverbunde: diese werden in jedem Fall witterungsbereinigt
- Verbrauchsdaten aus UZV, KZV und EVA: Witterungsbereinigung in den Bereichen Haushalte und Dienstleistungen, da angenommen wird, dass ein grosser Teil der Energie für Raumwärme gebraucht wird; keine Witterungsbereinigung in den Bereichen Industrie und Landwirtschaft, da angenommen wird, dass Schwankungen nicht primär witterungsbedingt sind.
- ARA: keine Witterungsbereinigung, da angenommen wird, dass Schwankungen nicht primär witterungsbedingt sind.

Die Witterungsbereinigung erfolgt nur für Raumwärme. Dieser Wert unterscheidet sich je nach Sektor und wird mit folgenden vereinfachten Annahmen angenähert. Bei Wärmeverbunden wird angenommen, dass der Verbrauch zu 100% witterungsabhängig ist.

Differenzierung von
Nutzungstypen

Bereich	Anteil Raumwärme (Anteil witterungsabhängiger Energieverbrauch)
Haushalte	81%
Dienstleistungen	86%
Land- und Forstwirtschaft	86%
Industrie / Gewerbe	56%

Tabelle 15 Annahmen basieren auf Heizgradkorrektur gemäss Holzenergiestatistik (BFE, 2021)¹⁶ und Energieverbrauch Private Haushalte, Prognos (2022)

Als Grundlage für die Witterungsbereinigung werden gemäss der kantonalen Energieverordnung (KE nV 2016) die Messwerte der Klimastationen Bern-Liebefeld und Adelboden genutzt. Konkret werden durchschnittlichen Heizgradtage gemäss Hauseigentümergebiet (HEV) an den folgenden Standorten verwendet:

Durchschnittliche
Heizgradtage

- Standort Adelboden: für Gebäude auf einer Höhe von über 800 m. ü. M.

15 Dies beinhaltet auch Gas fürs Kochen. Die Verbrauchsmengen für diese Anwendung sind jedoch so viel geringer, dass diese Unterscheidung hier vernachlässigt wird.

Stromgeführte BHKW sind von der Witterungsbereinigung ausgenommen.

16 Die Bereinigungs-faktoren basieren auf der gleichen Grundlage, welche in der Berechnungs-methode des Heizölpanels verwendet wird.

— Standort Bern/Zollikofen (Verlegung der Messstation von der Station Bern-Liebefeld nach Bern/Zollikofen): für Gebäude auf einer Höhe von unter 800 m. ü. M.

Für alle Energieverbrauchswerte erfolgt die Witterungsbereinigung folgendermassen. Über die mittleren Heizgradtage (HGT) und die Heizgradtage des Bilanzierungsjahres wird ein Korrekturfaktor errechnet. Dieser Korrekturfaktor wird anschliessend auf den Anteil des Energieverbrauchs angewendet, der witterungsabhängig ist. Dieser Anteil unterscheidet sich je nach Bereich (siehe Tabelle 14).

Witterungsbereinigung

$$\text{Korrekturfaktor} = \frac{HGT_{\text{Mittel}}}{HGT_{\text{Jahr}}}$$

$$\text{Energieverbrauch}_{\text{witterungsbereinigt}} = \frac{\text{Energieverbrauch}_{\text{witterungsabhängig}}}{\text{Korrekturfaktor}_{\text{Bereich}}}$$

5.1.5 Erhebung Volllaststunden und Berechnung Ölverbräuche

Für die Berechnung des Ölverbrauchs aus den Feuerungsleistungen der Öl-Anlagendaten, wird eine Schätzung für die Volllaststunden benötigt. Diese wird über die Anlagen- und Verbraucherdaten von Gasheizungen berechnet. Die Volllaststunden von Gas- und Ölfeuerungen unterscheiden sich zwar leicht: bei alten Anlagen liegen die Volllaststunden der Gasfeuerungen etwas höher, bei neueren Anlagen liegen sie bei den Ölfeuerungen höher. Im Durchschnitt wird davon ausgegangen, dass die Volllaststunden etwa gleich hoch sind. Das gleiche Vorgehen wird für Anlagendaten zu Flüssiggasfeuerungen angewendet.

Abschätzung der Volllaststunden über Gasheizungen

Für die Schätzung der Volllaststunden werden die Anlagen- sowie Verbrauchsdaten des Energieträgers Gas verwendet:

- Verbraucherscharfe Gasabsatzdaten des Gasversorgers, witterungsbereinigt
- Anlagendaten der Leistungen der Gasheizungen (Feuerungswärmeleistung (FWL) aus iGEKO und Feuerungskontrolle)

Für sämtliche Adressen, denen sowohl ein Gasabsatz (verbraucherscharfe Daten Gasversorger) sowie eine Feuerungsleistung der Gasheizung (Feuerungskontrolle und iGEKO) zugeordnet werden kann, können Volllaststunden berechnet werden:

Durchschnittliche Volllaststunden

$$\text{Volllaststunden}_x = \frac{\text{Gasabsatz}_x}{\text{Feuerungswärmeleistung}_x}$$

Dabei wird als Gasabsatz jeweils der durchschnittliche Verbrauch pro Adresse und für die Feuerungsleistung die durchschnittliche Leistung pro Adresse verwendet. Grund dafür ist, dass beim Gasverbrauch unklar sein kann, wie viele Feuerungen pro Verbraucher versorgt werden.

Aus allen mit dieser Methode erhobenen Volllaststunden kann ein durchschnittlicher Wert für die Volllaststunden berechnet werden, der auf die

Leistungen der Ölfeuerungen (und Flüssiggasfeuerungen) angewendet werden kann:

$$\text{Energieverbrauch}_{\text{öl}} = \text{Feuerungsleistung}_{\text{öl}} \times \text{Volllaststunden}_x$$

Je nach geografischer Lage, Grösse und Art der Feuerung und Gebäudetyp können sich die Volllaststunden unterscheiden¹⁷. Daher werden Volllaststunden in Abhängigkeit bestimmter Variablen berechnet. Angewendete Unterscheidungsmerkmale für die Volllaststunden sind:

Volllaststunden nach Gebäudetyp und weiteren Merkmalen

- Bereiche: Haushalte-Einfamilienhäuser (EFH), Haushalte, Nicht-Wohnen (basierend auf GKLAS und GKAT aus dem GWR)
- Region nach zusammengefassten Verwaltungskreisen: Mittelland (Verwaltungskreise Bern-Mittelland, Biel-Bienne, Oberaargau und Seeland) und Alpen/Jura (Verwaltungskreise Emmental, Frutigen-Niedersimmental, Interlaken-Oberhasli, Jura bernois und Thun)
- Zweitwohnungen (Gebäude mit Zweitwohnungsanteil > 50%)

Für wenige Feuerungen ist in der Feuerungskontrolle keine Feuerungsleistung eingetragen. Aufgrund der sehr geringen Menge (weniger als 1% aller Anlagen), werden diese Anlagen vernachlässigt und mit einer Leistung von 0 kW gerechnet.

Feuerungen mit fehlender Leistung

Für Notstromanlagen werden spezifische Volllaststunden angewendet. Diese Anlagen dürfen maximal 50 Stunden jährlich laufen, um als Notstromanlage zu gelten. In einem regulären Jahr ohne Einsatz der Notstromanlage laufen die Anlagen in der Regel weniger lang, bei einem effektiv nötigen Einsatz der Anlage jedoch deutlich länger. Daher wird von einem durchschnittlichen Volllaststundenwert von 50 Stunden pro Jahr ausgegangen.

Volllaststunden für Notstromanlagen

Die Berechnung der Volllaststunden für ein Bezugsjahr der Klimametrik erfolgt jeweils basierend auf der entsprechenden Datengrundlage. Eine Dokumentation der jeweils angewendeten Volllaststunden werden dem Kanton Bern als separates Dokument zur Verfügung gestellt.

Separate Dokumentation Volllaststunden

5.1.6 Bilanzierung pro Gemeinde

Für jede Gemeinde wird der Gasverbrauch (Biogas und Erdgas differenziert) und der Ölverbrauch und der Verbrauch nach Bereichen (Haushalte, Dienstleistungen, Industrie, Landwirtschaft) aufsummiert und ausgewiesen.

Berechnung des Endenergieverbrauchs

Für Gemeinden, in denen keine verbraucherscharfen Angaben zum Anteil erneuerbaren Gases vorliegen, wird der Anteil am Gesamtabsatz als Ausgangspunkt genommen und daraus eine Schätzung des erneuerbaren Anteils nach Bereich gemacht. Es wird empfohlen hierfür eine ExpertInnen-

Anteil erneuerbares Gas

¹⁷ Unterschiede in den Volllaststunden zwischen einzelnen Kategorien des Gebäudealters konnten nicht festgestellt werden. Eine Unterscheidung nach diesem Kriterium scheint daher nicht zielführend.

schätzung durch den Gasversorger einzuholen. Es muss beachtet werden, dass die Gesamtmengen an Erdgas und erneuerbarem Gas weiterhin stimmen.

Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde unterschieden nach Energieträger und Bereich werden mit den Emissionsfaktoren des Faktenblatts Emissionsfaktoren vom BAFU berechnet (siehe Datengrundlagen, Kapitel 4).

Emissionsfaktoren

5.1.7 Ergänzende Indikatoren

Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden pro Gemeinde die folgenden Indikatoren aus der bestehenden Datengrundlage erhoben:

Sektor Wärme

- Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Emissionswert pro Person heruntergebrochen.
- Treibhausgasemissionen pro Person nach Bereichen (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde und Bereich werden über die Bevölkerungszahl auf einen Emissionswert pro Person heruntergebrochen.
- Anzahl Ölfeuerungen: Die Anzahl Ölheizungen wird aus der Anzahl Ölfeuerungen in der Feuerungskontrolle sowie den iGEKO-Daten ermittelt.
- Anzahl Gasverbraucher: Die Anzahl der Gasverbraucher wird direkt anhand der verbraucherscharfen Gasabsatzdaten ermittelt.
- Fossiler Endenergieverbrauch (Gas und Öl) (kWh): Als Basis für die Berechnung der Treibhausgasemissionen wird der Endenergieverbrauch für Gas und Öl berechnet. Dieses Zwischenresultat kann direkt als ergänzender Indikator ausgewiesen werden.
- Anteil erneuerbare Gase (%): Dieser Wert soll von den Gasversorgern pro Gemeinde geliefert werden und kann direkt als ergänzender Indikator ausgewiesen werden.

Sektor Energieumwandlung

- Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Treibhausgasemissionen pro Person nach Bereichen (t CO₂eq pro Kopf): Die gemäss der Methodik berechneten Emissionen nach Bereichen werden über die Bevölkerungszahl der Gemeinde auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Fossiler Endenergieverbrauch (Gas und Öl) (kWh): Als Basis für die Berechnung der Treibhausgasemissionen wird der Endenergieverbrauch für Gas, Öl und andere fossile Energieträger berechnet. Dieses Zwischenresultat kann direkt als ergänzender Indikator ausgewiesen werden.

- Anteil erneuerbare Gase (%): Dieser Wert soll von den Gasversorgern pro Gemeinde geliefert werden und kann direkt als ergänzender Indikator ausgewiesen werden. Zusätzlich zum leitungsgebundenen Biogas wird der erneuerbare Anteil aus den BHKWs und ARAs miteinberechnet.
- Anzahl Ölfeuerungen: Die Anzahl Ölheizungen wird aus der Anzahl Ölfeuerungen in der Feuerungskontrolle sowie den iGEKO-Daten ermittelt.
- Anzahl Gasverbraucher: Die Anzahl der Gasverbraucher wird direkt anhand der verbraucherscharfen Gasabsatzdaten ermittelt. Zusätzlich wird die Anzahl Biogasfeuerungen aus dem Bereich BHKW dazugerechnet.

5.1.8 Plausibilisierung

Für die einzelnen Datengrundlagen wird empfohlen, bereits bei der Datenerhebung und Aufbereitung eine Plausibilisierung durchzuführen (siehe Kapitel 4). Folgende Prüfungen sollten dabei durchgeführt werden:

- Entspricht der durch den Energieversorger gelieferte totale Gasabsatz pro Gemeinde dem aufsummierten Gasabsatz nach Bereichen?
- Entspricht der Anteil erneuerbares Gas der finalen Bilanz den Angaben des Gasversorger nach Gemeinde?
- Ergibt die totale Leistung der Feuerungskontrolle und iGEKO (Öl) multipliziert mit dem durchschnittlichen Wert der Volllaststunden den totalen Ölverbrauch?

5.2 Verkehr

Die Emissionen des Verkehrs wurden für den ganzen Kanton mit einer einheitlichen Methodik berechnet. Die Methodik wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben. Sie umfasst eine automatisierte Anwendung des kantonalen Gesamtverkehrsmodells, eine Aufbereitung der Struktur der Fahrzeugflotte aus dem schweizerischen Motorfahrzeuginformationssystem und daraus folgend eine Erhebung der Emissionen des Strassenverkehrs (MIV, Nutzverkehr und ÖV), des Schiffsverkehrs und des Offroad-Verkehrs (Industrie und Landwirtschaft).

5.2.1 Strassenverkehr: Aufbereitung territoriale Fahrzeugleistungen

Für die Ermittlung der territorialen Fahrzeugleistungen der beiden Verkehrsmittel MIV (beinhaltet motorisierten Individualverkehr und Nutzverkehr) und ÖV (beinhaltet öffentlichen Verkehr) werden die entsprechenden Modelle des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Bern 2019 (GVM BE 2019) verwendet. Die territorialen Fahrzeugleistungen für den motorisierten Individualverkehr und Nutzverkehr werden differenziert nach Verkehrsart (Durchgangs-, Quell-, Ziel- und Binnenverkehr), Fahrzeugklasse (PW, LI, LW, LZ¹⁸) und Strassentyp (HLS, Sonstige¹⁹). Da die Aufbereitung der Daten für die Vielzahl der Gemeinden rechenaufwändig ist, erfolgt die Aufbereitung mittels Python-Skript, welches die COM-Schnittstelle von PTV VISUM nutzt. Alle Berechnungen wurden in Python 3 mit PTV VISUM 2021 ausgeführt, geografische Operationen wurden mit dem «geopandas 0.9.0» Package ausgeführt, andere benutzte Packages sind «pandas 1.3.2», «numpy 1.21.2» und der «win32com.client», welcher die Schnittstelle zu PTV VISUM darstellt.

Fahrleistungen aus kantonalem Gesamtverkehrsmodell

Eine potenzielle Schwäche der Methodik besteht darin, dass die territorialen Fahrleistungen aus dem GVM BE ermittelt werden. Dadurch werden die Fahrleistungen alle rund 3-5 Jahre bei einer Modellaktualisierung neu bestimmt. Da sich die Fahrleistungen langsam verändern ist eine häufigere Aktualisierung aus Sicht des Kosten-Nutzen-Verhältnisses nicht sinnvoll. Ein weiterer Grund für die Verwendung des GVM BE ist, dass es eine vollständige und kantonale konsistente Repräsentation des Verkehrsgeschehens abbildet – damit sind jedoch unilaterale Verbesserungen durch aktuelle und lokale Verkehrsdaten der Gemeinden grundsätzlich nur durch ein Update des gesamten Modells möglich.

Einbezug kommunaler Verkehrsdaten komplex

Motorisierter Individualverkehr und Nutzverkehr

Basis für die Berechnung der MIV Fahrzeugleistung ist das aktuelle DTV-Modell (durchschnittlicher Tagesverkehr) des Kantons Bern²⁰. Die folgende Dokumentation führt durch die Arbeitsschritte der automatisierten Auswer-

18 PW: Personenwagen und Motorräder, LI: leichte Nutzfahrzeuge, LW: Lastwagen und Reisebusse, LZ: Last- und Sattelzüge

19 HLS: nationale Hochleistungsstrassen (Autobahn inkl. Auffahrten, andere nationale Strassen), Sonstige: alle restlichen Strassen

20 Aktualisierung 2019 (Stand 18.01.2022)

tung (Nummerierung analog zu Arbeitsschritten in Python Skript «MIV_Fahrleistung.PY», siehe Anhang).

1) Strecken zu Gemeinden zuordnen (Python)

In einem ersten Schritt werden auf Basis der geografischen Lage die im Modell hinterlegten Strecken den Gemeinden des Kantons Bern zugeordnet. Dazu werden die offiziellen Schweizer Gemeinde- und Kantons Grenzen²¹ als Shape-Datei benutzt. Gemeindeübergreifende Strassenabschnitte werden längenanteilmässig den Gemeinden zugeordnet. Der Output des Skripts ist ein Datensatz mit den Strecken des GVM BE mit zusätzlichem Attribut der zugehörigen Gemeinde. Gemeindeübergreifende Strecken sind doppelt im Datensatz enthalten, mit dem jeweiligen Anteil der Streckenlänge.

2) Fahrzeugleistung für Strecken berechnen (Python und PTV VISUM)

Mit der COM-Schnittstelle von PTV VISUM erfolgt eine automatische Berechnung der differenzierten Fahrzeugleistung für alle Gemeinden des Kantons Berns. Bevor das Python-Skript gestartet wird, ist ein benutzerdefiniertes Streckenattribut (Integer) mit Bezeichnung «SELECTION» im GVM BE manuell einzufügen. Dieses Attribut wird benötigt, um die Strecken innerhalb einer Gemeinde aktiv setzen zu können. In einem «for-loop» werden mit Hilfe des in 1) erstellten Datensatzes die Strecken jeder Gemeinde aktiv gesetzt und für diese Auswahl die Anzahl Fahrten je Strecke nach Verkehrsart (Binnen-, Quell-, Ziel-, Durchgangs- und Umgebungsinnenverkehr, Erklärung siehe Abbildung 8) und Fahrzeugtypen (PW, LI, LW, LZ) mit der Hilfe des Spinnentools («Flowbundle») berechnet. Dies ist die zeitintensivste Berechnung und dauert ca. 24 Std. (64GB RAM, Intel® Core i9, 3.70GHz). Das Ergebnis ist die Streckenliste mit Angabe der Anzahl Fahrten je Verkehrsart (Durchgangs-, Quell-, Ziel-, Binnen- und Umgebungsinnenverkehr) und Fahrzeugklasse (PW, LI, LW, LZ). Bei gemeindeübergreifenden Strecken wird der Längenanteil der Streckenlänge innerhalb der Gemeinde an die Tabelle angehängt.

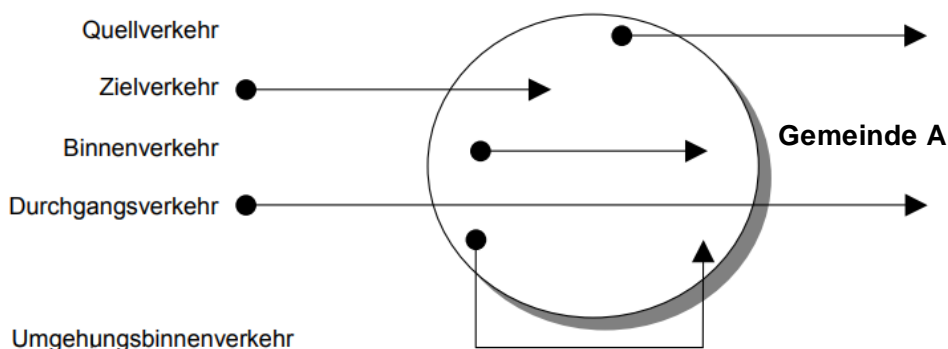


Abbildung 8 Illustration der verschiedenen Verkehrsarten anhand einer Beispielmunicipalität A

3) Fahrzeugleistung für Gemeinden berechnen (Python)

21 [swissBOUNDARIES3D \(admin.ch\)](http://swissBOUNDARIES3D.admin.ch)

Mit Hilfe des in 1) berechneten Attributs der Streckenlänge und der in 2) berechneten Anzahl Fahrten wird die Fahrleistung in Fahrzeugkilometern pro Strecke bestimmt. Da das benutzte Modell den DTV (durchschnittlicher Tagesverkehr) repräsentiert, wird mit dem Faktor 365 auf den Jahreswert der Fahrzeugleistung hochgerechnet. Der Umgebungsbinnen- und der Binnenverkehr werden zusammengefasst, da beide Verkehrsarten durch die jeweilige gemeindespezifische Flotte geleistet werden. Die Unterscheidung nach Strassentyp erfolgt mit Hilfe des Attributs «Obertyp» im GVM BE. Obertyp 1 und 2 entsprechen nationalen Hochleistungsstrassen inkl. Anschlussbauwerken, Strassen ab Obertyp 3 entsprechen den restlichen Strassen. Aufgeteilt nach diesen beiden Strassenkategorien werden die Fahrleistung pro Verkehrsart und Gemeinde in Fahrzeugkilometern berechnet.

Öffentlicher Verkehr

Die Ermittlung der Emissionen im öffentlichen Verkehr fokussiert auf den öffentlichen Strassenverkehr (Linienbusse). Der Bahnverkehr wird aufgrund der geringen CO₂-Intensität vernachlässigt (vgl. Kapitel 3.3).

Basis für die Berechnung der Fahrleistung im öffentlichen Verkehr ist das kantonale ÖV-Modell im DWV (durchschnittlicher Werktagverkehr). Die folgende Dokumentation führt durch die Arbeitsschritte der automatisierten Auswertung (Nummerierung analog zu Arbeitsschritten in Python Skript «OEV_Fahrleistung.PY», siehe Anhang).

0) Zuordnung Betreibergesellschaften zu Linienrouten (Excel)

Zuerst werden den ÖV-Linien im GVM BE manuell Betreiber zugeordnet. Für die Zuordnung wurden die Linienroutennamen der ÖV-Linien verwendet und über eindeutige Abkürzungen oder Betreibercodes gemäss offiziellen Fahrplandaten²² den entsprechenden Betreiberfirmen zugeordnet. Insgesamt konnten 21 Betreiberfirmen den Linien eindeutig zugeordnet werden. Nicht zuordenbare Linien wurden als eigene Kategorie «Restliche Betreiber» (B7) klassifiziert. Diese Linien sind jedoch für weniger als 1% aller Fahrten verantwortlich (siehe Tabelle 16).

Betreiber ID	Betreiberfirma	Anzahl Fahrten (auf Strecken) pro Betreiber
B0	Automobilverkehr Frutigen-Adelboden	7'550
B1	Aare Seeland mobil	18'200
B2	Busbetrieb Grenchen und Umgebung	18'850
B3	BLS/Busland AG	29'550
B4	Bernmobil	118'200
B5	Busbetrieb Olten Gösgen Gäu	33'750
B6	Busbetrieb Solothurn und Umgebung	32'450
B7	Restliche Betreiber	7'150
B9	Kröschebrunnen	100
B10	Automobil Rottal	9'300

22 <https://opentransportdata.swiss/de/dataset/timetable-2020-hrdf>

B11	Compagnie des Chemins de fer du Jura	3'200
B12	Postauto	162'650
B13	Regionalverkehr Bern-Solothurn	33'650
B15	Verkehrsbetriebe Steffisburg-Thun-Interlaken	65'200
B16	Transports publics fribourgeois	104'700
B17	Transport Publics Neuchâtelois	6'900
B18	Verkehrsbetriebe Biel	65'350
B20	Aargau Verkehr	20'950
B21	Luftseilbahn Elsigbach-Elsigenalp	50
B22	Transports Publics de la Région Yvernoise	85'000

Tabelle 16 Übersicht Betreiber und Anzahl Fahrten pro Betreiber

1) Zuordnung Unique-IDs zu Betreibergesellschaften und zu Linienrouten (Python)

Den Betreibergesellschaften wird in einem nächsten Schritt eine Betreiber-ID vergeben. Dazu wird eine Attributdatei mit den eindeutigen Linienroutennamen, die auch Informationen zu den Betreibern enthalten, aus VISUM exportiert, sodass den Linienrouten die Betreiber-ID auf Basis der in Schritt 0) erstellten Schlüssel zugeteilt werden kann. Nach der Zuteilung wird aus Python eine neue Attributdatei für den Export ins VISUM geschrieben und dann manuell in VISUM importiert. Das Attribut der Betreiber-ID ist relevant, da im nächsten Schritt die Betreibernamen aller Linienrouten, die über eine Strecke gehen, als verkettetes Attribut geschrieben werden. Textfelder haben eine maximale Zeichenlänge von 255, welche ohne Betreiber-ID schnell übertroffen wird.

2) Daten zu ÖV-Kursen pro Strecke (PTV VISUM)

In VISUM werden manuell drei benutzerdefinierte Attribute für die Strecken²³ erstellt. Diese enthalten für die jeweilige Strecke folgende Informationen über die ÖV-Linien, die über diese Strecke verkehren (kommasepariert als Liste gespeichert): 1. Das Verkehrssystem der ÖV-Linie, 2. die Betreiber-ID der ÖV-Linie und 3. die Anzahl der Kurse der ÖV-Linie (Attribut: «Service Fahrten»). Diese drei Attribute zusammen mit den notwendigen Schlüsselvariablen der Strecken werden manuell aus dem VISUM als Attributdatei exportiert, sodass diese mit Python weiterbearbeitet werden kann.

3) Anzahl ÖV-Kurse pro Strecke und Betreiber (Python)

Für jede Strecke gemäss Streckenliste aus 2) wird berechnet wie viele Fahrten von welchem Betreiber über diese Strecke verlaufen. Hierfür wer-

²³ Die Zeichnung der Strecken auf ihre tatsächliche Position (Strasse) ist im Berner Modell nicht hundertprozentig akkurat. Strecken stellen Luftlinien zwischen den Haltepunkten dar. Dies kann zu Abweichung hinsichtlich der tatsächlich gefahrenen Fahrzeugleistung führen. Da jedoch die Haltestellenabstände bei Buslinien im Schnitt sehr klein sind (300-500m), wird die Abweichung vernachlässigt. Eine Analyse der Streckenlängen in richtigen Karten und Berücksichtigung eines Umwegfaktors im GVM könnte die Abweichungen verringern.

den die als kommaseparierten Werte aus der Streckenliste aus 2) ausgelesen und nach Betreiber aggregiert.

4) *ÖV-Strecken zu Gemeinden zuordnen (Python)*

Dieser Schritt ist analog zu Schritt 1) beim MIV mit dem Unterschied, dass die Strecken aus dem ÖV-Modell verwendet werden.

5) *ÖV-Fahrzeugleistung pro Gemeinde und Betreiber (Python)*

Mit Hilfe des in 4) berechneten Attributs der Streckenlänge in der Gemeinde wird pro Gemeinde die Fahrzeugleistung in Kilometern pro Strecke und Betreiber bestimmt. Das Modell repräsentiert den DWV, daher wird der Jahreswert der Fahrzeugleistung mit dem Faktor 338.9 (durchschnittlicher Hochrechnungsfaktor DWV im GVM BE) berechnet. Der Hochrechnungsfaktor wurde über das um die Streckenlänge gewichtete Verhältnis zwischen den DTV und DWV ÖV-Zählwerten berechnet.²⁴

5.2.2 Strassenverkehr: Aufbereitung Fahrzeugflotten

Zur Ermittlung der Emissionen im Verkehr wird neben den territorialen Fahrleistungen (siehe Kap. 5.2.1) auch die Struktur der Fahrzeugflotte benötigt. Dazu wird das Motorfahrzeuginformationssystem der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (MOFIS) verwendet. In diesem Register sind sämtliche Motorfahrzeuge der Schweiz erhoben. Das Register wird kontinuierlich nachgeführt. Für die Bilanzierung des Jahres 2020 wurde der Stand vom 01.02.2021 verwendet²⁵.

Für die Bilanzierung werden zwei Abfragen des Motofahrzeugregisters benötigt:

Zwei Abfragen in MOFIS nötig

1. Gemeindebestände: Anzahl immatrikulierter Fahrzeuge nach Fahrzeugkategorie und Antriebsart, je Gemeinde (BFS-ID)
2. Durchschnittliche Altersverteilung: Anzahl immatrikulierter Fahrzeuge nach Fahrzeugkategorie und Antriebsart, je Jahr der Erstinverkehrsetzung

Die Fahrzeugkategorien und Antriebsarten werden in der Abfrage so definiert, dass sie sowohl mit der Datenbank von HBEFA wie auch mit dem GVM BE kompatibel sind.

Definitionen der MOFIS-Abfragen

Fahrzeugkategorie GVM BE	Fahrzeugkategorie in Abfrage aus MOFIS	Fahrzeugarten gemäss ASTRA
--------------------------	--	----------------------------

24 Der Faktor entspricht dem Hochrechnungsfaktor für die Nachfrage im ÖV. Unter der Annahme, dass das Angebot der Nachfrage entspricht, kann er für die Fahrleistung im ÖV verwendet werden.

25 Um den Jahreswechsel weichen die Daten vom effektiven Bestand ab, da viele Fahrzeuge (insbesondere Personenwagen) über kurzfristige Zulassungen in Verkehr gesetzt werden, um jährliche Emissionsziele zu erreichen. Diese werden nach wenigen Tagen im neuen Jahr wieder ausser Verkehr gesetzt. Unter Berücksichtigung von Meldefristen der Kantone liegt gemäss Auskunft des ASTRA jeweils am 1. Februar ein aussagekräftiger Endbestand des Vorjahres vor.

PW (MIV)	Personenwagen	1: Personenwagen 2: Schwerer Personenwagen
	Motorräder	60: Motorrad 61: Kleinmotorrad 62: Motorrad-Dreirad 63: Motorrad-Seitenwagen 64: Kleinmotorrad-Dreirad 65: Leichtmotorfahrzeug 66: Kleinmotorfahrzeug 67: Dreirädr. Motorfahrzeug
LI (MIV)	Leichte Nutzfahrzeuge	10: Leichter Motorwagen 30: Lieferwagen
LW (MIV)	Schwere Nutzfahrzeuge (klein)	11: Schwerer Motorwagen 35: Lastwagen 36: Leichtes Sattelmotorfahrzeug 37: Schweres Sattelmotorfahrzeug 38: Sattelschlepper (Gewicht: <= 26 t)
	Reisebusse / Cars	20: Gesellschaftswagen 21: Kleinbus (besondere Verwendung: <i>nicht</i> Linienfahrzeug)
LZ (MIV)	Schwere Nutzfahrzeuge (gross)	11: Schwerer Motorwagen 35: Lastwagen 36: Leichtes Sattelmotorfahrzeug 37: Schweres Sattelmotorfahrzeug 38: Sattelschlepper (Gewicht: > 26 t)
Bus (ÖV)	Linienbusse	20: Gesellschaftswagen 21: Kleinbus (besondere Verwendung: Linienfahrzeug) 22: Gelenkbus 24: Gelenktrolleybus

Tabelle 17 Zuordnung von ASTRA Fahrzeugarten zu Fahrzeugkategorien in Abfrage und im GVM BE

Antriebsarten in HBEFA	Antriebsarten in Abfrage aus MOFIS	Treibstoffarten gemäss AST-RA
B	Benzin (inkl. Mildhybrid)	B: Benzin C: Benzin / elektrisch J: Ethanol K: Benzin / Ethanol
D	Diesel (inkl. Mildhybrid)	D: Diesel F: Diesel / elektrisch
CNG	Gas (CNG, LPG)	G: Gas (CNG/LPG)

		L: Flüssiggas (LPG) N: Erdgas (CNG) Y: Gas / Benzin (CNG, LPG)
PHEV	Plug-in Hybrid	R: Benzin-Plug-in-Hybrid S: Diesel-Plug-in-Hybrid
BEV	Batterieelektrisch	E: Elektrisch
FuelCell	Wasserstoff	W: Wasserstoff X: Wasserstoff / Elektrisch

Tabelle 18 Zuordnung von ASTRA Treibstoffarten zu Antriebsarten in Abfrage und HBEFA

Die Bestände von Plug-in-Hybriden werden bei den Personenwagen durch die Klassifikation in MOFIS systematisch unterschätzt. Dies zeigen genauere Erhebungen der Fahrzeugflotten des ASTRA²⁶. Die Bestände der Personenwagen müssen deshalb korrigiert werden. Anteilsmässig an der heutigen Anzahl immatrikulierten Plug-In Hybriden pro Gemeinde werden so viele Benzin-Verbrennungsfahrzeuge als Benzin-Plug-in Hybride umgeteilt, bis ihr Anteil schweizweit dem tatsächlichen Anteil entspricht.

Korrektur der PHEV-Bestände

Bei einer gewissen Anzahl Fahrzeuge fehlt zudem die Gemeindezugehörigkeit. Bei der grössten Kategorie der Personenwagen ist dieser Anteil unter 0.5 %. Bei einzelnen Fahrzeugkategorien beträgt der Anteil jedoch bis zu 5-10 %. Um diese Fahrzeuge nicht zu vernachlässigen, werden sie anteilmässig an der Bevölkerung (für Personenwagen, Motorräder und Busse), an der Anzahl Arbeitsplätze des Dienstleistungssektors (für leichte Nutzfahrzeuge) oder an der Anzahl Arbeitsplätze des Industriesektors (für schwere Nutzfahrzeuge) auf alle Gemeinden verteilt.

Korrektur der Gemeindebestände

Zur Ermittlung der spezifischen Emissionen der verschiedenen Flotten sind die Altersverteilungen der Bestände relevant, da ältere Fahrzeuge im Schnitt weniger weit fahren, aber höhere Emissionen vorweisen. Um das zu berücksichtigen, werden die ermittelten Gemeindebestände mit der national durchschnittlichen Altersverteilung (MOFIS-Abfrage 2) auf ihre Zulassungsjahre aufgeteilt und mittels ihrer relativen Abnahme der spezifischen Fahrleistung gewichtet. Die Entwicklung der Fahrleistung nach Fahrzeugalter wird pro Fahrzeugkategorie unterschieden und basiert auf Auswertungen von Zählerständen, Betriebsjahren und komplementären Expertenschätzungen durch EBP (siehe Abbildung 9). Damit bestehen fahrleistungsgewichtete Fahrzeugflotten pro Fahrzeugkategorie, Antriebsart und Alter, die mit spezifischen Emissionsfaktoren aus HBEFA verknüpft werden können.

Berücksichtigung der Altersverteilung

26 Siehe: https://files.admin.ch/astra_ffr/mofis/Datenlieferungs-Kunden/opendata/1000-Fahrzeuge_IVZ/1700-Analysen/1740-E-Fahrzeugbestand_nach_Gemeinde/

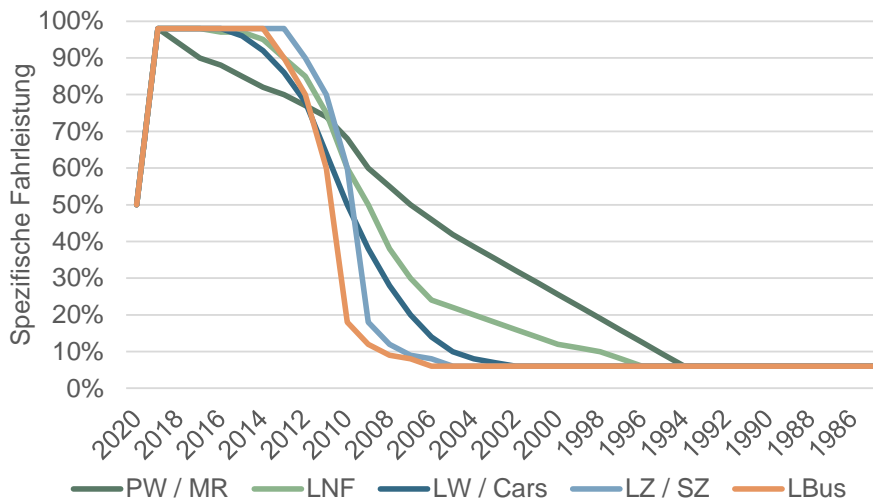


Abbildung 9 Relative Abnahme der spezifischen Fahrleistung nach Fahrzeugkategorie

Für einzelne Teile der Bilanzierung werden zusätzlich zu den Gemeindeflotten die Bestände auf Ebene von Verkehrsverbunden oder des gesamten Kantons benötigt. Dazu werden die gewichteten Gemeindeflotten in einem letzten Schritt aggregiert. Die Flotte des Kantons bildet sich aus der Summe aller Gemeinden – sie wird für alle Verkehrsströme des MIV ausser dem Binnenverkehr verwendet. Die Flotten der Verkehrsverbunde werden für die Bilanzierung des ÖV verwendet – ihre Zusammensetzung basiert auf den zuständigen Busunternehmen. Alle Gemeinden, in denen mehr als 50 % der ÖV-Fahrleistung durch denselben Betreiber geleistet werden, werden einem gemeinsamen Verbund zugeordnet. Kleinere, benachbarte Gemeinden mit lokalen Betreibern werden ebenfalls zu gemeinsamen Verbunden zusammengefasst. Gemeinden, in denen Postauto die Mehrheit der Fahrleistung erbringt, wird die kantonale Busflotte zugeordnet. Ebenso werden alle anderen Flottenbestände hierarchisch ermittelt: Falls in einer Kategorie keine Fahrzeuge auf Ebene Gemeinde immatrikuliert sind und damit die Ermittlung der Gewichtung der Emissionsfaktoren unmöglich ist, wird der Verbund hinzugezogen. Falls auch auf Verbundebene keine Fahrzeuge eine Gewichtung erlauben, wird die kantonale Verteilung angenommen.

Bildung der Flotten auf Ebene von ÖV-Verbunden und des Kantons

5.2.3 Strassenverkehr: Aufbereitung Emissionsfaktoren

Im dritten Schritt werden spezifische Emissionsfaktoren in g CO₂ pro Fahrzeugkilometer aufbereitet. Gewichtet mit den Flotten aus Schritt 2 kann damit der CO₂-Abdruck der verschiedenen Flotten und Fahrzeugkategorien ermittelt werden.

Quelle für die Emissionsfaktoren bildet das Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA) (siehe nationale Datengrundlage in Kapitel 4.3). In der HBEFA-Datenbank wird folgende Abfrage gemacht:

Abfrage von disaggregierten Emissionsfaktoren in HBEFA

— Land: Schweiz

- Fahrzeugkategorien: PW, MR, LNF, LKW, LZ/SZ, RBus, LBus²⁷
- Komponenten: CO₂e (CO₂-Äquivalente)
- Jahr: 2020
- Verkehrszusammensetzung: Mit Flottenmix gewichtete E-Faktoren (REF_CH_HB41)
- Verkehrssituation: Schweizer Durchschnitt aller Strassentypen
- Aggregationsniveau: nach Fahrzeugschicht

Bei der Abfrage nach Fahrzeugschicht führt die Datenbank Emissionsfaktoren separat nach Fahrzeugkategorie, Grössenklasse (falls vorhanden²⁸), Antriebsart und Emissionskonzept. Das Emissionskonzept repräsentiert die Fahrzeugkohorte der jeweils geltenden Emissionsgrenzwerte und wird für die zeitliche Differenzierung der Emissionen nach Fahrzeugalter verwendet. Tabelle 19 zeigt, ab wann die entsprechenden Emissionskonzepte für Neuzulassungen eingeführt gelten. Es wird angenommen, dass Diesel-Fahrzeuge mit Erstinverkehrssetzung ab 2000 einen Partikelfilter (DPF) besitzen. Für Diesel-Personenwagen aus den Jahren 2011 bis 2015 (EURO 5 Kohorte) werden die Emissionsfaktoren nach Softwareupdate verwendet, das heisst nach Korrektur der zu tief ausgewiesenen Emissionswerte im Rahmen des VW-Dieselskandals.

Aufteilung auf Fahrzeugalter anhand des Emissionskonzepts

Emissionskonzept	PW	MR	LNF N-I / N-II&III	LKW/LZ/SZ/Busse
EURO 1	Ab 01.10.1990	Ab 01.10.1999	Ab 01.10.1990	ab 01.10.1993
EURO 2	ab 01.10.1996	ab 01.04.2003	ab 01.10.1997/98	ab 01.10.1996
EURO 3	ab 01.01.2001	ab 01.01.2006	ab 01.01.2001/02	ab 01.10.2001
EURO 4	ab 01.01.2006	ab 01.01.2017	ab 01.01.2006/07	ab 01.10.2006
EURO 5	ab 01.01.2011	ab 01.01.2021	ab 01.01.2011/12	ab 01.10.2009
EURO 6 / 6ab	ab 01.09.2015	-	ab 01.09.2015/16	ab 31.12.2013
EURO 6c	ab 01.09.2018	-	ab 01.09.2018	-
EURO 6d temp	ab 01.09.2019	-	ab 01.09.2019	-

Tabelle 19 Zeitliche Abfolge der Emissionskonzepte. Tabelle führt die Zeitpunkte auf, ab denen die entsprechenden Grenzwerte für Neuinverkehrssetzung gegolten haben.²⁹

27 PW: Personenwagen, MR: Motorräder, LNF: leichte Nutzfahrzeuge, LKW: Lastwagen, LZ/SZ: Last-/Sattelzüge, RBus: Reisebusse, LBus: Linienbusse

28 HBEFA führt Grössenklassen für alle Fahrzeugkategorien ausser Personenwagen, wo die unterschiedlichen Grössenklassen bereits in den gewichteten Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugschichten berücksichtigt sind.

29 *Quelle PW/MR/LNF:* Entwicklung der schweizerischen Gesetzgebung im Bereich der Abgasemissionen von Motorfahrzeugen und Maschinen, BAFU, Bern, 2019.
Quelle LKW/LZ/SZ/Busse:

Um die Faktoren aus HBEFA mit den in Schritt 2 ermittelten Flotten gewichten zu können, müssen sie auf Ebene von Fahrzeugkategorien und Antriebsarten aggregiert werden. Dazu werden die in HBEFA hinterlegten Fahrleistungsanteile jeder Fahrzeugschicht innerhalb einer Kategorie und eines Jahres verwendet. Damit können innerhalb jeder Fahrzeugkategorie und Antriebsart die verschiedenen Grössenklassen nach ihrer Fahrleistung zusammengefasst werden. Bei Hybridfahrzeugen wird zudem analog der tatsächliche, fahrleistungsgewichtete Emissionsfaktor ermittelt, der sich aus dem realen Betrieb ergibt (z.B. Gewichtung der Fahrleistung, die ein Plug-in Hybrid je mit Benzin und Strom zurücklegt). Die Antriebsarten werden nicht aggregiert, damit nicht ihre Schweizer Durchschnittsanteile, sondern die expliziten Zusammensetzungen der Berner Flotten verwendet werden können. Implizit wird durch dieses Vorgehen angenommen, dass verschiedene Antriebsarten sich innerhalb einer Fahrzeugkategorie direkt ersetzen und es keine systematischen Unterschiede der spezifischen Fahrleistung einzelner Fahrzeuge aufgrund der Antriebsart gibt.

Gewichtung von Grössenklassen und Betriebsmustern nach Fahrleistung

Im GVM BE sind Personenwagen und Motorräder sowie Lastwagen und Reisecars jeweils in einer gemeinsamen Kategorie ausgewiesen. Die Emissionsfaktoren pro Jahr und Antriebsart dieser jeweils zwei Fahrzeugkategorien werden auf Basis der entsprechenden schweizweiten Fahrleistungen anteilmässig miteinander kombiniert³⁰.

5.2.4 Strassenverkehr: Bilanzierung pro Gemeinde

Für jede Gemeinde werden in einem letzten Schritt die Emissionen des Sektors Verkehr berechnet. Durch Kombination der fahrleistungsgewichteten Flotten (Kap. 5.2.2) und der disaggregierten Emissionsfaktoren (Kap. 5.2.3) werden dafür zuerst die resultierenden, durchschnittlichen CO₂-Faktoren jeder Fahrzeugkategorie auf Ebene Gemeinde, Verbund und Kanton berechnet. Diese werden zuletzt mit den territorialen Fahrleistungen (Kap. 5.2.1) multipliziert. Für die Fahrleistungen des Binnenverkehrs werden die spezifischen Emissionen der Gemeindeflotten verwendet, für die restlichen Verkehrsarten der kantonale Durchschnitt. Im ÖV wird die gesamte territorial Fahrleistung mit dem spezifischen Emissionsfaktor des Verbunds multipliziert, in dem die jeweilige Gemeinde liegt.

Bilanzierung der Emissionen pro Gemeinde

5.2.5 Schiffsverkehr: Bilanzierung pro Gemeinde

Die nationalen Emissionen des Schiffsverkehrs werden anhand der Anzahl Schiffe gemäss Statistik der Vereinigung der kantonalen Schifffahrtsämter (vks) und Factsheet des Verbands Schweizerischer Schifffahrtsunternehmen (VSSU) dem Kanton Bern zugeordnet. Die Zuordnung der kantonalen Emissionen geschieht differenziert nach Arten motorisierter Schiffe (Segelschiffe mit Maschinenantrieb, Motorschiffe, Güterschiffe, Fahrgastschiffe

Bilanzierung der Emissionen des Schiffsverkehrs

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/420/bilder/dateien/5_tab_grenzwe_rte-lkw.pdf (Schweizer Gesetzgebung mit europäischer Gesetzgebung harmonisiert)

³⁰ Quelle PW (Personenwagen), MR (Motorräder & Motorfahrräder) und RBus (Privatcars): Fahrleistungen und Fahrzeugbewegungen im Personenverkehr, Bundesamt für Statistik, 2020
Quelle LW (Lastwagen): Fahrzeugbewegungen und Fahrleistungen im Güterverkehr, Bundesamt für Statistik, 2020

Diesel, Fahrgastschiffe Dampf), wobei Schiffe mit Elektromotor für die Allokation nicht berücksichtigt werden. Zur Zuordnung dient je Schiffart folgende Formel:

$$EM_{Schiff\ BE,x} = EM_{Schiff\ NIR,x} \cdot \frac{Anzahl\ Schiffe_{BE,x}}{Anzahl\ Schiffe_{CH,x}}$$

Wobei:

- $EM_{Schiff\ BE,x}$: Emissionen aus dem Schiffsverkehr für den Kanton Bern im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{Schiff\ NIR,x}$: Emissionen aus dem Schiffsverkehr des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in tCO₂eq]
- $Anzahl\ Schiffe_{BE,x}$: Anzahl motorisierter Schiffe des Kantons Bern im Jahr x
- $Anzahl\ Schiffe_{CH,x}$: Anzahl motorisierter Schiffe der Schweiz im Jahr x

Die Emissionen des Treibhausgasinventars werden gemäss folgender Tabelle 20 den verschiedenen Schiffsbeständen zugeordnet und so auf den Kanton Bern verteilt.

Tabelle 20: Zuordnung der Emissionenkategorien des Treibhausgasinventars zu Kategorien der Schiffsbestände

Kategorie NIR ($EM_{Schiff\ NIR,x}$)	Kategorie Schiffsbestand ($Anzahl\ Schiffe_{BE,x}$)	Quelle Schiffsbestand
Segelboote mit Motor	Segelschiffe mit Maschinenantrieb	vks
Arbeitsboote	Arbeitsschiffe	vks
Motorboote	Motorschiffe, Schiffe bes. Bauart	vks
Fahrgastschiffe	Fahrgastschiffe, Kursschiffe	vks, VSSU
Lastschiffe	Güterschiffe	vks
Fährschiffe	Fahrgastschiffe, Kursschiffe	vks, VSSU
Güterschiffe	Güterschiffe	vks

Innerhalb des Kantons wird eine individuelle Zuordnung aller Schiffe je Schiffart auf die Gewässer³¹ des Kantons verwendet. Die Zuordnung wurde durch das kantonale Schifffahrtsamt des Kantons Bern vorgenommen. Zusätzlich wird die Anzahl Domizilboote, die keinen festen Bootsplatz haben, ausgewiesen. Der Anteil der Emissionen der Domizilboote wird wiederum je Schiffart über die Bevölkerung anteilmässig auf die Gemeinden verteilt. Die restlichen Emissionen werden über die Schiffsbestände zuerst auf die verschiedenen Gewässer verteilt und dann über den Anteil des geografischen Gewässeranstoss auf die Anrainergemeinden verteilt. Die Ermittlung des Gewässeranstosses geschieht mittels einer GIS-Analyse der Uferlinien

31 Folgende Gewässer werden unterschieden: Brienersee, Thunersee, Wohlensee/Aare, Bielersee/Aare.

und Gemeindegrenzen. Wiederum werden die Emissionen gemäss folgender Formel je Schiffart berechnet.

$$\begin{aligned}
 EM_{\text{Schiffe Gemeinde},x} &= EM_{\text{Domizilboote Be},x} \cdot \frac{\text{Bevölkerung}_{\text{Gemeinde},x}}{\text{Bevölkerung}_{\text{BE},x}} \\
 &+ EM_{\text{Schiffe Gewässer } 1,x} \cdot \frac{\text{Gewässeranstoss}_{\text{Gemeinde}}}{\text{Gewässeranstoss}_{\text{Gewässer } 1}} \\
 &+ EM_{\text{Schiffe Gewässer } 2,x} \cdot \frac{\text{Gewässeranstoss}_{\text{Gemeinde}}}{\text{Gewässeranstoss}_{\text{Gewässer } 2}} + \dots
 \end{aligned}$$

Wobei:

- $EM_{\text{Schiffe Gemeinde},x}$: Emissionen aus dem Schiffsverkehr für die entsprechende Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{\text{Domizilboote Be},x}$: Emissionen der Domizilboote für den Kanton Bern im Jahr x [in tCO₂eq]
- $\text{Bevölkerung}_{\text{Gemeinde},x}$: Bevölkerung der entsprechenden Gemeinde im Jahr x
- $\text{Bevölkerung}_{\text{BE},x}$: Bevölkerung des Kantons Bern im Jahr x
- $EM_{\text{Schiffe Gewässer } i,x}$: Emissionen aus dem restlichen Schiffsverkehr für Gewässer i im Jahr x [in tCO₂eq]
- $\text{Gewässeranstoss}_{\text{Gemeinde}}$: Uferlinie der entsprechenden Gemeinde an Gewässer i [in m]
- $\text{Gewässeranstoss}_{\text{Gewässer } i}$: Gesamte Uferlinie des Gewässers i [in m]

5.2.6 Offroadverkehr: Bilanzierung pro Gemeinde

Die nationalen Emissionen des Offroad-Verkehrs werden anhand der Anzahl Fahrzeuge und Maschinen des Industriesektors und des Landwirtschaftssektors auf die beiden Sektoren runtergebrochen. Fahrzeuge und Maschinen mit alternativem Antrieb³² werden für die Allokation der Emissionen nicht berücksichtigt. Die Anzahl wird aus dem nationalen Motorfahrzeugregister (MOFIS) ermittelt und wie folgt angewendet:

Bilanzierung der Emissionen des Offroadverkehrs (Industrie und Landwirtschaft)

$$EM_{\text{Offroad Industrie Gemeinde},x} = EM_{\text{Offroad Industrie NIR},x} \cdot \frac{\text{Bestand } I_{\text{Gemeinde},x}}{\text{Bestand } I_{\text{CH},x}}$$

Wobei:

- $EM_{\text{Offroad Industrie Gemeinde},x}$: Emissionen der Fahrzeuge und Maschinen der Industrie der entsprechenden Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{\text{Offroad Industrie NIR},x}$: Emissionen der Fahrzeuge und Maschinen der Industrie des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in tCO₂eq]

³² Als Fahrzeuge mit alternativem Antrieb werden folgende Fahrzeuge gezählt: BEV (Vollelektrische Fahrzeuge), PHEV (Plug-in Hybrid Fahrzeuge) und FCEV (Wasserstoff-Brennstoffzellen Fahrzeuge)

- Bestand $I_{\text{Gemeinde},x}$: Anzahl Fahrzeuge und Maschinen der Industrie der entsprechenden Gemeinde im Jahr x
- Bestand $I_{\text{CH},x}$: Anzahl Fahrzeuge und Maschinen der Industrie der Schweiz im Jahr x

$$EM_{\text{Offroad LW Gemeinde},x} = EM_{\text{Offroad Industrie NIR},x} \cdot \frac{\text{Bestand } LW_{\text{Gemeinde},x}}{\text{Bestand } LW_{\text{CH},x}}$$

Wobei:

- $EM_{\text{Offroad LW Gemeinde},x}$: Emissionen der Fahrzeuge und Maschinen der Forst- und Landwirtschaft der entsprechenden Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{\text{Offroad LW NIR},x}$: Emissionen der Fahrzeuge und Maschinen der Forst- und Landwirtschaft des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in tCO₂eq]
- Bestand $LW_{\text{Gemeinde},x}$: Anzahl Fahrzeuge und Maschinen der Forst- und Landwirtschaft der entsprechenden Gemeinde im Jahr x
- Bestand $LW_{\text{CH},x}$: Anzahl Fahrzeuge und Maschinen der Forst- und Landwirtschaft der Schweiz im Jahr x

5.2.7 Ergänzende Indikatoren

Im Sektor Verkehr werden neben der eigentlichen Treibhausgasbilanz folgende ergänzende Indikatoren erhoben:

- Treibhausgasemissionen pro Person (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Treibhausgasemissionen pro Person des motorisierten Individualverkehrs und des Nutzverkehrs (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Treibhausgasemissionen pro Person des öffentlichen Strassenverkehrs (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Treibhausgasemissionen pro Person des Schiffsverkehrs (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Treibhausgasemissionen pro Person des Offroad-Verkehrs (t CO₂eq pro Kopf): Die Treibhausgasemissionen pro Gemeinde werden über die Bevölkerungszahl auf einen Wert pro Person heruntergebrochen.
- Anzahl Fahrzeuge des Strassenverkehrs nach Fahrzeugkategorie und Antriebsart

- Anteil Fahrzeuge des Strassenverkehrs mit alternativem Antrieb³³ nach Fahrzeugkategorie
- Motorisierungsgrad Personenwagen (Anzahl Personenwagen pro 1'000 EinwohnerInnen)
- Motorisierungsgrad Personenwagen mit alternativem Antrieb (Anzahl Personenwagen mit alternativem Antrieb pro 1'000 EinwohnerInnen)
- Spezifische Treibhausgasemissionen der lokalen Fahrzeugflotte nach Fahrzeugkategorie (g CO₂eq/km)

Die ergänzenden Indikatoren ergeben sich mehrheitlich als Zwischenresultate der Bilanzierung.

Für den ersten Indikator der Fahrzeugbeständen sind die Auszüge aus den verschiedenen Fahrzeugregistern massgebend. Im Strassenverkehr werden direkt die kommunalen Flottenbestände je Fahrzeugkategorie ausgewiesen, deren Aufbereitung in Kapitel 5.2.2 beschrieben ist. Zusätzlich werden die Bestände gruppiert: Die Kategorie Motorisierter Individualverkehr entspricht der Summe von Personenwagen und Motorrädern. Nutzverkehr beinhaltet Lieferwagen, Lastwagen, Last-/Sattelzüge und Reisebusse und der öffentliche Strassenverkehr entspricht den Linienbussen. Im Offroad-Bereich dient ebenfalls der verwendete Gemeindebestand der verschiedenen Maschinen und Fahrzeuge aus MOFIS direkt als Indikator. In der Schifffahrt werden die Bestände ausgewiesen, die zur Verteilung der kantonalen Statistik auf die Gemeinden verwendet werden. Sie sind zusammengesetzt aus Schiffen, die fix in einem Gewässer stationiert sind und Domizilbooten, die anhand der Bevölkerung verteilt werden (siehe Kap. 5.2.5).

Der zweite Indikator der Anteile Fahrzeuge mit alternativem Antrieb entspricht im Strassenverkehr dem Anteil von Plug-In Hybriden, batterieelektrischen Fahrzeugen und Wasserstoffbrennstoffzellenfahrzeugen am Gesamtbestand innerhalb jeder der oben beschriebenen Fahrzeuggruppen und jeder Gemeinde. Im Schiffsverkehr und im Bereich der Offroad-Fahrzeuge, wird die Antriebsart nicht erhoben, da die Treibhausgasbilanz nicht bottom-up erstellt wird. Der kantonsweite Anteil elektrischer Schiffe kann jedoch aus der Statistik nach Schiffart der Vereinigung der Schifffahrtsämter (siehe Kap. 4.3) ermittelt werden.

Für den Indikator Motorisierungsgrad wird die Gesamtanzahl bzw. die Anzahl alternativ angetriebener Personenwagen pro tausend Einwohner der Gemeinde ermittelt. Die Gesamtflotte ergibt sich durch Summierung aller Antriebsarten der in Kapitel 5.2.2 eruierten Bestände. Für die Ermittlung der Anzahl Einwohnerinnen wird die offizielle Einwohnerstatistik des Kantons verwendet (siehe Kap. 4.1).

Der vierte Indikator der spezifischen Treibhausgasemissionen pro Fahrzeugkategorie ergibt sich direkt als Zwischenergebnis der Bilanzierung:

³³ Als Fahrzeuge mit alternativem Antrieb werden folgende Fahrzeuge gezählt: BEV (Vollelektrische Fahrzeuge), PHEV (Plug-in Hybrid Fahrzeuge) und FCEV (Wasserstoff-Brennstoffzellen Fahrzeuge)

Durch Kombination der fahrleistungsgewichteten Flotten (Kap. 5.2.2) und der disaggregierten Emissionsfaktoren (Kap. 5.2.3) werden die resultierenden, durchschnittlichen CO₂-Faktoren jeder Fahrzeugkategorie auf Ebene Gemeinde, Verbund und Kanton berechnet.

5.2.8 Plausibilisierung

Es wird empfohlen, die Resultate und Zwischenresultate der Bilanzierung zu plausibilisieren. Für einzelnen Datengrundlagen wird empfohlen, bereits bei der Datenerhebung und Aufbereitung eine Plausibilisierung durchzuführen. Folgende Prüfungen sollten dabei durchgeführt werden:

- Entspricht die kantonale Summe der ermittelten Fahrzeugbestände je Fahrzeugkategorie im Strassenverkehr pro Gemeinde den kantonalen Statistiken? (kleinere Abweichungen sind zulässig aufgrund anderer Stichdaten oder leicht abweichenden Definitionen der Fahrzeugkategorien)
- Liegen die durchschnittlichen spezifischen Fahrzeugleistungen (kantonale Fahrleistungen gemessen am Fahrzeugbestand) je Fahrzeugkategorie im Strassenverkehr in einer sinnvollen Grössenordnung? Achtung: Da die Fahrleistungen territorial ermittelt werden, ist die Plausibilisierung weniger aussagekräftig, je weniger die Anzahl immatrikulierter Fahrzeuge mit der territorialen Verkehrsleistung zusammenhängt (z.B. bei schwerem Güterverkehr). Insbesondere beim motorisierten Individualverkehr oder dem lokalen ÖV kann die Grössenordnung jedoch zur Plausibilisierung beigezogen werden.
- Bei den ergänzenden Indikatoren des Strassenverkehrs: Korrelieren die spezifischen Emissionsfaktoren der verschiedenen Fahrzeugkategorien mit den jeweiligen Anteilen alternativer Antriebe?

5.3 Industrie: Nicht-energetische Emissionen

Wie in Kapitel 3.4 aufgezeigt wurde, sind für die nicht-energetischen Emissionen der Industrie im Kanton Bern nur folgende Branchen relevant:

Relevante Branchen

- Zementproduktion (A)
- Kühlmittel, Aerosole und Lösungsmittel (F)
- Nutzung von elektrischen Geräten, Anwendung von SF6 und PFC und Lösungsmittelverbrauch, Tabakkonsum und Feuerwerke (G)

Für die Berechnung der Emissionen der Zementproduktion werden von den öffentlich zugänglichen Gesamtemissionen der Anlage (Emissionshandelsregister) die energetischen Emissionen abgezogen, um die Menge der geogenen Emissionen berechnen zu können. Die Emissionen der Energieumwandlung durch fossile Energieträger kann über die Anlagenbeschreibung in der iGEKO-Datenbank der Zementindustrie zugeordnet werden.

Zementproduktion

$$EM_{Zement,geogen} = EM_{Zement,EHS} - EM_{Zement,Wärme}$$

Wobei:

- $EM_{Zement,geogen}$: Nicht-energetische Emissionen der Zementproduktion (geogene Emissionen) [in t CO₂eq]
- $EM_{Zement,EHS}$: Gesamte Emissionen der Zementproduktion gemäss Emissionshandelsregister [in t CO₂eq]
- $EM_{Zement,Wärme}$: Energetische Emissionen der Zementproduktion gemäss der iGEKO-Datenbank [in t CO₂eq]

Die Emissionen aus den Kategorien F und G werden anhand der Einwohnerzahlen proportional auf die Gemeinden heruntergerechnet:

Kategorien F und G

$$EM_{Industrie,F,G,Gemeinde} = EM_{Industrie,F,G,CH} \times \frac{Bevölkerung_{Gemeinde}}{Bevölkerung_{CH}}$$

Wobei:

- $EM_{Industrie, F, G, Gemeinde}$: Nicht-energetische Emissionen aus den Kategorien F und G der Industrie einer Gemeinde [in tCO₂eq]
- $EM_{Industrie, F, G, CH}$: Nicht-energetische Emissionen aus den Kategorien F und G der Industrie gemäss Schweizer Treibhausgasinventars [in tCO₂eq] (Kategorien gemäss Beschreibung)
- $Bevölkerung_{Gemeinde}$: Bevölkerung der Gemeinde
- $Bevölkerung_{CH}$: Bevölkerung der Schweiz gemäss dem Schweizer Treibhausgasinventar (Tabelle 7-21 im Kapitel 7.5.2.1)

Eine Methodik für die Verteilung der Emissionen über die Anzahl Beschäftigten nach Branche anhand der Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) wurde geprüft und verworfen. Grund dafür ist, dass die Branchen mit hohen Emissionen entweder über Punktquellen abgedeckt werden können (Zementindustrie) oder die Emissionsaktivitäten breit verteilt von der Anzahl EinwohnerInnen abhängig sind und weniger von der Wirtschaftstätigkeit in einer Branche.

Verwendung von STATENT verworfen

5.4 Landwirtschaft

Die Erhebung der Emissionen der Landwirtschaft erfolgt in drei Kategorien. Das methodische Vorgehen ist für die drei Kategorien in den folgenden Kapiteln beschrieben:

Erhebung in drei Kategorien

- Nutztierhaltung
- Hofdüngerbewirtschaftung
- Landwirtschaftliche Böden

5.4.1 Nutztierhaltung

Die Emissionen (CH₄) können über die Anzahl Tiere und die Emissionsfaktoren pro Tierkategorie berechnet werden.

Emissionen der Nutztierhaltung

$$EM_{Landw, VerdNutz. BE, x} = \sum_i A D_{Landw, Nutztierh. BE, i, x} \times EF_{Landw, Nutztierh. BE, i, x} \times GWP \div 1000$$

Wobei:

- $EM_{Landw, Nutztierh. BE, i, x}$: Emissionen der Nutztierhaltung des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x [in t CO₂eq]
- $AD_{Landw, Nutztierh. BE, i, x}$: Anzahl Tiere der Tierkategorie i im Jahr x gemäss der landwirtschaftlichen Erhebung des Kantons Bern [in Anzahl Tiere]
- $EF_{Landw, Nutztierh. BE, i, x}$: Emissionsfaktor (CH₄) der Nutztierhaltung des THG-Inventars im Jahr x [kg CH₄/Tier] (*Implied Emission Factors* gemäss CRF-Tabelle 3.As1)
- GWP: Treibhausgaserwärmungspotenzial (CH₄ = 25 gemäss Glossar des THG-Inventars)

Hinweise zu den Tierkategorien:

- Die landwirtschaftliche Erhebung des Kantons Bern beinhaltet sehr detaillierte Tierkategorien. Für die Erhebung der THG-Emissionen wurden diese vereinfacht auf die übergeordneten Bezeichnungen im Treibhausgasinventar der Schweiz zusammengefasst (vgl. Tabelle 21 auf den folgenden Seiten). In der Vereinfachung wurde nicht auf die detaillierte Grossvieheinheit (GVE) geachtet (z.B. ein junges Rind zählt als ein Rind). Für die Bestimmung von Treibhausgasemissionen nicht relevante Tierkategorien (z.B. Bienen oder Forellen) werden als Kategorie «Sons-tige» zusammengefasst und vernachlässigt. Im Treibhausgasinventar der Schweiz nicht vorhandene Tierkategorien werden mit der bestmöglichen Alternative abgebildet.
- Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden nur die Tiere der Talbetrie-be berücksichtigt. Tiere in der Sömmerung sind nicht volljährig in der Sömmerung und damit auch in den Talbetrieben berücksichtigt.

Hinweise zu den Tierkategorien

Tierart gemäss landwirtschaftlicher Erhebung Kanton Bern	Übergeordnete Bezeichnungen
Emu	
Enten (ohne Zierenten)	
Fasane	
Gänse	
Junghennen, Junghähne, Küken (ohne Mastpoulets)	
Legehennen	
Mastpoulets jeden Alters	
Perlhühner	
Pfauen	
Produzierende Zibben	
Rebhühner	Nutzgeflügel
Strausse bis 13 Monate	
Strausse grösser 13 Monate	
Truten jeden Alters	
Trutenausmast	
Trutenvormast (4-6 Umtriebe)	
Uebriges Geflügel	
Wachteln	
Zierenten	
Zuchthennen & Zuchthähne (Legelinien)	
Zuchthennen & Zuchthähne (Mastlinien)	
Alpakas über 2-jährig	
Alpakas unter 2-jährig	
Bisons über 3-jährig	
Bisons unter 3-jährig	Andere Raufutter verzehrende Nutztiere
Damhirsche jeden Alters	
Lamas über 2-jährig	
Lamas unter 2-jährig	
Rothirsche jeden Alters	
Andere Kaninchen	
Kaninchen Jungtiere	Kaninchen
Andere Fische	
Andere Fische Besatz	
Äsche	
Äsche Besatz	
Bachforelle (inkl. Seeforelle)	
Bachforelle (inkl. Seeforelle) Besatz	
Bienenvölker	Sonstige
Egli	
Felchen	
Felchen Besatz	
Hundezucht	
Karpfen	
Karpfen Besatz	
Pelztiere aller Art (Nerz)	

Regenbogenforelle	
Regenbogenforelle Besatz	
Saiblinge (Bach- & Seesaibling, kanadische Seeforelle)	
Saiblinge (Bach-&Seesaibling, kanadische Seeforelle) Besatz	
Schwäne	
Übrige Nutztiere	
Pferdegattung: Fohlen < 180 Tage, Wh > 148 cm	
Pferdegattung: Fohlen < 180 Tage, Wh bis 148 cm	
Pferdegattung: Hengste > 900 Tage, Wh > 148 cm	
Pferdegattung: Hengste > 900 Tage, Wh bis 148 cm	
Pferdegattung: Jungt. > 180 Tage < 900 Tage, Wh > 148 cm	Tiere der Pferdegattung
Pferdegattung: Jungt. >180 Tage < 900 Tage, Wh bis 148cm	
Pferdegattung: w & m kast. Tiere, > 900 Tage, Wh >148 cm	
Pferdegattung: w & m kast. Tiere, > 900 Tage, Wh bis 148 cm	
Andere Kühe	
männliche Tiere bis 160 Tage alt	
männliche Tiere über 730 Tage alt	
männliche Tiere von 160 bis 365 Tage alt	
männliche Tiere von 365 bis 730 Tage alt	
Milchkühe	Tiere der Rindergattung
weibliche Tiere bis 160 Tage alt	
weibliche Tiere über 730 Tage alt	
weibliche Tiere von 160 bis 365 Tage alt	
weibliche Tiere von 365 bis 730 Tage alt	
Andere weibliche Schafe > 1 Jahr	
Jungschafe < 1 Jahr (weiblich & männlich)	
Schafe gemolken	Schafe
Weidelämmernmast (ganzjährig)	
Widder über 1-jährig	
Abgesetzte Ferkel	
Mini-pigs	
Nicht säugende Zuchtsauen >6 Monate	
Remonten < 6 Monate & Mastschweine	
Säugende Zuchtsauen	Schweine
Saugferkel	
Wollschwein	
Zuchteber	
Uebrige Nutztiere	Sonstige
Andere weibliche Ziegen > 1 Jahr	
Jungziegen < 1 Jahr (weiblich & männlich)	
Uebrige Zwergziegen	
Ziegen gemolken	Ziegen
Ziegenböcke > 1 Jahr	
Zwergziegen bis 1-jährig (Nutztierhaltung)	
Zwergziegen über 1-jährig (Nutztierhaltung)	

Tabelle 21 Vereinfachung der detaillierten Tierkategorien der landwirtschaftlichen Erhebung des Kantons Bern auf die übergeordneten Bezeichnungen im THG-Inventar

5.4.2 Hofdüngerbewirtschaftung

Die Emissionen (CH₄ und N₂O) können über die Anzahl Tiere und die Emissionsfaktoren pro Tierkategorie berechnet werden (analog zu Nutztierhaltung).

Emissionen der Hofdüngerbewirtschaftung

$$EM_{Landw,Hofdünger, BE,x} = \left(\sum_i AD_{Landw,Hofdünger, BE,i,x} \times EF_{Landw,Hofdünger (CH_4) BE,i,x} \times GWP_{CH_4} + \sum_i AD_{Landw,Hofdünger, BE,i,x} \times EF_{Landw,Hofdünger (N_2O) BE,i,x} \times GWP_{N_2O} \right) \div 1000$$

Wobei:

- $EM_{Landw,Hofdünger, BE,i,x}$: Emissionen der Hofdüngerbewirtschaftung des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x [tCO₂eq]
- $AD_{Landw,Hofdünger, BE,i,x}$: Anzahl Tiere der Tierkategorie i im Jahr x gemäss der landwirtschaftlichen Erhebung des Kantons Bern im Jahr x (siehe Hinweis zu Tierkategorien bei Nutztierhaltung) [Anzahl Tiere]
- $EF_{Landw,Hofdünger(CH_4) BE,i,x}$: Emissionsfaktor (CH₄) der Hofdüngerbewirtschaftung des THG-Inventars im Jahr x [kg CH₄ /Tier] (*Implied Emission Factors* gemäss CRF-Tabelle 3.B(a)s1)
- $EF_{Landw,Hofdünger(N_2O) BE,i,x}$: Emissionsfaktor (N₂O) der Hofdüngerbewirtschaftung des THG-Inventars im Jahr x [kg N₂O/Tier] (*Implied Emission Factors* gemäss CRF-Tabelle 3.B(b))
- GWP_{CH_4} : Treibhausgaserwärmungspotenzial CH₄ gemäss THG-Inventar
- GWP_{N_2O} : Treibhausgaserwärmungspotenzial N₂O gemäss THG-Inventar

5.4.3 Landwirtschaftliche Böden

Die Emissionen können basierend auf den gesamtschweizerischen Emissionen über die Landwirtschaftliche Nutzfläche heruntergebrochen werden.

Emissionen der landwirtschaftlichen Böden

$$EM_{Landw,Böden, BE,x} = \left(AD_{Landw,Böden (LN) BE,x} \div 100 \times EF_{Landw,Böden (LN) BE,x} + AD_{Landw,Böden (LN reduziert) BE,x} \div 100 \times EF_{Landw,Böden (LN reduziert) BE,x} \right)$$

Wobei:

- $EM_{Landw, Böden BE,i,x}$: Emissionen der landwirtschaftlichen Böden des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x [tCO₂eq]
- $AD_{Landw, Böden (LN intensiv) BE,x}$: Fläche der genutzten Landwirtschaftsfläche mit durchschnittlichen Emissionen (LN) des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x gemäss der landwirtschaftlichen Erhebung des Kantons Bern, in [a]

- $EF_{\text{Landw, Böden (LN intensiv) BE,x}}$: Emissionsfaktor der landwirtschaftlichen Böden für LN im Jahr x [tCO₂eq/ha] (siehe Formel unten)
- $AD_{\text{Landw, Böden (LN reduziert) BE,x}}$: Fläche der Landwirtschaftsfläche mit reduzierten Emissionen des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x gemäss der landwirtschaftlichen Erhebung des Kantons Bern, in [a]
- $EF_{\text{Landw, Böden (LN reduziert) BE,x}}$: Emissionsfaktor der landwirtschaftlichen Böden für Landwirtschaftsflächen mit reduzierten Emissionen im Jahr x [tCO₂eq/ha] (siehe Formel unten)

Hinweis zu den Flächen:

Die Flächen der landwirtschaftlichen Erhebung des Kantons Bern werden anhand der angegebenen Codes kategorisiert in «Flächen mit durchschnittlichen Emissionen», «Flächen mit reduzierten Emissionen» und «Flächen ohne Emissionen». Dabei entsprechen die Flächen mit reduzierten Emissionen den Biodiversitätsförderflächen basierend auf der Wegleitung zur Betriebs- und Strukturdatenerhebung des Kantons Graubünden³⁴. Flächen ohne Emissionen werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Hinweise zu den Flächen

Zusätzlich werden Flächen, die mit Anwendung von Schleppschläuchen, Schleppschuhen, Gülledrill und tiefe Gülleinjektion den «Flächen mit reduzierten Emissionen» angerechnet.

Tabelle 22 zeigt jene Kulturen, die reduzierte Emissionen aufweisen.

Kulturen mit reduzierten Emissionen

Code	Kultur
556	Buntbrache
557	Rotationsbrache
559	Saum auf Ackerfläche
572	Blühstreifen für Bestäuber und andere Nützlinge
594	offene Ackerfläche, beitragsberechtigt (regionsspez. BFF)
611	Extensiv genutzte Wiesen
612	Wenig intensiv genutzte Wiesen
617	Extensiv genutzte Weiden
618	Waldweiden
622	Heuwiesen im Sömmerungsgebiet Typ EXWI
623	Heuwiesen im Sömmerungsgebiet Typ WIGW
634	Uferwiese (ohne Weiden)
693	regionsspezifische BFF (Weiden)
694	regionsspezifische BFF (Grünflächen, ohne Weiden)
851	Streueflächen
852	Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Krautsaum)
857	Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Pufferstreifen)

34

https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/alg/dokumentation/agrarmassnahmen/Dokumentliste%20Agrarmassnahmen/Strukturhebungswegleitung_de.pdf

858	artenreiche Hecken
-----	--------------------

Tabelle 22: Flächen mit reduzierten Emissionen. Quelle: Amt für Landwirtschaft und Geoinformation, 2020.

Die bewirtschafteten Flächen ohne Emissionen entsprechen den nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen wie beispielsweise Wald, Wassergräben oder Trockenmauern. Diese sind in Tabelle 23 abgebildet.

Kulturen ohne Emissionen

Code	Kultur
901	Wald
902	übrige unproduktive Flächen
903	Flächen ohne landwirtschaftliche Hauptzweckbestimmung
904	Wassergräben, Tümpel, Teiche
905	Ruderalflächen, Steinhaufen und -wälle
906	Trockenmauern
907	unbefestigte, natürliche Wege
908	regionsspezifische BFF
909	Hausgärten
911	Landwirtschaftliche Produktion in Gebäuden
921	Hochstammfeldobstbäume
922	Nussbäume
923	Edelkastanienbäume
924	Einheimische standortgerechte Einzelbäume und Alleen
925	Markante Einzelbäume
926	Andere Bäume
927	Andere Bäume (regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche)
928	Andere Elemente (regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche)
930	Sömmerungsweiden
998	übrige Flächen ausserhalb LN
999	Landabgabe

Tabelle 23: Flächen ohne Emissionen. Quelle: Amt für Landwirtschaft und Geoinformation, 2020.

Die Emissionsfaktoren der landwirtschaftlichen Böden berechnen sich aus den Gesamtemissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz und der landwirtschaftlichen Nutzflächen der Schweiz. Dabei sind die Emissionen für Landwirtschaftsflächen mit durchschnittlichen Emissionen höher als bei Flächen mit reduzierten Emissionen. Gemäss zwei Studien liegen die Ammoniakemissionen und damit die N₂O-Emissionen zwischen 30 % und 50 % tiefer³⁵. Für die Berechnung wird der Durchschnitt dieser beiden Werte und somit ein Faktor von 60% für die reduzierten Emissionen angenommen.

Berechnung der Emissionsfaktoren

35 Huguenin-Elie O. et al (2018). Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf Ertrag und Stickstoffflüsse im Grasland. Quelle: 2018_0708_2401.pdf (agrarforschungschweiz.ch)

Die jeweiligen Emissionsfaktoren werden wie folgt berechnet.

$$EF_{Landw,Böden(LN)BE,x} = \frac{EM_{Landw,Böden\ NIR,x}}{LN_{CH}} \times \frac{1}{Faktor_{reduziert} \times BFF + (1 - BFF)}$$

Emissionsfaktor
Flächen mit durch-
schnittlichen Emis-
sionen

Wobei:

- $EF_{Landw, Böden(LN)BE,x}$: Emissionsfaktor der landwirtschaftlichen Böden für LN im Jahr x [tCO₂eq/ha]
- $EM_{Landw,Böden\ NIR,x}$: Emissionen der landwirtschaftlichen Böden gemäss des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [tCO₂eq] (Kategorie 3D)
- LN_{CH} : Landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz gemäss dem BFS ([Landwirtschaftliche Nutzfläche. Ohne Sömmerungsweiden - 1985-2021 | Tabelle | Bundesamt für Statistik \(admin.ch\)](#)) [ha]
- $Faktor_{reduziert}$: Faktor der Emissionen von Landwirtschaftsflächen mit reduzierten Emissionen gegenüber Landwirtschaftsflächen mit durchschnittlichen Emissionen [%]
- BFF: Anteil der Biodiversitätsförderflächen (BFF) an der gesamten LN gemäss dem Agrarbericht (Abschnitt Landwirtschaftliche Nutzfläche, Fläche BFF und durchschnittlicher Anteil der BFF an der LN) [%]

$$EF_{Landw,Böden(LN\ reduziert)BE,x} = EF_{Landw,Böden(LN)BE,x} \times Faktor_{reduziert}$$

Emissionsfaktor
Flächen mit redu-
zierten Emissionen

Wobei:

- $EF_{Landw, Böden(LN\ reduziert)BE,x}$: Emissionsfaktor (N₂O) der landwirtschaftlichen Böden für LN BFF im Jahr x [tCO₂eq/ha]
- $EF_{Landw, Böden(LN)BE,x}$: Emissionsfaktor der landwirtschaftlichen Böden für LN im Jahr x [tCO₂eq/ha]
- $Faktor_{reduziert}$: Faktor der Emissionen von Landwirtschaftsflächen mit reduzierten Emissionen gegenüber Landwirtschaftsflächen mit durchschnittlichen Emissionen [%]

5.5 Abwasser und Abfall

Der Grossteil der Emissionsberechnungen wird anhand der Bevölkerung von nationalen Daten auf den Kanton Bern, beziehungsweise jede einzelne Gemeinde des Kantons, heruntergebrochen. Die folgenden Abschnitte beinhalten somit jeweils beide Aspekte und zeigen auf, wie die Berechnung für den gesamten Kanton, bzw. eine einzelne Gemeinde berechnet werden kann.

5.5.1 Abwasser

Die Emissionen des Kantons Bern werden direkt über die an eine ARA angeschlossenen EinwohnerInnen berechnet:

Emissionen der
Abwasserreini-
gungs-Anlagen

$$EM_{\text{Abwasser BE},x} = EM_{\text{Abwasser NIR},x} \times \frac{\text{Bevölkerung}_{\text{BE},x}}{\text{Bevölkerung}_{\text{CH},x}}$$

Wobei:

- $EM_{\text{Abwasser BE},x}$: Emissionen aus dem Abwasser für den Kanton Bern, bzw. eine Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{\text{Abwasser NIR},x}$: Emissionen aus dem Abwasser des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in tCO₂eq] (Kategorie 5D)
- $\text{Bevölkerung}_{\text{BE},x}$: An die ARA angeschlossene Bevölkerung im Jahr x (EinwohnerInnen) der ARAs innerhalb des Kantons, bzw. auf dem Gemeindegebiet im Jahr x
- $\text{Bevölkerung}_{\text{CH},x}$: Bevölkerung der Schweiz gemäss dem Bundesamt für Statistik im Jahr x

5.5.2 Abfall

Deponien

Für den Kanton Bern können die Emissionen basierend auf dem Bevölkerungsanteil im Kanton gegenüber der Gesamtbevölkerung der Schweiz heruntergebrochen werden.

Emissionen der
Deponien

$$EM_{\text{Abfall, Deponien BE},x} = EM_{\text{Abfall, Deponien NIR},x} \times \frac{\text{Bevölkerung}_{\text{BE},x}}{\text{Bevölkerung}_{\text{CH},x}}$$

Wobei:

- $EM_{\text{Abfall, Deponien BE},x}$: Emissionen der Deponien des Kantons Bern, bzw. einer Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{\text{Abfall, Deponien NIR},x}$: Emissionen der Deponien des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in tCO₂eq] (Summary 2, Kategorie 5A)
- $\text{Bevölkerung}_{\text{BE},x}$: Bevölkerung des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x
- $\text{Bevölkerung}_{\text{CH},x}$: Bevölkerung der Schweiz gemäss dem Bundesamt für Statistik im Jahr x

Biologische Verarbeitung

Für die industriellen Kompostierungsanlagen können die Emissionen für den Kanton Bern anhand der an den Kanton rapportierten Tonnagen Frischsubstanz abgestützt werden.

$$EM_{Abfall,ind.Komp. BE,x} = \left(\sum_i AD_{Abfall,ind.Komp.,x} \times EF_{Abfall,ind.Komp. NIR,x} \times GWP \right) / 1000$$

Wobei:

- $EM_{Abfall, ind. Komp. BE,x}$: Emissionen der industriellen Kompostierung des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde der Anlage im Jahr x [in tCO₂eq]
- $AD_{Abfall, ind. Komp.,x}$: Aktivitätsrate der industriellen Kompostierung der Anlage i im Jahr x [in Tonnen Frischsubstanz (ohne Hofdünger)]
- $EF_{Abfall, ind. Kompo. NIR,x}$: Emissionsfaktor (CH₄ oder N₂O) der industriellen Kompostierung des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [kg CH₄ oder N₂O/Tonne Frischsubstanz] (Tabelle 7-12 in Kapitel 7.3.2.2)
- GWP: Treibhausgaserwärmungspotenzial CH₄ und N₂O gemäss THG-Inventar

Die Emissionen der Gartenkompostierung können proportional auf die Anzahl der Bewohner des Kantons, bzw. pro Gemeinde heruntergebrochen werden.

$$EM_{Abfall,Gartenkomp. BE,x} = \left(\sum AD_{Abfall,Gartenkomp. NIR,x} \times EF_{Abfall,Gartenkomp. NIR,x} \times GWP \right) \times \frac{Bevölkerung_{BE,x}}{Bevölkerung_{CH,x}}$$

Wobei:

- $EM_{Abfall, Gartenkomp. BE,x}$: Emissionen der Gartenkompostierung des Kantons Bern, bzw. einer Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $AD_{Abfall, Gartenkomp. NIR,x}$: Aktivitätsrate der Gartenkompostierung des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in kt (wet)] (Kategorie 5B, Teil «Composting (backyard)», Tabelle 7-12 in Kapitel 7.3.2.2)
- $EF_{Abfall, Gartenkomp. NIR,x}$: Emissionsfaktor (CH₄ oder N₂O) der Gartenkompostierung des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [kg CH₄ oder N₂O/Tonne kompostiertem Abfall] (Tabelle 7-12 in Kapitel 7.3.2.2)
- GWP: Treibhausgaserwärmungspotenzial CH₄ und N₂O gemäss THG-Inventar
- $Bevölkerung_{BE,x}$: Bevölkerung des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x
- $Bevölkerung_{CH,x}$: Bevölkerung der Schweiz gemäss dem Bundesamt für Statistik im Jahr x

Die Emissionen der (industriellen und landwirtschaftlichen) Biogasanlagen setzen sich aus zwei Komponenten zusammen: Leakage-Emissionen pro Anlage und Emissionen pro ins Netz eingespeiste Biogasmenge.

$$EM_{Abfall,Biogas\ BE,x} = \left(\sum_i AD_{Abfall,AnlageBiogas,x} \times EF_{Abfall,AnlageBiogas.\ NIR,x} + \sum_i AD_{Abfall,aufb.Biogas,x} \times EF_{Abfall,aufb.Biogas.\ NIR,x} \right) \times GWP_{CH_4}/1000$$

Wobei:

- $EM_{Abfall, Biogas.\ BE,x}$: Emissionen der Biogasanlagen des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde der Anlage im Jahr x [in tCO₂eq]
- $AD_{Abfall, AnlageBiogas.x}$: Anzahl Biogasanlagen des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x [in Anzahl Biogasanlagen]
- $EF_{Abfall, AnlageBiogas.\ NIR,x}$: Emissionsfaktor (CH₄) pro Biogasanlage des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [kg CH₄ / Biogasanlage] (Tabelle 7-11 in Kapitel 7.3.2.2)
- $AD_{Abfall, aufb. Biogas.x}$: Aktivitätsrate der Biogasanlagen, die Biogas ins Gasnetz einspeisen i im Jahr x [in GJ aufbereitetem Biogas, das ins Gasnetz eingespiesen wird]. Aktuell ist dieser Wert 0, da keine Anlage Biogas ins Netz einspeist.
- $EF_{Abfall, aufb. Biogas.\ NIR,x}$: Emissionsfaktor (CH₄) des in Biogasanlage aufbereitetes Biogases des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [kg CH₄ / GJ aufbereitetes Biogas] (Tabelle 7-12 in Kapitel 7.3.2.2)
- GWP_{CH_4} : Treibhausgaserwärmungspotenzial CH₄ gemäss THG-Inventar

Übrige Verbrennungen

Die übrigen Verbrennungen werden nicht systematisch erfasst, entsprechen jedoch einem kleinen Teil der Emissionen in diesem Bereich. Diese werden vom Schweizer Treibhausgasinventar auf den Kanton Bern und die entsprechende Bevölkerungsanzahl pro Gemeinde heruntergebrochen.

Emissionen der übrigen Verbrennungen

$$EM_{Abfall,übr.Verbr.\ BE,x} = EM_{Abfall,übr.Verbr.\ NIR,x} \times \frac{Bevölkerung_{BE,x}}{Bevölkerung_{CH,x}}$$

Wobei:

- $EM_{Abfall, übr. Verbr.\ BE,x}$: Emissionen der übrigen Verbrennungen des Kantons Bern, bzw. einer Gemeinde im Jahr x [in tCO₂eq]
- $EM_{Abfall, übr. Verbr.\ NIR,x}$: Emissionen der übrigen Verbrennungen des Schweizer Treibhausgasinventars im Jahr x [in tCO₂eq] (Summary 2, Kategorie 5C)
- $Bevölkerung_{BE,x}$: Bevölkerung des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x

— Bevölkerung_{CH,x}: Bevölkerung der Schweiz gemäss dem Bundesamt für Statistik im Jahr x

5.5.3 Verwendete Emissionsfaktoren

Abwasser

Für die Berechnungen der Treibhausgasemissionen des Kantons Bern werden keine Emissionsfaktoren genutzt, da die Emissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz proportional zur Anzahl EinwohnerInnen berechnet wird.

Abwasser: keine Emissionsfaktoren

Abfall

Für die Berechnungen der Treibhausgasemissionen der Deponien und der übrigen Verbrennung des Kantons Bern werden keine Emissionsfaktoren genutzt, da die Emissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz proportional zur Anzahl EinwohnerInnen berechnet wird.

Deponien und übrige Verbrennung: keine Emissionsfaktoren

Biologische Verarbeitung

Für die biologische Verarbeitung werden die in Tabelle 24 dargestellten Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz genutzt.

Biologische Verarbeitung: Emissionsfaktoren des THG-Inventars

Emissionen	Emissionsfaktor		Quelle
	CH ₄	N ₂ O	
Kompostierung (industrielle Anlagen oder Gartenkompostierung)	1.84 kg CH ₄ /Tonne Frischsubstanz	0.092 kg N ₂ O/Tonne Frischsubstanz	NIR-CHE, Tabelle 7- 12 im Kapitel 7.3.2.2
Biogasanlagen (industrielle oder landwirt- schaftliche Anlagen)	1230 kg CH ₄ /Biogasanlage	-	NIR-CHE, Tabelle 7- 12 im Kapitel 7.3.2.2
In Biogasanlagen aufbereitetes Biogas	0.5 kg CH ₄ /GJ	-	NIR-CHE, Tabelle 7- 12 im Kapitel 7.3.2.2

Tabelle 24 Zur Erhebung der Emissionen der biologischen Verarbeitung verwendete Emissionsfaktoren

5.6 Flüchtige Emissionen

Die flüchtigen Emissionen können anhand der Länge des Erdgasnetzes innerhalb des Kantons und der jeweiligen Gemeinde von den nationalen Emissionen heruntergebrochen werden. Dabei werden jeweils die Leitungslängen der Transport- und Verteilnetze verwendet.

Herunterbrechen
der Schweizer
Emissionen

Details zu den verwendeten Datengrundlagen können dem Kapitel 4.7 entnommen werden.

Datengrundlagen

Für die Berechnung der Emissionen wird die folgende Formel verwendet:

Berechnung der
Emissionen

$$EM_{\text{flüchtige Emissionen BE},x} = (EM_{\text{flücht. Emiss. CO}_2, \text{NIR},x} + EM_{\text{flücht. Emiss. CH}_4, \text{NIR},x} \times GWP_{\text{CH}_4}) \times \frac{\text{Gasnetz}_{\text{BE},x}}{\text{Gasnetz}_{\text{CH},x}}$$

Wobei:

- $EM_{\text{flüchtige Emissionen BE},x}$: Flüchtige Emissionen des Kantons Bern, bzw. einer Gemeinde im Jahr x [tCO₂eq]
- $EM_{\text{flücht. Emiss. CO}_2, \text{NIR},x}$: Flüchtige CO₂-Emissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz im Jahr x [t CO₂] (Kategorie 1B2b, CRF-Tabelle 1.B.2, Zeile 16 (Natural Gas))
- $EM_{\text{flücht. Emiss. CH}_4, \text{NIR},x}$: Flüchtige CH₄-Emissionen des Treibhausgasinventars der Schweiz im Jahr x [t CH₄] (Kategorie 1B2b, CRF-Tabelle 1.B.2, Zeile 16 (Natural Gas))
- GWP_{CH_4} : Treibhausgaserwärmungspotenzial CH₄ gemäss THG-Inventar
- $\text{Gasnetz}_{\text{BE},x}$: Länge des Gasnetzes des Kantons Bern, bzw. der Gemeinde im Jahr x gemäss Daten des Gasversorgers [km]
- $\text{Gasnetz}_{\text{CH},x}$: Länge des Gasnetzes der Schweiz gemäss Jahresbericht des Verbands der Schweizerischen Gasindustrie (VSG) im Jahr x [km]