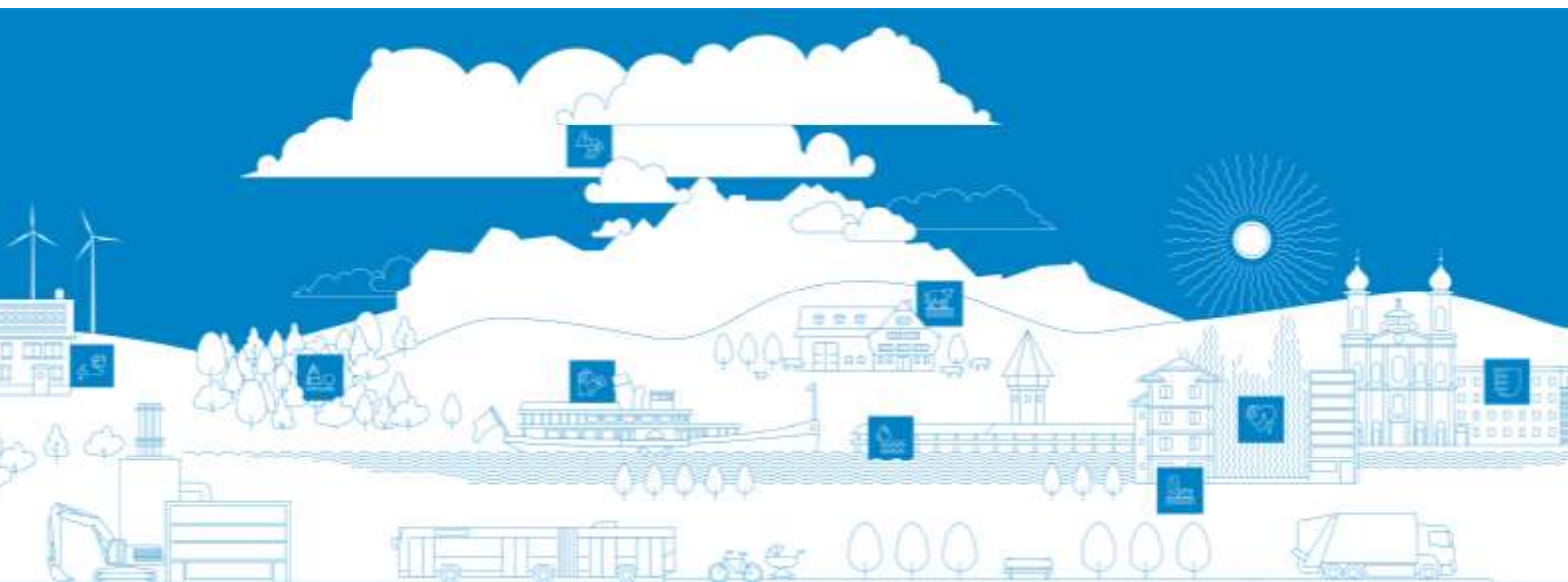




Klima- und Energiedashboard Kanton Luzern

Methoden und Grundlagen der Klima- und Energiedaten

Version vom 26. August 2024

Inhalt

1 Einleitung	5
1.1 Ausgangslage	5
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Inhalt und Aufbau der Dokumentation	5
2 Übersicht	7
2.1 Kurzbeschreibung	7
2.2 Treibhausgasemissionen	7
2.3 Gesamtenergieverbrauch	9
3 Verkehr	11
3.1 Kurzbeschreibung	11
3.2 Treibhausgasemissionen Verkehr	11
3.3 Energiebilanz Verbrauch Verkehr	12
3.4 Energieverbrauch Verkehr (detailliert)	12
3.5 Fahrzeugkilometer	13
3.6 Immatriculierte Personenwagen	13
3.7 Durchschnittlicher CO ₂ -Ausstoss der Personenwagen	14
3.8 Stromverbrauch Strassenbeleuchtung pro Lampenstelle	14
3.9 Datenqualität	14
4 Landwirtschaft	15
4.1 Kurzbeschreibung	15
4.2 Treibhausgasemissionen Landwirtschaft	15
4.3 Energieverbrauch / Energiebilanz Verbrauch Landwirtschaft	22
4.4 Nutztiere	22
4.5 Landwirtschaftliche Nutzfläche	22
4.6 Wärmebedarf landwirtschaftliche Gebäude	22
4.7 Energiequelle Heizung und Warmwasser landwirtschaftliche Gebäude	22
4.8 Datenqualität	22
5 Gebäude	24
5.1 Kurzbeschreibung	24
5.2 Gebäudeenergiemodell	24
5.3 Treibhausgasemissionen Gebäude	31
5.4 Energiebilanz Verbrauch Gebäude	31
5.5 Wärmebedarf Gebäude nach Kategorie	32
5.6 Wärmebedarf Gebäude nach Baujahr	32
5.7 Energiequelle der Heizungen und Warmwasser Gebäude – pro Energieträger – erneuerbar / nicht erneuerbar	32
5.8 Energiebezugsfläche pro Einwohner:in	33

5.9 Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe	33
5.10 Datenqualität	33
6 Industrie	34
6.1 Kurzbeschreibung	34
6.2 Treibhausgasemissionen Industrie (kleine Verbraucher)	34
6.3 Energiebilanz Verbrauch Industrie	35
6.4 Wärmebedarf Industriegebäude (kleine Verbraucher)	36
6.5 Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe	36
6.6 Energiequelle Heizung und Warmwasser Industriegebäude (kleine Verbraucher) – pro Energieträger – erneuerbar /nicht erneuerbar	36
6.7 Datenqualität	36
7 Abfall	38
7.1 Kurzbeschreibung	38
7.2 Treibhausgasemissionen Abfall	38
Abfallverbrennung	38
Abwasserreinigung	39
AbfalldPONen	39
Biologische Verarbeitung	40
Übrige Verbrennung (ohne energetische Nutzung)	41
7.3 Abfallmenge	41
7.4 Datenqualität	42
8 Energieversorgung	43
8.1 Kurzbeschreibung	43
8.2 Installierte Leistung Strom	43
8.3 Stromproduktion	43
8.4 Potenzial Photovoltaik pro Einwohner	43
8.5 Anteil Stromproduktion am Verbrauch von Haushalten und Gewerbe	44
8.6 Verbrauchermix des Stromversorgers	44
8.7 Datenqualität	44
9 LULUCF	45
9.1 Kurzbeschreibung	45
9.2 Treibhausgasemissionen	45
9.3 Datenqualität	46
10 Referenzen	47
Anhang I: Nutzungsgrade	49
Anhang II: CO ₂ -Emissionsfaktoren	52

Kontakt

Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement
Departementssekretariat
Bahnhofstrasse 15
Postfach 3768
6002 Luzern
Telefon 041 228 51 55
buwd@lu.ch
www.klima.lu.ch
Telefon 041 228 51 55

Titelbild

© Kanton Luzern, August 2024
Ausschnitt aus dem Klima- und Energiedashboards des Kantons Luzern, Kantonale Massnahmen

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Daten und Indikatoren bilden eine wichtige Grundlage für eine wirkungsorientierte Klima- und Energiepolitik. Um die Ziele und Wirkung der kantonalen Klima- und Energiestrategie regelmässig zu überprüfen, hat der Kanton Luzern ein Monitoring und Controlling (Q-MC) zum Planungsbericht über die Klima- und Energiepolitik 2021 des Kantons Luzern ([B 87](#) vom 21. September 2021, kurz: Planungsbericht Klima und Energie) aufgebaut. Im Rahmen des Monitorings werden diejenigen Daten regelmässig erhoben, die für den Klimaschutz, die Energieversorgung und -nutzung sowie die Klimaanpassung benötigt werden.

Mit einem Set von quantitativen Wirkungsindikatoren verfolgt der Kanton Luzern die Zielerreichung und die Wirkung der Klimaschutz- und Klimaanpassungsmassnahmen. Hauptindikatoren im Bereich Klimaschutz sind die Treibhausgasemissionen, welche im Rahmen des Monitorings für alle Sektoren bilanziert werden. Die wichtigste Grundlage im Energiebereich ist die Energiebilanz (Energieverbrauch und Energieproduktion), welche ebenfalls pro Sektor ermittelt und ausgewiesen wird. Der Stand der Umsetzung der Massnahmen wird mit Umsetzungskindikatoren pro Massnahme geprüft.

Die Treibhausgasbilanz, Energiebilanz sowie weitere Klima- und Energiekennzahlen werden jährlich erhoben. Die Datenhaltung und Modellierung erfolgt im Luzerner Klima- und Energieinformationssystem (LU-KEIS). Über das [Klima- und Energiedashboard](#) und eine öffentliche Datenschnittstelle (API) werden die Daten der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

1.2 Zielsetzung

Das Klima- und Energiedashboard:

- bildet die Entwicklung der Treibhausgasemissionen, des Energieverbrauchs- und der Energieproduktion im Zeitverlauf ab;
- zeigt den Stand der Umsetzung- und Wirkung der kantonalen Klima- und Energiestrategie auf;
- liefert wichtige Klima- und Energiekennzahlen als Open Government Data (OGD) für die Gemeinden, die Politik, die Wirtschaft, die Forschung und die Öffentlichkeit.
- ist Grundlage für Aufgaben der Klima- und Energiepolitik, für sachliche klima- und energiepolitische Diskussionen und für die Kommunikation im Klima- und Energiebereich.

1.3 Inhalt und Aufbau der Dokumentation

Dieses Dokument beschreibt die Herkunft und Berechnungsmethode der auf dem digitalen Klima- und Energiedashboard dargestellten Kennzahlen des Kantons und der Gemeinden.

Die Dokumentation gliedert sich entlang den auf dem Klima- und Energiedashboard unterschiedenen Bereichen. Pro Kapitel wird zuerst eine Kurzbeschreibung des Bereichs gegeben. Anschliessend werden für alle Diagramme die Datengrundlagen und Modellierungsmethodik beschrieben sowie Hinweise zur Datenqualität gemacht.

Nicht Teil dieser Dokumentation sind die Indikatoren zu Stand und Wirkung der kantonalen Massnahmen aus dem Planungsbericht Klima und Energie (Ausnahme LULUCF). Weitere Informationen zu den Indikatoren können dem [Kurzbericht](#) zum Monitoring 2022 (Kanton Luzern, 2023) entnommen werden.

2 Übersicht

2.1 Kurzbeschreibung

In der Übersicht werden die Treibhausgasemissionen, der Gesamtenergieverbrauch und die Energieproduktion über alle Sektoren dargestellt.

Die kantonale Treibhausgasbilanz zeigt die Emissionen der Sektoren Verkehr, Landwirtschaft, Gebäude, Industrie und Abfall. Im Bereich der Treibhausgasemissionen verfolgt der Kanton Luzern das Ziel Netto-null-Treibhausgasemissionen bis 2050. Im Planungsbericht Klima und Energie (Kanton Luzern, 2021) wurden lineare Absenkpfade der Treibhausgasemissionen mit dem Ausgangsjahr 2018 festgelegt. Das Dashboard zeigt einen jährlichen Vergleich der aktuellen Treibhausgasemissionen des Kantons mit den festgelegten Zielwerten.

Der Gesamtenergieverbrauch ist eng mit der Treibhausgasbilanz verknüpft. Der Energieverbrauch bildet die Grundlage zur Berechnung der energiebedingten Treibhausgasemissionen. Daneben umfasst der Gesamtenergieverbrauch ausserdem den Stromverbrauch, aus dem keine direkten Treibhausgasemissionen resultieren.

In diesem Kapitel werden die übergeordneten Festlegungen beschrieben und ein Überblick über die Sektoren und Modellierungsmethodik der kantonalen Treibhausgas- und Energiebilanz gegeben. Ein detaillierter Methodikbeschreibung der Modelle und Datengrundlagen pro Sektor werden in den jeweiligen Sektorkapiteln aufgeführt.

2.2 Treibhausgasemissionen

Systemgrenze

Treibhausgasemissionen können entlang von drei Emissionsbereichen (Scopes) bilanziert werden:

- **Scope 1 (direkte Emissionen)** umfasst die direkten Emissionen sowie die natürlichen und technischen Senken im Kantonsgebiet. Scope 1 ist weitgehend deckungsgleich mit dem Territorialprinzip bzw. den Systemgrenzen gemäss UNFCCC/Treibhausgasinventars der Schweiz (Bundesamt für Umwelt, 2024 b).
- **Scope 2 (indirekte Emissionen)** berücksichtigt die energetischen Vorleistungen, das heisst die Treibhausgasemissionen, die bei der Bereitstellung der importierten Energie verursacht wird. Scope 2 entspricht generell der Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft.
- **Scope 3 (vor- und nachgelagerte Emissionen)** umfasst den restlichen Konsum inklusive Flugreisen, das heisst die Emissionen, die bei der Herstellung und Entsorgung der importierten Produkte und Dienstleistungen anfallen sowie die Finanzanlagen.

Die kantonale Treibhausgasbilanz wird nach dem Territorialprinzip (Scope 1) erstellt. Entsprechend werden alle direkten Emissionen, die vor Ort auf dem kantonalen Hoheitsgebiet entstehen, bilanziert. Neben den direkten Emissionen werden zukünftig auch die natürlichen und die technischen Senken im Kantonsgebiet ausgewiesen (Aufforstung, Carbon Capture and Storage, Einlagerung von Pflanzenkohle etc.). Vorleistungen ausserhalb der geografischen Grenzen werden nicht berücksichtigt.

Sektoren und Methodik

Die Sektorziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aus dem Planungsbericht Klima und Energie (Kanton Luzern, 2021) geben die Grundstruktur für die Sektoraufteilung der kantonalen Treibhausgasbilanz vor. Die Gliederung der Sektoren richtet sich grösstenteils nach der Systematik des Treibhausgasinventars der Schweiz (Bundesamt für Umwelt, 2024 b), wobei Abweichungen bei der Zuordnung der Abfallverbrennung bestehen. Pro Sektor wurde im kantonalen Energie- und Klimainformationssystem (LU-KEIS) ein Modell zur Berechnung der Treibhausgasemissionen implementiert. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Sektoren und Untergruppen sowie die eingesetzten Modelle.

Hauptgruppe	Untergruppen	NFR-Codes	Modell
Verkehr	Strassenverkehr	1A3b	Verkehrsemissionsmodell auf Basis des Gesamtverkehrsmodells (GVM) Luzern und HBEFA4.1, Kapitel 3.2
	Schienenverkehr	1A3b	
	Schiffsverkehr	1A3b	
	Off-Road (exkl. Land- und Forstwirtschaftlicher Fahrzeuge)	1A2g	
Landwirtschaft	Tierhaltung	3A	Landwirtschaftsemissionsmodell auf Basis von Tierzahlen und landwirtschaftlichen Nutzflächen, Kapitel 4.2
	Hofdüngerbewirtschaftung	3B	
	Landwirtschaftliche Böden	3D	
	Landwirtschaftsgebäude	1A4c	Gebäudeenergiemodell Nicht-Wohngebäude auf Basis des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR), Kapitel 5.2
	Land- und forstwirtschaftliche Maschinen	1A2g	Verkehrsemissionsmodell, auf Basis des Gesamtverkehrsmodells Luzern (GVM), Kapitel 3.2
Gebäude	Wohngebäude	1A4a	Gebäudeenergiemodell Wohngebäude auf Basis des GWR, Kapitel 5.2
	Dienstleistungsgebäude	1A4b	Gebäudeenergiemodell Nicht-Wohngebäude auf Basis des GWR, Kapitel 5.2
Industrie	Kleine Verbraucher	1A1a	Gebäudeenergiemodell Nicht-Wohngebäude auf Basis des GWR, Kapitel 5.2
	Grosse Verbraucher	1A1a	Noch nicht implementiert
Abfall	Abfallverbrennung	1A1a	Abfallemissionsmodell auf Basis von Abfallzahlen und Bevölkerungszahlen, Kapitel 7.2
	Abwasserreinigung	5D	
	Abfalldeponien	5A	
	Biologische Verarbeitung	5B	
	Übrige Verbrennung	5C	
LULUCF ¹	Forstwirtschaft	4	Top-Down-Aufschlüsselung nationaler Daten auf den Kanton, Kapitel 9.2
	Landnutzung und Landnutzungsänderung	4	

Tabelle 1: Sektoraufteilung der kantonalen Treibhausgasbilanz und Überblick über die Modellierungsmethodik. Pro Hauptgruppe werden alle berücksichtigten Untergruppen mit dem NFR-Code gemäss der [NFR Nomenklatur](#) (European Environment Agency, 2023) zur Erstellung der nationalen Emissionsinventare aufgeführt.

Treibhausgaspotential

Bilanziert werden Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O). Synthetische Gase, welche die teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) zusammengefasst werden, werden aktuell vernachlässigt.

Um die Treibhausgaswirkung verschiedener Gase direkt zu vergleichen, werden die Emissionen mittels ihres Global Warming Potentials (GWP) in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Das

¹ Emissionen aus der Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Die Emissionen werden im Handlungsfeld Klimaschutz Waldwirtschaft aufgeführt und sind nicht in der Übersichtsgrafik enthalten.

GWP drückt die Treibhauswirkung eines Treibhausgases über einen Zeitraum (hier 100 Jahre) im Vergleich zur Wirkung von derselben Menge CO₂ aus. In der Treibhausgasbilanz des Kantons Luzern werden alle Treibhausgasemissionen gemäss Vorgaben der UNFCCC mit GWP100 gemäss 5. Sachstandsbericht des IPCC (Liste siehe [CO2-VO, Anhang 1, SR 641.711](#)) als CO₂-Äquivalente (CO₂eq) für einen Zeitraum von 100 Jahren (GWP100) bilanziert.

Aktualisierung

Die Treibhausgas- und Energiebilanz werden jährlich aktualisiert. Im April, d.h. parallel zur Aktualisierung des Treibhausgasinventars des Bundes, wird jeweils eine definitive Treibhaus- und Energiebilanz für das vorletzte Jahr erstellt.

Witterungsbereinigung

Der Energieverbrauch zur Bereitstellung von Raumwärme und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen variieren aufgrund von witterungsbedingten Temperaturschwankungen von Jahr zu Jahr. Grundsätzlich nimmt der Kanton Luzern keine Witterungsbereinigung vor. Die kantonalen Emissionen aus dem Gebäudebereich werden über den durchschnittlichen Gebäudeenergiebedarf unabhängig von der Witterung ermittelt.

2.3 Gesamtenergieverbrauch

Systemgrenze

Die vorliegende Bilanz des Gesamtenergieverbrauchs folgt ebenfalls dem Territorialprinzip und beinhaltet deshalb keine energetischen Vorleistungen, die bei der Energiebereitstellung ausserhalb des Kantonsgebiets anfallen.

Sektoren und Methodik

Grundsätzlich lässt sich der Gesamtenergieverbrauch auf zwei Arten gliedern:

- Entlang der Sektoren (Haushalte, Dienstleitungen, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft)
- Entlang der Energieträger (Holz, Erdöl, Elektrizität, etc.).

Die Sektoren (vertikal) und Energieträger (horizontal) lassen sich über eine Matrix verbinden (Tabelle 2). Der Gesamtenergieverbrauch ergibt sich dabei aus der Summierung der Energieverbräuche über alle Sektoren und alle Energieträger. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Berechnungsweise pro Sektor und Energieträger. Ein detaillierter Methodikbeschreibung befindet sich in den Sektorkapiteln.

Die Energieverbräuche werden mit denselben Modellen wie die Treibhausgasemissionen berechnet. Zusätzlich muss in der Bilanz des Gesamtenergieverbrauchs der Stromverbrauch (Energieträger Elektrizität) berücksichtigt werden und Abgrenzungen zwischen Elektrizität und weiteren Energieträgern zur Vermeidung von Doppelzählungen gemacht werden (z.B. Elektromobilität).

Sektor Energieträger (ET)		Holz	Fernwärme	Gas	Erdöl	Übrige erneuerbare Energien	Elektrizität
Untergruppe							
Gebäude, Kapitel 5.2	Haushalte	Energieverbrauch Wohngebäude ET Holz/Fernwärme/Gas/Erdöl				Energieverbrauch Wohngebäude ET Sonstige + Energieverbrauch Wohngebäude ET Wärmepumpen * Faktor Wärmepumpe ²	Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe (Kleinkunden < 100 MWh pro Jahr) abzüglich dem Stromverbrauch für Elektromobilität (Energieverbrauch Verkehr * Faktor Elektromobilität ³)
	Dienstleistungen	Energieverbrauch Dienstleistungsgebäude ET Holz/Fernwärme/Gas/Erdöl				Energieverbrauch Dienstleistungsgebäude Sonstige + Energieverbrauch Dienstleistungsgebäude Wärmepumpen * Faktor Wärmepumpe ²	
Landwirtschaft, Kapitel 4.3	Landwirtschaftsgebäude	Energieverbrauch Landwirtschaftsgebäude ET Holz/Fernwärme/Gas/Erdöl				Energieverbrauch Landwirtschaftsgebäude ET Sonstige + Energieverbrauch Landwirtschaftsgebäude ET Wärmepumpen * Faktor Wärmepumpe ²	
	Landwirtschaftliche Fahrzeuge / Maschinen	Nicht relevant			Energieverbrauch Verkehr Landwirtschaft * (1-Faktor Elektromobilität) ³	Nicht relevant	Energieverbrauch Verkehr Landwirtschaft * Faktor Elektromobilität
Industrie, Kapitel 6.3	Kleine Verbraucher	Energieverbrauch Industriegebäude ET Holz/Fernwärme/Gas/Erdöl				Energieverbrauch Industriegebäude ET Sonstige + Energieverbrauch Industriegebäude ET Wärmepumpen * Faktor Wärmepumpe ²	Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe (Grosskunden > 100 MWh). Für Gemeinden mit einem Grossverbraucher mit > 80% des Stromverbrauchs einer Gemeinde aus Datenschutzgründen nicht publiziert.
	Grosse Verbraucher	Grossverbraucher (Stromverbrauch > 0.5 GWh und / oder Wärmebedarf > 5 GWh pro Jahr) noch nicht implementiert					Kanton: Umfasste alle Grossverbraucher, deren Stromverbrauch > 80% des Stromverbrauchs einer Gemeinde ausmachen. Für Gemeinden aus Datenschutzgründen nicht publiziert.
Verkehr, Kapitel 3.3	Verkehr	Nicht relevant			Energieverbrauch Verkehr * (1-Faktor Elektromobilität) ³	Nicht relevant	Energieverbrauch Verkehr * Faktor Elektromobilität ³

Tabelle 2: Sektoraufteilung des kantonalen Gesamtenergieverbrauchs und Überblick über die Berechnungsweise pro Sektor und Energieträger.

² Faktor Wärmepumpe: Beitrag Strom zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen. Abzug Anteil von 28% vom Gebäudewärmebedarf, da dieser auf Anteil auf den Stromverbrauch entfällt.

³ Faktor Elektromobilität: Anteil des Energieverbrauchs Verkehr für die Elektromobilität (für 2022 ca. 1%).

3 Verkehr

3.1 Kurzbeschreibung

Im Sektor Verkehr werden der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen sämtlicher Verkehrsmittel—ausgenommen dem Flugverkehr - ausgewiesen. Der grösste Anteil der Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr stammen vom Personenverkehr (Personenwagen, Motorräder, Reisebusse), gefolgt vom Güterverkehr (Lastwagen und Lieferwagen). Des Weiteren werden in diesem Sektor Emissionen von Bahn, Schifffahrt, Linienbussen, Reisecars und des Off-Road-Verkehrs ausgewiesen. Die Emissionen aus land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen und Maschinen werden zwar ebenfalls mit der im folgenden beschriebenen Methodik bilanziert, jedoch dem Sektor Landwirtschaft zugewiesen.

Eine kantonale Treibhausgasbilanzierung des Verkehrssektors wurde erstmals für das Jahr 2022 von Infras durchgeführt (Infras, 2024). Die Bilanzierung wurde auf Basis des aktuellen Gesamtverkehrsmodells für den Kanton Luzern ([GVM-LU](#)) (Kanton Luzern, 2020) und der aktuellsten Version des Handbuchs der Emissionsfaktoren (HBEFA4.1) (Infras, 2024) vorgenommen. Zur Ermittlung der Emissionen weiterer Jahre werden die kantonalen Emissionen anhand den Emissionsdaten des Bundes extrapoliert.

Zusätzlich werden als wichtige Indikatoren im Bereich Verkehr die Immatrikulierten Personenwagen pro Motortyp, der durchschnittliche CO₂-Ausstoss der Personenwagen und der Stromverbrauch der Strassenbeleuchtung dargestellt.

3.2 Treibhausgasemissionen Verkehr

Datengrundlagen

Folgende Daten wurden als wichtigste Inputparameter für die Modellierung verwendet. Eine ausführliche Dokumentation der verwendeten Datengrundlagen gibt der [Bericht zu den Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus dem Verkehrssektor](#) (Infras, 2024).

- **Strassenverkehr:** Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA) Version 4.2, Gesamtfahrleistungen oder abschnittsweise Belastungen aus dem GVM-LU, Statistiken zu den Fahrzeugbeständen des ASTRA, der Mikrozensus Mobilität, Angaben des VVL zur verwendeten Bus-Antriebstechnologie pro Linie.
- **Schienenverkehr:** Energieperspektiven des BFE, Abschätzungen des BAFU zu den Abtriebfaktoren
- **Non-Road-Verkehr:** Gesamtschweizerisches Emissionsinventar, verknüpfbare Indikatoren (z.B. Bevölkerungsanteil, landwirtschaftliche Nutzfläche, etc.).
- **Schifffahrt:** Gesamtschweizerisches Emissionsinventars, Seefläche Kt. Luzern, Informationen zu den Fahrgastschiffen der St. Niklausen Schiffgesellschaft Genossenschaft (SNG) und der Schifffahrtsgesellschaft des Vierwaldstättersees (SGV)
- **Stationäre Motoren:** Gesamtschweizerisches Emissionsinventar, Bevölkerungszahlen.

Methodik

Modellierung Infras

Eine Modellierung der Emissionen aus dem Mobilitätssektor wurde für das Jahr 2022 durchgeführt. Die Energieverbräuche und darauf aufbauend die Emissionen des Strassenverkehrs, dem Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen im Mobilitätssektor, wurden dabei auf Basis der der Fahrleistungen aus dem GVM-LU berechnet. Eine ausführliche Dokumentation der angewandten Methodik für die Modellierung gibt der [Abschlussbericht](#) (Infras, 2024).

Zeitreihen

Mit der Emissionsmodellierung liegen genaue Abschätzungen der Emissionen für ein Basisjahr (2022) vor. Es ist vorgesehen, die Treibhausgas- und Energiebilanz des Mobilitätssektors in 5-Jahres-Intervallen neu zu modellieren. Für die Zwischenjahre wird ein stark vereinfachter Ansatz verfolgt: Die Emissionen und Energieverbräuche des Kantons Luzern und der Gemeinden werden anhand der Emissionen aus dem Mobilitätssektor des Bundes auf die vorhergehenden und folgenden Jahre extrapoliert.

$$EM_{Verkehr,LU,Jahr} = \frac{EM_{Verkehr,LU,2022}}{EM_{Verkehr,CH,2022}} * EM_{Verkehr,CH,Jahr}$$

Mit

- $EM_{Verkehr,LU,2022}$: Emissionen des Kantons Luzern bzw. einer Luzerner Gemeinde aus dem Verkehr für das Jahr 2022
- $EM_{Verkehr,CH,2022}$: Emissionen der Schweiz aus dem Verkehr für das Jahr 2022
- $EM_{Verkehr,LU,Jahr}$: Emissionen des Kantons Luzern bzw. einer Luzerner Gemeinde aus dem Verkehr für ein Bezugsjahr
- $EM_{Verkehr,CH,Jahr}$: Emissionen der Schweiz aus dem Verkehr für ein Bezugsjahr

3.3 Energiebilanz Verbrauch Verkehr

Die Energiebilanz Verbrauch Verkehr [MWh], zeigt den Energieverbrauch, welcher durch Infras im Rahmen der Emissionsmodellierung ermittelt wurde. Die Zeitreihen der Energieverbräuche werden anhand der Emissionen aus dem Mobilitätssektor des Bundes auf die Zwischenjahre extrapoliert.

Der Energieverbrauch wurde differenziert nach Energieträger berechnet. Für das Jahr 2022 entfallen 98.2% der Energieverbräuche auf die Treibstoffe, während 1.8% aus den Stromverbräuchen (Elektroantrieben) stammt. Diese Differenzierung wird für die Berechnung der Gesamtenergiebilanz benötigt. Die Energieverbräuche werden in der Gesamtenergiebilanz dem Sektor Verkehr zugeordnet. Um Doppelzählungen zu vermeiden, muss der Anteil des Energieverbrauchs, welcher als Strom entfällt, in der Gesamtbilanz noch vom Stromverbrauch der Haushalte abgezogen werden.

3.4 Energieverbrauch Verkehr (detailliert)

Darstellung des Energieverbrauchs Verkehr [TJ] aufgeschlüsselt nach Unterkategorien.

3.5 Fahrzeugkilometer

Die Fahrzeugkilometer [km] pro Unterkategorie stammen aus dem GVM-LU. Weil das GVM-LU für den Ist-Zustand 2017 etabliert und kalibriert wurde, wurden die MIV-Belastungen anhand der an Zählstellen festgestellten Veränderungen durch Infras auf das Jahr 2022 hochgerechnet.

Auf den Autobahnen sowie abseits der Autobahnen ausserhalb der Stadt Luzern wurden Veränderungen von weniger als 2% zwischen 2017 und 2022 festgestellt. Da diese Veränderungen innerhalb des Bereichs der Unsicherheiten (aufgrund Baustellen und der Aufbereitung der Zählstellendaten) liegen, wurde auf den entsprechenden Strassenabschnitten keine Veränderung zwischen 2017 und 2022 unterstellt. Innerhalb der Stadt Luzern, abseits der Autobahn wurde an den Zählstellen eine durchschnittliche Verkehrsabnahme um 7.8% festgestellt. Da diese Veränderung höher ist als die Unsicherheit von ca. 5%, wurde sie berücksichtigt. Die Verkehrsmengen aus dem GVM-LU für 2017 für die entsprechenden Strassenabschnitte wurden daher um 7.8% reduziert, um die Verkehrsmengen 2022 zu approximieren.

3.6 Immatrikulierte Personenwagen

Daten zu den immatrikulierten Personenwagen stammen aus dem Fahrzeugregister MOFIS des Bundesamtes für Strassen ASTRA (Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2024).

In der Mofis-Datenbank gibt es keine originären Angaben zur politischen Gemeinde, in der ein Fahrzeug stationiert ist. Es existieren teilweise Fahrzeugstandorte (Ortsname und PLZ) und immer Standortangaben zum Fahrzeughalter (Ortsname und PLZ). Die Fahrzeuge müssen also über ein Matching den Gemeinden zugeordnet werden. Dies funktioniert in erster Priorität über die Fahrzeugstandorte und in zweiter Priorität über die Fahrzeughalter-Adressen. Anhand der Postleitzahlen werden die Fahrzeuge dann anteilmässig auf die Gemeinden verteilt. Bei PLZ die sich über mehrere Gemeinden erstrecken wird die Zuteilung proportional zur Verteilung der Gebäude (GWR-Einträge) auf die Gemeinden vorgenommen. Es handelt sich also um eine generische Zuteilung, die aber als beste Näherung angesehen werden kann. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Fahrzeugkategorien der Mofis-Datenbank teilweise aggregiert.

Treibstoff Code	Treibstoff Bezeichnung	Aggregierte Bezeichnung
B	Benzin	Benzin
C	Benzin / Elektrisch	Benzinhybrid
R	Elektrisch mit RE	
D	Diesel	Diesel
E	Elektrisch	Elektroantrieb
F	Diesel / Elektrisch	Dieselhybrid
G	Gas (CNG/GPL)	Gasantrieb
N	Erdgas (CNG)	
Y	Erdgas / Benzin (CNG)	
Z	Flüssiggas (LPG) / Benzin	Sonstige
M	Methanol	
K	Benzin/Alkohol (Ethanol)	

Tabelle 3: Zuordnung der Treibstoffarten zu aggregierten Kategorien.

3.7 Durchschnittlicher CO₂-Ausstoss der Personenwagen

Der durchschnittliche CO₂-Ausstoss der Personenwagen ermittelt sich aus den immatrikulierten Fahrzeugen pro Gemeinde und den CO₂-Angaben aus dem Handbuch der Emissionsfaktoren HBEFA3.3 (Infras, 2024). Die CO₂-Angaben sind Mittelwerte für die ausgewiesenen Kategorien und berücksichtigen nicht die Fahrleistungen.

Eine CO₂-Kennzeichnungspflicht existiert in der Schweiz erst seit 2003. Für Fahrzeuge älteren Datums fehlen die CO₂-Angaben also. Ebenso fehlen die Angaben bei Fahrzeugen (neueren Baujahres), welche als Direktimporte in die Schweiz kommen. Bei fehlenden Werten wird eine konservative CO₂-Kennzahl angenommen.

3.8 Stromverbrauch Strassenbeleuchtung pro Lampe

Der Stromverbrauch der Strassenbeleuchtung [Wh/a] wird durch die Energieversorgungsunternehmen (EVU) des Konzessionsgebiets gemeindescharf geliefert. Der Stromverbrauch für die Strassenbeleuchtung bezieht sich ausschliesslich auf Gemeindestrassen. Er wird teilweise gemessen und teilweise aufgrund der gemessenen Anschaltzyklen und der installierten Leistung berechnet.

3.9 Datenqualität

- **Treibhausgasemissionen:** Da für die Berechnung der Emissionen für die Zwischenjahre ein vereinfachter Ansatz gewählt wurde, folgen die Emissionen der Zwischenjahre primär der Entwicklung auf Stufe Bund. Erst wenn eine aktualisierte Modellierung für den Kanton Luzern für ein neues Stichjahr vorliegt, können kantonsspezifische Aussagen zur Entwicklung der verkehrlichen Emissionen getroffen werden.
- **Fahrleistungen:** Die MIV-Belastungen mussten anhand der an Zählstellen festgestellten Veränderungen auf das Jahr 2022 hochgerechnet werden. Diese Zahlen sind teils mit grösseren Unsicherheiten behaftet.
- **Immatrikulierte Personenwagen:** Für die Anzahl der Fahrzeuge ist der Zeitpunkt des Datenexports aus der Mofis-Datenbank relevant. So tauchen Fahrzeuge mit Saisonkennzeichen nur in der Statistik auf, wenn sie für den Verkehr zugelassen sind – also vorwiegend in den Sommermonaten. Die spezifischen CO₂-Kennzahlen sind Herstellerangaben, die auf dem Prüfstand nachgewiesen werden müssen. Studien zeigen, dass die Prüfstandswerte zum Teil deutlich geringer sind, als die Emissionen im realen Strassenbetrieb (ICCT, 2017).

4 Landwirtschaft

4.1 Kurzbeschreibung

Im Sektor Landwirtschaft entstehen primär Methan- (CH_4) und Lachgas- (N_2O) Emissionen. Die CH_4 -Emissionen entstehen vor allem in der Nutztierhaltung und der Hofdüngerbewirtschaftung. Die N_2O -Emissionen stammen hauptsächlich von landwirtschaftlichen Nutzflächen und zu einem geringeren Anteil aus der Hofdüngerbewirtschaftung. Die relativ gesehen geringeren CO_2 -Emissionen stammen aus der Nutzung fossiler Energieträger (Treibhäuser, Grastrocknung, land- und forstwirtschaftliche Maschinen und Fahrzeuge) sowie der Kalk- und Harnstoffdüngung.

In der kantonalen Treibhausgasbilanz werden die Emissionen aus der Nutztierhaltung (CH_4), der Düngerlagerung und -applikation ($\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O}$) und aus landwirtschaftlichen Böden (N_2O) bilanziert. Die Bilanzierung stützt sich auf landwirtschaftliche Strukturdaten (Tierzahlen, landwirtschaftliche Nutzflächen) und Emissionsfaktoren. Da die Bereiche Kalkdüngung und die Harnstoffdüngung nur einen kleinen Teil der landwirtschaftlichen Emissionen ausmachen (0.8% in der Schweiz), werden diese vernachlässigt. Der Energieverbrauch und die daraus resultierenden Emissionen der Landwirtschaft (Gebäude, Maschinen, Fahrzeuge) werden ebenfalls im Sektor Landwirtschaft bilanziert.

Neben den Treibhausgasemissionen und dem Energieverbrauch werden als zentrale Indikatoren die Anzahl Nutztiere sowie die landwirtschaftlichen Nutzflächen pro Kategorie ausgewiesen.

4.2 Treibhausgasemissionen Landwirtschaft

Datengrundlagen

Für die Modellierung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen stützt sich der Kanton Luzern auf die folgenden Datengrundlagen.

- **Tierbestände, landwirtschaftliche Nutzflächen:** (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 b; Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 c)
- **Emissionen, Emissionsfaktoren:** National Inventory Report / CRF tables (Table3.As1, Table3.B(a)s1, Table3.B(b), Table3.D) (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2024 a)
- **Düngerbedarf Landwirtschaftliche Nutzflächen:** Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau GRUD (aufbereitet), (Agroscope, 2024)
- **Stickstoffflüsse Böden Indirekt:** Zusätzliche Datentabelle zu Kapitel 5, Landwirtschaft des National Inventory Report (Table A – X7), (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2024 a)
- **Hofdüngieranfall pro Tierkategorie:** Zusätzliche Datentabelle zu Kapitel 5, Landwirtschaft des National Inventory Report (Table A – X4), (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2024 a)
- **Exportmenge Hofdünger (Stickstoff):** Dienststelle Landwirtschaft und Wald (lawa) des Kantons Luzern

Nutztierhaltung (CH₄)

Berechnung der Emissionen

In der Nutztierhaltung entstehen Methanemissionen (CH₄) durch den Prozess der Magengärung. Zur Berechnung der Emissionen werden die Anzahl Nutztiere pro Nutztierkategorie (Tierbestände) (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 b) mit den Emissionsfaktoren aus dem [National Inventory Report](#) (NIR) (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2024 a) multipliziert. Um die Emissionen als CO₂-Äquivalente zu erhalten, werden diese zudem mit dem Treibhausgaspotenzial (global warming potential, GWP) von Methan multipliziert.

$$EM_{CO_2eq, Nutztierhaltung, LU} = GWP_{CH_4} * \sum_1^n EF_{CH_4, Nutztierhaltung, n} * N_{LU, n}$$

Mit

- $EM_{CO_2eq, Nutztierhaltung, LU}$: Emissionen aus der Nutztierhaltung des Kantons Luzern in CO₂-Äquivalente
- $EF_{CH_4, Nutztierhaltung, n}$: Emissionsfaktoren Methanemissionen aus der Nutztierhaltung pro Nutztierkategorie n
- $N_{LU, n}$: Anzahl Tiere im Kanton pro Nutztierkategorie n (Klassifizierungsstufe 3)
- GWP_{CH_4} : Treibhausgaspotential von Methan (1 kg CH₄ = 28 kg CO₂-eq)

Nutztiere

Die Klassifizierung der Nutztiere des BFS entspricht nicht direkt der im National Inventory Report (NIR) unterschiedenen Nutztierkategorien. Es wird deshalb eine Zuordnung der Tierkategorien des BFS zum NIR vorgenommen (Tabelle 4). Weil für den Kanton Luzern die Anzahl Tiere pro Nutztierkategorie mit einer höheren Auflösung (Klassifizierungsstufe 3) (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 b) als für die Gemeinden (Klassifizierungsstufe 1) (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 c) vorliegen, wird für beide Klassifizierungsstufen eine Zuordnung gemacht werden.

Zur Berechnung der Emissionen im NIR werden gewisse Korrekturen der Tierzahlen vorgenommen. Der Einfluss der Korrektur auf die Gesamtemissionen ist in der Summe klein (~1%), weshalb in der kantonalen Bilanzierung nur für folgende Kategorien eine Korrektur vorgenommen wird:

- Hirsche: Die Anzahl Tierplätze entspricht der Hälfte des Tierbestandes. Für die Berechnung der Emissionen werden die Anzahl Tierplätze verwendet.
- Kaninchen/Zibben: Die Anzahl der Tierplätze beträgt 35% des Tierbestandes. Für die Berechnung der Emissionen werden die Anzahl Tierplätze verwendet.

Tierkategorien NIR	Tierkategorien BFS (Klassifizierungsstufe 3)	Tierkategorien BFS (Klassifizierungsstufe 1)
Cattle	Tiere - Kühe allgemein	Tiere - Rinder
Mature dairy cattle	Tiere - Milchkühe	Tiere - Rinder
Other mature cattle	Tiere - übrige Kühe	Tiere - Rinder
Growing cattle	Tiere - Kälber und andere Rinder - 1 jährig	Tiere - Rinder
Growing cattle	Tiere - Übrige Rinder	Tiere - Rinder
Sheep	Tiere - Schafe allgemein	Tiere - Schafe
Sheep	Tiere - Milchschafe	Tiere - Schafe
Sheep	Tiere - Übrige Schafe	Tiere - Schafe
Swine	Tiere - Sauen	Tiere - Schweine
Swine	Tiere - Eber	Tiere - Schweine

Swine	Tiere – Übrige Schweine	Tiere - Schweine
Buffalo	Tiere - Bisons	Tiere – Übrige Tiere
Camels	Tiere - Lamas	Tiere – Übrige Tiere
Camels	Tiere - Alpakas	Tiere – Übrige Tiere
Deer	Tiere - Hirsche	Tiere – Übrige Tiere
Goats	Tiere – Ziegen allgemein	Tiere - Ziege
Goats	Tiere - Milchziegen	Tiere - Ziege
Goats	Tiere – Übrige Ziegen	Tiere - Ziege
Mules and Asses	Tiere – Pferdegattung < 148 cm Wider- rsthöhe	Tiere - Pferdegattung
Horses	Tiere – Pferdegattung > 148 cm Wider- rsthöhe	Tiere - Pferdegattung
Poultry	Tiere - Legehühner und Zuchthühner	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Mastpoulets	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Übrige Hühner	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Truten	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Enten	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Gänse	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Strausse	Tiere - Geflügel
Poultry	Tiere - Übriges Geflügel	Tiere - Geflügel
Rabbit	Tiere - Kaninchen allgemein	Tiere – Übrige Tiere
Other emission free	Tiere - Zibben	Tiere – Übrige Tiere
Other emission free	Tiere - Bienenvölker	Tiere – Übrige Tiere
Other emission free	Tiere – Übrige Tiere	Tiere – Übrige Tiere

Tabelle 4: Zuordnung der Tierkategorien des BFS (Klassifizierungsstufe 1 und 3) zu den im NIR unterschiedenen Tierkategorien.

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren (CH₄-Emissionen pro Jahr pro Tier) werden jährlich aus dem NIR (Table3.As1) bezogen. Die Emissionsfaktoren aus dem NIR werden durch die Agroscope ermittelt und bilden zurzeit die beste Grundlage zur Berechnung der kantonalen Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft. Die Emissionsfaktoren werden jährlich angepasst, weil sich die Emissionen pro Tier im Durchschnitt aufgrund der sich verändernden Produktionstechniken verändern (z.B. Fütterungszusätze).

Emissionen pro Gemeinde

Die Emissionen des Kantons werden anhand der Tierbestände pro Nutztierkategorie auf Klassifizierungsstufe 1 (vgl. Tabelle 4) auf die Gemeinden verteilt. Die Gesamtemissionen der Gemeinde ergibt sich aus der Summe über alle Nutztierkategorien.

$$EM_{CO_2eq,Nutztierhaltung,Gem} = \sum_1^n EM_{CO_2eq,Nutztierhaltung,LU,n} * \frac{N_{Gem,n}}{N_{LU,n}}$$

Mit

- $EM_{CH_4,Nutztierhaltung,Gem}$: Emissionen aus der Nutztierhaltung pro Gemeinde in CO₂-Äquivalente
- $EM_{CH_4,Nutztierhaltung,LU,n}$: Emissionen aus der Nutztierhaltung des Kantons pro Nutztierkategorie n in CO₂-Äquivalente
- $N_{Gem,n}$: Anzahl Tiere in der Gemeinde pro Nutztierkategorie n (Klassifizierungsstufe 1)
- $N_{LU,n}$: Anzahl Tiere im Kanton pro Nutztierkategorie n (Klassifizierungsstufe 1)

Hofdüngerbewirtschaftung (CH₄ und N₂O)

Berechnung der Emissionen

In der Hofdüngerbewirtschaftung entstehen direkte CH₄- und N₂O-Emissionen während der Lagerung und Ausbringung von Hofdünger. Die direkten Emissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung (CH₄ und N₂O) verhalten sich proportional zur Anzahl Nutztiere. Zur Berechnung der Emissionen werden analog zum Teilsektor Nutztierhaltung die Anzahl Nutztiere mit den Emissionsfaktoren pro Kategorie und dem Treibhausgaspotenzial von Methan und Lachgas multipliziert.

Neben den direkten Emissionen entstehen zudem indirekte N₂O Emissionen aus der atmosphärischen Deposition und der Stickstoffauswaschung. Zur Berechnung der indirekten Emissionen des Kantons Luzern wird ein Korrekturfaktor auf die direkten Emissionen angewandt, der sich aus dem Anteil der indirekten N₂O-Emissionen an den direkten N₂O-Emissionen der Schweiz ergibt.

$$EM_{N_2O,Hofdünger,indirekt,LU} = \frac{EM_{N_2O,Hofdünger,indirekt,CH}}{EM_{N_2O,Hofdünger,direkt,CH}} * EM_{N_2O,Hofdünger,direkt,LU}$$

Mit

- $EM_{N_2O,Hofdüngerbewirtschaftung,indirekt,LU}$: Indirekte Lachgasemissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung des Kantons Luzern
- $EM_{N_2O,Hofdüngerbewirtschaftung,indirekt,CH}$: Indirekte Lachgasemissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung der Schweiz
- $EM_{N_2O,Hofdüngerbewirtschaftung,direkt,LU}$: Direkte Lachgasemissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung des Kantons Luzern
- $EM_{N_2O,Hofdüngerbewirtschaftung,direkt,CH}$: Direkte Lachgasemissionen aus der Hofdüngerbewirtschaftung der Schweiz

Nutztiere

Der Datenbezug und die Datenaufbereitung (Kategorisierung, Zuordnung zu den Emissionsfaktoren) der Tierbestände erfolgt analog zum Teilsektors Nutztierhaltung.

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren (CH₄-Emissionen pro Jahr pro Tier und N₂O-Emissionen pro Jahr pro Tier) werden jährlich aus dem NIR (Table3.B(a)s1 und Table3.B(b) bezogen.

Emissionen pro Gemeinde

Um die Treibhausgasemissionen aus der Nutztierhaltung pro Gemeinde zu erhalten, werden die Emissionen des Kantons anhand verschiedener Nutztierkategorien analog zum Teilsektor Nutztierhaltung auf die Gemeinden verteilt.

Landwirtschaftliche Böden (N₂O)

Berechnung der Emissionen

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen entweicht N₂O durch biologische Abbauprozesse von Stickstoffeinträgen (Applikation von mineralischen und organischen Düngern, Ernterückstände, etc.). Weil diese Stickstoffflüsse kantonale schwierig zu quantifizieren sind, werden die Emissionen der Schweiz aus dem NIR anhand verschiedener Faktoren auf den Kanton heruntergebrochen (Tabelle 5).

$$EM_{CO_2eq,Böden,LU} = GWP_{N_2O} * \sum_{1}^n EM_{N_2O,Böden,CH,n} * Faktor_n$$

Mit

- $EM_{N_2O,Böden,LU}$: Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden des Kantons
- $EM_{N_2O,Böden,CH}$: Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden der Schweiz (NIR)
- $Faktor_n$: Faktor zur Ermittlung der kantonalen Emissionen der Unterkategorie n
- n: Unterkategorie n im NIR der Emissionen
- GWP_{N_2O} : Treibhausgaspotential von Lachgas (1 kg CH₄ = 265 kg CO₂-eq)

Unterkategorie NIR	Faktor
Direkte Emissionen	
1. Inorganic N fertilizers	Anteil Handelsdünger
a. Animal manure applied to soils	Anteil Hofdünger
c. Other organic fertilizers applied to soils	Anteil Handelsdünger
3. Urine and dung deposited by grazing animals	Anteil Weide
4. Crop residues	Anteil LN
5. Mineralization/immobilization associated with loss/gain of soil organic matter	Anteil LN
6. Cultivation of organic soils (i.e. histosols)	Anteil LN
7. Other	Anteil Handelsdünger
Indirekte Emissionen	
NH ₃ emissions from commercial fertilisers	Anteil Handelsdünger
NH ₃ emissions from applied animal manure	Anteil Hofdünger
NH ₃ emissions from pasture, range and paddock	Anteil Weide
NO _x emissions from commercial fertilisers	Anteil Handelsdünger
NO _x emissions from applied animal manure	Anteil Hofdünger
NO _x emissions from PR&P	Anteil LN
Leaching and run-off from commercial fertilisers	Anteil Handelsdünger
Leaching and run-off from applied animal manure	Anteil Hofdünger
Leaching and run-off from pasture, range and paddock	Anteil Weide
Leaching and run-off from crop residues	Anteil LN
Leaching and run-off from mineralisation of SOM	Anteil LN

Tabelle 5: Angewandter Faktor zur Ermittlung der kantonalen Emissionen pro Unterkategorie des Teilssektors landwirtschaftliche Böden.

Anteil Hofdünger

Die verfügbare Hofdüngermenge verhält sich proportional zum Nutztierbestand und wird durch Multiplikation der Anzahl Nutztiere mit der Stickstoff-Ausscheidungsrate (N-Exkretions Rate) pro Nutztierkategorie berechnet. Für den Kanton Luzern werden von der ermittelten Hofdüngermenge zudem die Exporte (Hofdünger_{LU,Export}) abgezogen.

$$Hofdünger_{LU} = \sum_1^n ExkretionRate_n * N_{LU,n} - Hofdünger_{LU,Export}$$

Mit

- Hofdünger_{LU}: Verfügbare Hofdüngermenge (in kgN) im Kanton Luzern
- ExkretionRate_n: Stickstoff-Ausscheidungsrate pro Nutztierkategorie n
- N_{LU,n}: Anzahl Tiere im Kanton Luzern pro Nutztierkategorie n (Klassifizierungsstufe 3)

Die Hofdüngermenge der Schweiz wird analog zur Berechnung der Hofdüngermenge des Kantons Luzern ermittelt. Anschliessend wird der Anteil der Hofdüngermenge des Kantons Luzern an der Hofdüngermenge der Schweiz berechnet.

Anteil Handelsdünger

Der Düngebedarf, welcher nicht durch Hofdünger gedeckt werden kann, wird mittels Handelsdünger gedeckt. Die Menge an eingesetztem Handelsdünger ergibt sich demnach aus der Differenz zwischen der total eingesetzten Düngermenge und der eingesetzten Hofdüngermenge. Der verfügbare Stickstoff in den Hofdüngern wird zu 55% der totalen Stickstoffmenge angerechnet.

$$\text{Handelsdünger}_{LU} = \text{Dünger}_{LU} - \text{Hofdünger}_{LU} * 0.55$$

Mit

- Dünger_{LU}: Totale Düngermenge (Hofdünger + Handelsdünger) im Kanton Luzern
- Hofdünger_{LU}: Hofdüngermenge (in kgN) im Kanton Luzern
- Handelsdünger_{LU}: Handelsdüngermenge (in kgN) im Kanton Luzern

Um die total eingesetzte Düngermenge des Kantons Luzern zu erhalten, wird die Düngermenge der Schweiz anhand des Düngebedarfs der landwirtschaftlichen Nutzflächen auf den Kanton heruntergebrochen. Diese wird anhand des Düngebedarf der verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen berechnet. Dazu wird die landwirtschaftlichen Nutzflächen (LN) (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 c) mit der Dünungsnorm (kgN*ha-1) basierend auf [GRUD](#) (Agroscope, 2024) und Schätzungen der Agroscope (Tabelle 4) pro LN-Kategorie multipliziert.

$$\text{Düngebedarf, LN}_{LU} = \sum_1^n \text{LN}_{LU,n} * \text{Dünungsnorm, LN}_n$$

Mit

- LN_{n,LU}: Landwirtschaftliche Nutzfläche pro LN-Kategorie des Kantons Luzern
- Dünungsnorm, LN_n: Dünungsnorm pro LN-Kategorie n
- Düngebedarf, LN_{LU}: Düngebedarf der landwirtschaftlichen Nutzflächen der Schweiz / des Kantons.

Anschliessend wird der Anteil des Kantons am schweizerischen Düngebedarf berechnet.

Landwirtschaftliche Nutzfläche BFS (Klassifizierungsstufe 2)	Dünungsnorm (kgN*ha-1) GRUD / Agroscope	Herleitung der Dünungsnorm
LN - Landwirtschaftliche Nutzfläche Total (in ha)		
LN - Getreide (in ha)	139	95% Winterweizen 5% Sommerweizen
LN - Kartoffeln (in ha)	117.9	86% Speisekartoffeln u. Techn. Verarbeitung 7% Frühkartoffeln 7% Saatkartoffeln
LN - Rüben (in ha)	100	
LN - Silo- und Grünmais (in ha)	100	
LN - Raps (in ha)	140	
LN - Tabak (in ha)	158.1	91.5% Burley 8.5% Virginie
LN - Soja (in ha)	0	
LN - Sonnenblumen (in ha)	60	

LN - Hülsenfrüchte (in ha)	0	
LN - Freilandgemüse (in ha)	150	Agroscope
LN - Andere offene Ackerfläche (in ha)	60	Agroscope
LN - Kunstwiesen (in ha)	120	Intensive Wiese mit vier Nutzungen pro Jahr
LN - Naturwiesen (in ha)	50	Hohe Heterogenität, grobe Schätzung Agroscope
LN - Reben (in ha)	50	
LN - Obstanlagen (in ha)	60	
LN - Übrige Dauerkulturen (in ha)	-	Die Kategorie wird nicht berücksichtigt, da aufgrund der Heterogenität keine Dünnungsnorm festgelegt werden konnte.
LN - Kulturen in geschütztem Anbau (in ha)	-	Die Kategorie wird nicht berücksichtigt, da aufgrund der Heterogenität keine Dünnungsnorm festgelegt werden konnte.
LN - Übrige LN (in ha)	-	Die Kategorie wird nicht berücksichtigt, da aufgrund der Heterogenität keine Dünnungsnorm festgelegt werden konnte.

Tabelle 6: Dünnungsnorm pro Landwirtschaftlicher Nutzfläche.

Anteil LN / Anteil Weide

Die Emissionen von Ernterückständen, der Bewirtschaftung organischer Böden und der Mineralisierung organischer Bodensubstanz werden anhand der totalen landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) auf den Kanton Luzern heruntergebrochen. Die Emissionen, welche durch von Weidetieren abgelagerter Urin und Dung entstehen, werden anhand der Weidefläche (LN-Kategorie *Naturwiese*) auf den Kanton Luzern heruntergebrochen.

Indirekte Emissionen

Die indirekten Emissionen aus der atmosphärischen Deposition und der Stickstoffauswaschung der Schweiz aus dem NIR werden anhand der Stickstoffflüsse (NIR, Table A – X7) auf die Unterkategorien verteilt. Die Emissionen pro Unterkategorie werden anschliessend auf den Kanton Luzern heruntergebrochen.

Emissionen pro Gemeinde

Zur Berechnung der Emissionen pro Gemeinde werden die Lachgasemissionen des Kantons anhand der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) auf die Gemeinden verteilt. Es wird keine Differenzierung nach Kulturen vorgenommen, weil auf Stufe Gemeinden die LN zu wenig differenziert vorliegt.

$$EM_{N_2O, Böden, Gem} = EM_{N_2O, Böden, LU} * \frac{LN_{Gem}}{LN_{LU}}$$

Mit

- $EM_{N_2O, Böden, Gemeinde}$ = Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden der Gemeinde
- $EM_{N_2O, Böden, Kanton}$ = Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden des Kantons
- $LN_{Gemeinde}$ = Landwirtschaftliche Nutzfläche der Gemeinde
- LN_{Kanton} = Landwirtschaftliche Nutzfläche des Kantons

Landwirtschaftliche Gebäude, land- und forstwirtschaftliche Maschinen

Vgl. Kapitel 4.3.

4.3 Energieverbrauch / Energiebilanz Verbrauch Landwirtschaft

Neben den Methan- und Lachgasemissionen entstehen in der Landwirtschaft zu einem kleineren Anteil energiebedingter CO₂-Emissionen. Die Emissionen stammen aus dem Energieverbrauch der landwirtschaftlichen Gebäude (Gewächshäuser, Tierställe, etc.) und aus der Nutzung von land- und forstwirtschaftlichen Maschinen und Fahrzeugen. Die Energieverbräuche und daraus resultierenden Emissionen werden im Sektor Landwirtschaft ausgewiesen. Die Modellierung erfolgt jedoch im Rahmen der Gebäudeenergiemodellierung (Kapitel 5) und Verkehrsmodellierung (Kapitel 3) und wird den entsprechenden Kapiteln beschrieben.

In der Darstellung «Energiebilanz Verbrauch» werden alle Energieverbräuche der Gebäude und der Maschinen und Fahrzeuge zusammengefasst dargestellt.

4.4 Nutztiere

Die Anzahl Nutztiere pro Nutztierkategorie werden vom BFS bezogen (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 c; Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 b).

4.5 Landwirtschaftliche Nutzfläche

Die Landwirtschaftliche Nutzfläche pro Kategorie [km²] werden vom BFS bezogen (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 c).

4.6 Wärmebedarf landwirtschaftliche Gebäude

Der Wärmebedarf der landwirtschaftlichen Gebäude wird mit dem GEM für Nicht-Wohngebäude ermittelt (Kapitel 5.2). Der Wärmebedarf kann jeweils separat für Wohngebäude und Dienstleistungsgebäude gezeigt werden und wird differenziert nach Energiequelle der Heizung dargestellt. Der Wärmebedarf umfasst sowohl den Heizwärmebedarf (vgl. 5.6) wie auch den Wärmebedarf für Warmwasser.

4.7 Energiequelle Heizung und Warmwasser landwirtschaftliche Gebäude

Informationen zur Energiequelle der installierten Heizungen in den landwirtschaftlichen Gebäuden stammen aus dem GWR. Die Datengrundlage dafür bilden die Attribute *Energiequelle Heizung* (GENH1) und *Wärmeerzeuger Heizung* (GWARZH1). Bei mehreren Heizsystem wird das erste Heizsystem berücksichtigt. Die Daten werden einerseits pro Energieträger gezeigt, andererseits nach erneuerbar / nicht erneuerbar aufgeschlüsselt. Als erneuerbar gelten Holzheizung, Solaranlage, Fernwärme und Wärmepumpe; nicht erneuerbar sind Elektroheizungen/-boiler, Gasheizung sowie Ölheizung. Die Daten sind je nach Gemeinde unterschiedlich aktuell.

4.8 Datenqualität

- **Treibhausgasemissionen:** Die Treibhausgasbilanz des Sektors Landwirtschaft reflektiert primär Änderung der Produktionsstruktur (Tierzahlen). Änderungen der Produkti-

onstechnik im Kanton Luzern fliessen nur indirekt über eine Anpassung der Emissionsfaktoren der Schweiz ein. Die Bilanz berücksichtigt keine lokalen Produktionsunterschiede zwischen den Betrieben und Gemeinden.

- **Tierzahlen:** Die Tierzahlen des BFS repräsentieren keine Tierfluktuationen über das Jahr. Im NIR wurden deshalb für die Unterkategorien der Schweine und des Geflügels Anpassungen vorgenommen, um die Tierfluktuation über das Jahr korrekt zu berücksichtigen. Zusätzlich wurden Bestandesdaten von Tieren ausgewertet, die nicht von der Landwirtschaftszählung des BFS erfasst werden (Tiere für nichtlandwirtschaftliche Zwecke). In der kantonalen Bilanzierung wird keine solche Korrektur vorgenommen.
- **Stickstoffmengen:** Die Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden hängen primär von der eingesetzten Stickstoffmenge ab. Die eingesetzte Stickstoffmenge im Kanton Luzern wird jedoch nicht direkt erfasst und es muss auf eine grobe Abschätzung zurückgegriffen werden. Lokale Änderungen der eingesetzten Stickstoffmenge fliessen somit nicht in die kantonale Treibhausgasbilanz ein.

5 Gebäude

5.1 Kurzbeschreibung

Im Sektor Gebäude werden die Treibhausgasemissionen aus der Bereitstellung von Wärmeenergie für die Wohn- und Dienstleistungsgebäude bilanziert. Die Bilanzierung erfolgt mit dem kantonalen Gebäudeenergiemodell (GEM). Pro Gebäude werden auf Basis von Merkmalen aus dem Gebäude und Wohnungsregister (GWR) (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 a) und Energiekennzahlen der Energieverbrauch und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen ermittelt. Treibhausgasemissionen entstehen, wenn für die Beheizung und zum Bereitstellen von Warmwasser Energie aus fossilen Energiequellen (Öl- und Gasheizungen) genutzt wird.

5.2 Gebäudeenergiemodell

Weil die Daten aus dem Bereich Gebäude alle aus dem Gebäudeenergiemodell (GEM) stammen, wird in diesem Kapitel zuerst das Modell beschrieben, bevor in den folgenden Kapiteln die ausgewiesenen Indikatoren definiert werden.

Datengrundlagen

Die GEM stützt sich auf die folgenden Datengrundlagen:

- **Merkmale des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR)** (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 a)
- **Energiekennzahlen:** Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) des Kantons Luzern
- **Emissionsfaktoren:** Faktenblatt [CO2-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz](#) (Bundesamt für Umwelt, 2018)

Methodik

Die Treibhausgasemissionen des Gebäudeparks werden auf Basis des modellierten Endenergieverbrauchs berechnet. Der Wärmebedarf wird für jedes im GWR verzeichnete Gebäude auf Grund der im GWR verzeichneten Merkmale abgeschätzt und für ein Gemeindegebiet beziehungsweise über das Kantonsgebiet subsumiert. Die Modellierung des Gebäudewärmebedarfs erfolgt separat für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude. Das GEM für Wohngebäude steht seit 2018 zur Verfügung und hat seitdem verschiedene methodische Anpassungen durchlaufen. Im Jahr 2023 wurde das Modell für Wohngebäude neu kalibriert. Neben der Neukalibration des Modells wurde ausserdem die Modellierung auf Nicht-Wohngebäude ausgedehnt, welches Daten zu Dienstleistungs-, Landwirtschafts- sowie kleineren Industriegebäuden liefert.

Wohngebäude

Im Bereich Wohngebäude werden die folgenden Gebäudekategorien (GWR, Merkmalskatalog 4.2) bilanziert:

- Gebäude mit ausschliesslicher Wohnnutzung (1020)
- Wohngebäude mit Nebennutzung (1030)

Gebäudewärmebedarf

Der Gebäudewärmebedarf bezeichnet die Wärmeenergie, die für die Wohngebäude im Kanton Luzern für die Beheizung und zum Bereitstellen von Warmwasser notwendig ist. Sie beinhaltet nicht den Haushaltsstromverbrauch. Der Wärmebedarf setzt sich wie folgt aus der Heizenergie des Gebäudes und dem Warmwasserverbrauch zusammen.

$$Q_{h,ww} = Q_h + Q_{ww}$$

Mit

- $Q_{h,ww}$: Gebäudewärmebedarf $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- Q_h : Heizwärmebedarf $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- Q_{ww} : Wärmebedarf für Warmwasser $\left[\frac{kWh}{a}\right]$

Heizwärmebedarf

Der Heizenergiebedarf berechnet sich aus der Energiebezugsfläche (EBF) multipliziert mit der Energiekennzahl (E_h).

$$Q_h = EBF * EK(Kategorie, Klasse, Baualter) * W_s \text{ (Sanierungsjahr)}$$

Mit

- Q_h : Heizwärmebedarf $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- EBF : Energiebezugsfläche [m²]
- $EK(Kategorie, Klasse, Baualter)$: Energiekennzahl, abhängig von Gebäudekategorie, Klasse und Baualter.
- W_s (Sanierungsjahr): Sanierungsfaktor, abhängig von Sanierungsjahr.

Energiebezugsfläche

Bei Gebäuden, welche keine EBF im GWR hinterlegt haben, muss diese aus den Wohnungsflächen geschätzt werden. Im GWR wird zu jeder Wohnung die Wohnungsfläche angegeben. Für ein Gebäude werden alle Wohnungsflächen aufsummiert. Mit den empirisch bestimmten Faktoren (Kulawik & Bucher, 2013) von 1.38 für EFH und 1.30 für MFH werden aus den Wohnungsflächen die EBF abgeschätzt. Fehlen im GWR Angaben zu Wohnungsflächen oder sind sie unplausibel, werden sie durch mittlere Schätzwerte anhand der Zimmerzahlen ersetzt.

$$EBF = \sum A_w * F_{WF}$$

Mit

- EBF : Energiebezugsfläche [m²]
- A_w : Wohnungsfläche des Gebäudes [m²]
- F_{WF} : Wohnungsflächenkorrekturfaktor

Kategorie	GKAT	F _{WF}	Quelle
Einfamilienhaus (EFH)	1020	1.38	Aus Vergleich mit GEAK
Mehrfamilienhaus (MFH)	1020	1.30	Aus Vergleich mit GEAK
Wohnhaus mit Nebennutzung	1030	1.50	Willkürlicher Schätzwert

Tabelle 7: Wohnungsflächenkorrekturfaktor pro Gebäudekategorie.

Für Wohnhäuser mit Nebennutzung (GKAT 1030) wird mit der vorliegenden Methodik nur die Energiebezugsfläche aus dem Wohnanteil geschätzt, während ein möglicher Anteil für Gewerbe vernachlässigt wird. Ein alternativer Ansatz zur Berechnung der beheizten Fläche über die Grundfläche und Anzahl Stockwerke ergab keine signifikante Verbesserung der Modellergebnisse.

Energiekennzahl

Die Energiekennzahl (E_h) wurde von Martinelli + Menti für Gebäude mit Baujahr vor 1990 aus beobachteten Gebäudedaten abgeschätzt (Dommann, 2015). Da sie auf realen Verbrauchszahlen beruhen, beinhalten sie auch den Wirkungsgrad des Heizsystems (meist Öl oder Gas, 89%). Energiekennzahlen von Gebäuden mit Baujahr nach 1990 wurden anhand der damals geltenden Energievorschriften hergeleitet.

Gebäudekategorie/ Gebäudeklasse	Einfamilienhaus (EFH)	Mehrfamilien- haus (MFH)	Wohnhaus m. Nebennutzung	Renovationseffekt F_R (bezogen auf Sanierungsperiode)
Baujahr (Sanierungsperiode)	1020/1110, 1121	1020/1122	1030/-	
Vor 1919	150	140	140	1.00
1919-1945	175	155	155	1.00
1946-1960	150	140	140	1.00
1961-1970	150	135	135	1.00
1971-1980	140	130	130	1.00
1981-1985	125	115	115	1.00
1986-1990	120	100	100	1.00
1991-1995	115	95	95	0.95
1996-2000	110	80	80	0.90
2001-2005	105	80	80	0.80
2006-2010	90	65	65	0.80
2011-2015	55	35	35	0.70
2016-2020	55	35	35	0.60
Ab 2021	45	30	30	Vgl. unten

Tabelle 8: Energiekennzahlen E_h in kWh/m² EBF und Renovationseffekt.

Renovationseffekt für Sanierungen bis 2020

Der Renovationseffektfaktor (F_R) wird seit dem Jahr 1991 eingerechnet. Er bezieht sich auf den GWR-Eintrag Sanierungsperiode. Die Berechnung erfolgt mit einem abgestuften Sanierungseffekt bis 40 Prozent, abhängig vom Jahr, in dem die Renovation erfolgte. Es wird angenommen, dass eine wertvermehrnde Renovation nach dem Jahre 1991 auch zu einer Verbesserung der thermischen Isolation des Gebäudes führte.

Renovationseffekt für Sanierungen ab 2021

Mit der Umstellung des GWR-Merkmalsskatalogs auf die Version 4.1 können Bauprojekte und somit Sanierungen detaillierter erfasst werden. Aufgrund dieser Angaben können Sanierungen und deren energetische Wirkung besser eruiert und ins GEM einbezogen werden. Immer wenn eine abgeschlossene energetische Sanierung vorliegt, wird davon ausgegangen, dass über das gesamte Gebäude der Umbaugrenzwert (EFH 68 kWh/m², MFH und Wohnhaus mit Nebennutzung 45 kWh/m²) erfüllt wird. Bei beheizten Erweiterungen wird je nach deren Ausmass, der Umbau oder Neubaugrenzwert (EKZ aus Bauperiode ab 2021) verwendet (siehe folgende Tabelle).

Anteil neue EBF an bestehender EBF	Auswirkung auf Wärmebedarf
EBF-Zusatz $\geq 50\%$ von EBF alt	Neubaugrenzwert über ganze EBF
EBF-Zusatz $< 50\% \geq 25\%$ von EBF alt	Mitte zw. Neubau- und Umbaugrenzwert
EBF-Zusatz $< 25\%$ von EBF alt	Umbaugrenzwert

Energiekennzahl Neubau (Neubaugrenzwert):

- EFH: 45 kWh/m²
- MFH: 30 kWh/m²

Energiekennzahl Umbau (Umbaugrenzwert):

- EFH: 68 kWh/m²
- MFH: 45 kWh/m²

Endenergie

Im GWR ist der Energieträger deklariert. Mit dem Energieträger lassen sich aus der berechneten Nutzenergie, welche zur Beheizung des Gebäudes oder zur Erwärmung des Warmwassers benötigt wird, die Endenergie berechnen. Im GWR ist der Energieträger für Warmwasser und Heizung separat angegeben. Somit kann auch die Berechnung der Endenergie für Warmwasser und Heizung mit unterschiedlichem Energieträger erfolgen. Zur Berechnung der Endenergie wird die Nutzenergie durch den Jahresnutzungsgrad des Heizsystems geteilt:

$$E_h = \frac{Q_h}{F_w}$$

Mit

- E_h : Endenergiebedarf (Heizen) $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- Q_h : Heizwärme $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- F_w : Nutzungsgrad des Heizsystems

Die Nutzungsgrade für Heizsysteme und für Warmwassererzeuger werden in Anhang I aufgeführt.

Energieverbrauch Warmwasser

Der Wärmebedarf für die Warmwasseraufbereitung wird anhand der Anzahl Bewohnenden und der Gebäudekategorie (Ein- und Mehrfamilienhaus) bestimmt (Nipkow, 2013). Details sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Auch für Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung ist immer eine Warmwasserbedarfsschätzung in den modellierten Daten enthalten. Es wird davon ausgegangen, dass der Warmwasserbedarf dieser Gebäude analog zur Kategorie Mehrfamilienhaus berechnet wird.

Anzahl Personen	Einfamilienhaus [kWh/a]	Mehrfamilienhaus [kWh/a]
0	500	500
1	1'400	1200
Zusätzliche Person	+800	+800

Tabelle 9: Warmwasserbedarf nach Anzahl Bewohner für Ein- und Mehrfamilienhäuser.

Die Annahme von 500 kWh/a für unbewohnte Wohnungen (Wohnungen in der keine Person im Einwohnerregister als Wohnhaft gemeldet ist) begründet sich darin, dass sie in der Regel trotzdem teilweise genutzt werden (Ferienwohnungen), für Teile des Kalenderjahres doch noch bezogen werden oder auch leerstehend für den Zustandserhalt ab und zu gereinigt und unterhalten und daher Heiz- und Warmwassersystem nicht vollständig ausgeschaltet werden und so auch Verluste erzeugen. Der etwas höhere Grundwert bei Einfamilienhäusern begründet sich mit den etwas grösseren Verlusten und grösserem Warmwasserverbrauch. Die Werte wurden auch mit der Planungsempfehlung der SIA 385/2 (2015) verifiziert.

Neukalibration ab 2023

In einem Projekt zur Aktualisierung des Gebäudeenergiemodells wurde die Energiekennzahl anhand von Wärmeverbrauchsdaten (Erdgasverbrauch und Fernwärme) von Energie Wasser Luzern (ewl) durch die Hochschule Luzern (HSLU) neu kalibriert (Meyer, Schneeberger, & Schütz, 2024). Als Stichprobe dienten 3'290 Messungen von Gebäuden mit ausschliesslicher Wohnnutzung und 697 Messungen von Wohngebäuden mit Nebennutzung der Jahre 2019-2022.

Für die Modellskalierung wurde der modellierte Energieverbrauch aller Gebäude der Stichprobe mit der Summe der tatsächlichen Messdaten skaliert. Die Skalierung erfolgte auf Stufe des *Endenergiebedarf total für Wärmeerzeugung [MWh/a]*. Es wurde jeweils ein Skalierungsfaktor pro Gebäudekategorie GKAT 1020 und GKAT 1030 ermittelt:

$$f_{1020} = 0.8597$$

$$f_{1030} = 1.0632$$

Da sich das Attribut *Endenergiebedarf total für Wärmeerzeugung [MWh/a]* aus der Summe vom *Heizendenergie [MWh/a]* und *Warmwasserendenergie [MWh/a]* bildet, wird der Faktor auf Stufe *Heizendenergie [MWh/a]* und *Warmwasserendenergie [MWh/a]* eingebaut. Die entsprechenden Nutzenergien (Q_h und Q_{ww}) können analog mit dem Faktor multipliziert werden (da es einen linearen Zusammenhang zwischen Nutz- und Endenergie gibt).

$$Q_{h,neu} = Q_h(GKAT) * f_{GKAT}$$

$$Q_{ww,neu} = Q_{ww}(GKAT) * f_{GKAT}$$

Mit

- $Q_{h,neu}$: Heizwärmebedarf neu nach Kalibrierung $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- Q_h : Heizwärmebedarf alt vor Kalibrierung $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- $Q_{ww,neu}$: Wärmebedarf für Warmwasser neu nach Kalibrierung $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- Q_{ww} : Wärmebedarf für Warmwasser alt vor Kalibrierung $\left[\frac{kWh}{a}\right]$

Eine Neukalibration und damit Anpassung der Skalierungsfaktoren auf Basis von Wärmeverbrauchsdaten von ewl ist alle fünf Jahre angedacht, um eine regelmässige Aktualisierung des Gebäudeenergiemodells zu gewährleisten.

Berechnung der CO₂-Emission

Um die CO₂-Emission zu berechnen, wird die Endenergie des Gebäudewärmebedarfs [MWh] mit dem Emissionsfaktor [Mg/MWh] des entsprechenden Energieträgers multipliziert. Dies wird für die Heizung und Warmwasser separiert durchgeführt, da sich die Energieträger unterscheiden können.

$$EM_{Gebäude} = E_h * F_K$$

Mit

- $EM_{\text{Gebäude}}$: CO₂-Emissionen des Gebäudes $\left[\frac{g}{a}\right]$
- E_h : Endenergiebedarf $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- F_K : Emissionsfaktor $\left[\frac{g}{kWh}\right]$

Es werden die Emissionsfaktoren pro Energieträger gemäss CO₂-Gesetz verwendet. Eine Tabelle der angewandten Emissionsfaktoren befindet sich in Anhang II.

Dienstleistungsgebäude (Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung (1040) und Gebäude ohne Wohnnutzung (1060))

Im Bereich Nicht-Wohngebäude werden die folgenden Gebäudekategorien (GWR, Merkmalskatalog 4.2) bilanziert:

- Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung (1040)
- Gebäude ohne Wohnnutzung (1060)

Sektoraufteilung

Die Gebäude werden anhand der Gebäudeklassen gemäss Tabelle 13 in die Sektoren Dienstleistungsgebäude, Industriegebäude und Landwirtschaftsgebäude unterteilt.

Berechnung des Gebäudewärmebedarfs

Der Gebäudewärmebedarf für Nicht-Wohngebäude umfasst die Energie für die Beheizung, die Warmwasseraufbereitung und im Falle von Industriegebäuden die Prozessenergie. Da für diese Kategorien der Warmwasserverbrauch schwierig abzuschätzen ist, wird nur der *Endenergiebedarf total für Wärmeerzeugung* $[MWh/a]$ geschätzt, und keine weitere Aufteilung in Warmwasserendenergie, Heizendenergie und Prozessenergie gemacht.

Die Endenergie berechnet sich deshalb aus der Energiebezugsfläche (EBF) multipliziert mit der Energiekennzahl (E_h).

$$E_{h,ww} = \frac{E_k(GKLAS) * EBF}{1000}$$

Mit

- $E_{h,ww}$: Energiebedarf total für Wärmeerzeugung (Heizung und Warmwasser) $\left[\frac{MWh}{a}\right]$
- E_k : Energiekennzahl abhängig der Gebäudeklasse (GKLAS) $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$
- EBF : Energiebezugsfläche

Energiebezugsfläche

Die Energiebezugsfläche wird auf Basis der Gebäudefläche und der Anzahl Geschosse aus dem GWR ermittelt und mit dem Korrekturfaktor 0.85 skaliert.

$$EBF = GAREA * GASTW * 0.85$$

Mit

- EBF : Energiebezugsfläche
- $GAREA$: Gebäudefläche
- $GASTW$: Anzahl Geschosse

Für viele Gebäude fehlen jedoch die entsprechenden Informationen zur Gebäudehöhe im GWR. In diesem Fall wird der Median der Gebäudehöhe pro Gebäudeklasse verwendet.

Energiekennzahl

Pro GKLAS wurde anhand der Messdaten einer Stichprobe von insgesamt 268 Gebäuden eine Energiekennzahl berechnet. Bei einer ausreichenden Menge an Daten wäre eine zusätzliche Typisierung nach Kategorie und Bauperiode sinnvoll, was aufgrund der kleinen Stichprobe jedoch nicht möglich war. Als Kennzahl wurde der Median pro Gebäudeklasse selektiert, da dieser im Vergleich zum Mittelwert robuster gegen Ausreisser ist. In der nachfolgenden Tabelle sind die verwendeten Energiekennzahlen pro Gebäudeklasse aufgeführt:

GKLAS	Bezeichnung GKLAS	Bereich	Energiekennzahl	Endenergiebedarf bei fehlender Information GWAERZH1
1130	Wohngebäude für Gemeinschaften	Dienstleistungen	104	
1211	Hotelgebäude	Dienstleistungen	148	
1212	Andere Gebäude für kurzfristige Beherbergungen	Dienstleistungen	88	
1220	Bürogebäude	Dienstleistungen	98	
1230	Gross- und Einzelhandelsgebäude	Dienstleistungen	88	
1231	Restaurants und Bars in Gebäuden ohne Wohnnutzung	Dienstleistungen	121	
1241	Bahnhöfe, Abfertigungsgebäude, Fernsprechvermittlungszentralen	Dienstleistungen	148	0
1242	Garagegebäude	Industrie	750	0
1251	Industriegebäude	Industrie	74	
1252	Behälter, Silos und Lagergebäude	Industrie	58	0
1261	Gebäude für Kultur- und Freizeit Zwecke	Dienstleistungen	91	
1262	Museen / Bibliotheken	Dienstleistungen	147	
1263	Schul- und Hochschulgebäude, Forschungseinrichtungen	Dienstleistungen	124	
1264	Krankenhäuser und Facheinrichtungen des Gesundheitswesens	Dienstleistungen	89	
1265	Sporthallen	Dienstleistungen	82	
1271	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	Landwirtschaft	85	0
1272	Kirchen und sonstige Kulturgebäude	Dienstleistungen	169	0
1273	Denkmäler oder unter Denkmalschutz stehende Bauwerke	Dienstleistungen	0	0
1274	Sonstige Hochbauten, anderweitig nicht bekannt	Dienstleistungen	98	0
1275	Andere Gebäude für die kollektive Unterkunft	Dienstleistungen	104	
1276	Gebäude für die Tierhaltung	Landwirtschaft	0	0
1277	Gebäude für den Pflanzenbau	Landwirtschaft	0	0
1278	Andere landwirtschaftliche Gebäude	Landwirtschaft	0	0

Tabelle 10: Energiekennzahl [kWh/m²] pro Gebäudeklasse sowie Sektorzuteilung der Gebäudeklassen.

Für viele Nicht-Wohngebäude, fehlt die Information Wärmeerzeuger Heizung (GWAERZH1). Für grösstenteils unbeheizte Gebäudeklassen, wird der *Endenergiebedarf total für Wärmeerzeugung [MWh/a]* auf 0 gesetzt, wenn die Information Wärmeerzeuger Heizung (GWAERZH1) im GWR fehlt (siehe Tabelle 13, letzte Spalte). Für alle andere Klassen wird als Wärmeerzeuger Heizung (GWAERZH1) Öl angenommen, sofern diese Information im GWR fehlt. Dies resultiert vermutlich in einer Überschätzung der Treibhausgasemissionen, setzt jedoch einen Anreiz zur Korrektur bzw. Ergänzung der Datengrundlage.

Gebäudewärmebedarf

Der Modellansatz für Nicht-Wohngebäude resultiert in einer direkten Berechnung des Endenergiebedarfs für die Wärmeerzeugung. Für gewisse Fragestellungen wird jedoch eine Abschätzung des Gebäudewärmebedarfs (Nutzenergiebedarf) benötigt. Dieser lässt sich aus dem Endenergiebedarf und dem Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers abschätzen. Als Grundlage dienen dieselben Nutzungsgrade wie für Wohngebäude (Tabelle 5). Im Gegensatz zum Modell für Wohngebäude wird keine Unterscheidung zwischen Heiz- und Warmwasserbedarf gemacht.

$$Q_{h,ww} = F_w * E_{h,ww}$$

Mit

- $E_{h,ww}$: Endenergiebedarf (Heizen und Warmwasser) $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- $Q_{h,ww}$: Gebäudewärmebedarf (Heizen und Warmwasser) $\left[\frac{kWh}{a}\right]$
- F_w : Nutzungsgrad

Zeitreihen 2018 – 2022

Das Gebäudeenergiemodell für Nicht-Wohngebäude wurde 2023. Die Berechnung des Energieverbrauchs bzw. der Treibhausgasemissionen erfolgt seit 2023 auf Basis der jeweils aktuellsten GWR Einträgen mit dem GEM für Nicht-Wohngebäude.

Um eine Zeitreihe der Jahre 2018 – 2022 zu erhalten, wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt: Die CO₂-Emissionen der Jahren 2018-2022 wurden anhand dem Treibhausgasinventars der Schweiz extrapoliert, die Energieverbräuche anhand Gesamtenergiestatistik der Schweiz.

5.3 Treibhausgasemissionen Gebäude

Die Treibhausgasemissionen des Gebäudeparks (Wohn- und Dienstleistungsgebäude) werden auf Basis des modellierten Endenergieverbrauchs mit dem Gebäudeenergiemodell (GEM) berechnet. Die Methodik wird in Kapitel 5.2 beschrieben.

5.4 Energiebilanz Verbrauch Gebäude

Der totale Energieverbrauch der Wohn- und Dienstleistungsgebäude setzt sich aus dem Endenergiebedarf (Gebäudewärme und Warmwasser) und dem Stromverbrauch der Gebäude zusammen.

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf für Heizen und Warmwasser stammt aus dem GEM für Wohngebäude und für Nicht-Wohngebäude (Kapitel 5.2). Dabei ist zu beachten, dass die Sektoren Strom und Wärme nicht eindeutig trennbar sind, da Strom teilweise zur Wärmeerzeugung beiträgt (z.B. mittels Wärmepumpen). In der Gesamtenergiebilanz wird deshalb für alle Gebäude mit Heizsystem Wärmepumpe ein Anteil von 28% vom Gebäudewärmebedarf subtrahiert, da dieser auf Anteil auf den Stromverbrauch entfällt.

Stromverbrauch

Der Stromverbrauch von Haushalten und Gewerbe wird durch die Energieversorgungsunternehmen (EVU) gemeindescharf geliefert (Kapitel 5.9). Eine scharfe Sektorzuteilung zu den Sektoren Gebäude (Haushalte, Dienstleistungen) und Industrie ist nicht möglich, weshalb folgende vereinfachte Annahme getroffen wurde:

- Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe (Kleinkunden): Wohngebäude
- Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe (Grosskunden): Industrie

Gemäss dieser Vereinfachung werden dem Bereich Wohnen der Stromverbrauch der Kleinkunden (< 100 MWh pro Jahr) angerechnet, dem Bereich Industrie der Stromverbrauch der Grosskunden (> 100 MWh pro Jahr). Im Bereich Dienstleistungen werden hingegen keine Stromverbräuche bilanziert. In der Realität sind sowohl bei den Gross- wie auch Kleinkunden Dienstleistungsbetriebe enthalten. Entsprechend ist diese Zuteilung unscharf.

Eine weitere Abgrenzung muss zum Bereich Verkehr gemacht werden. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wird der Anteil des Stromverbrauchs (Elektromobilität) am Energieverbrauch des Verkehrssektors vom Stromverbrauch der Haushalte abgezogen.

5.5 Wärmebedarf Gebäude nach Kategorie

Der Wärmebedarf der Gebäude wird mit dem GEM für Wohngebäude und für Nicht-Wohngebäude ermittelt (Kapitel 5.2). Der Wärmebedarf kann jeweils separat für Wohngebäude und Dienstleistungsgebäude gezeigt werden und wird differenziert nach Energiequelle der Heizung dargestellt. Der Wärmebedarf umfasst sowohl den Heizwärmebedarf (vgl. 5.6) wie auch den Wärmebedarf für Warmwasser.

5.6 Wärmebedarf Gebäude nach Baujahr

Der Wärmebedarf der Wohngebäude wird mit dem GEM für Wohngebäude ermittelt (Kapitel 5.2). Der Wärmebedarf wird differenziert nach Baujahr für den aktuellen Gebäudebestand der Gemeinde ausgewiesen. Nicht-Wohngebäude werden in Grafik nicht dargestellt, da in der Wärmebedarfsmodellierung der Nicht-Wohngebäude keine Differenzierung nach Baujahr vorgenommen wird.

5.7 Energiequelle der Heizungen und Warmwasser Gebäude – pro Energieträger – erneuerbar / nicht erneuerbar

Informationen zur Energiequelle der installierten Heizungen stammen aus dem GWR. Die Datengrundlage dafür bilden die Attribute *Energiequelle Heizung (GENH1)* und *Wärmeerzeuger Heizung (GWARZH1)*. Bei mehreren Heizsystem wird das erste Heizsystem berücksichtigt. Die Daten werden einerseits pro Energieträger gezeigt, andererseits nach erneuerbar / nicht erneuerbar aufgeschlüsselt. Als erneuerbar gelten Holzheizung, Solaranlage, Fernwärme und Wärmepumpe; nicht erneuerbar sind Elektroheizungen/-boiler, Gasheizung sowie Ölheizung. Die Daten sind je nach Gemeinde unterschiedlich aktuell.

5.8 Energiebezugsfläche pro Einwohner:in

Die Energiebezugsfläche (EBF) pro Einwohner wird für alle Wohngebäude (GKLAS 1020, 1030) und Nicht-Wohngebäude (GKLAS 1040, 1060) ausgewiesen und anhand der Bevölkerung der Gemeinde auf die Einwohner heruntergebrochen. Die Berechnung der EBF der Wohngebäude erfolgt auf Basis der Wohnungsfläche, die Berechnung der EBF der Nicht-Wohngebäude auf Basis der Gebäudefläche und Anzahl Stockwerke (Kapitel 5.2).

5.9 Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe

Der Stromverbrauch von Haushalten und Gewerbe wird von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) als Netzbetreiber gemeindescharf geliefert. Die Daten beinhalten den gesamten Verbrauch auf dem Gemeindegebiet, auch wenn er von freien Kunden (über 100 MWh/a) von ortsfremden EVU eingekauft wird.

Die Aufteilung des Verbrauchs auf *kleine Verbraucher* und *grosse Verbraucher* machen die EVU entweder anhand ihrer Stromprodukte (z.B. Privatkunden, Geschäftskunden) oder anhand der gemessenen Verbrauchsmengen. Unter *kleine Verbraucher* fallen Grundsätzliche alle Kunden mit einem Stromverbrauch < 100 MWh pro Jahr, unter *grosse Verbraucher* alle freien Kunden mit einem Stromverbrauch > 100 MWh pro Jahr. Eine exakte Differenzierung zwischen Wohn-, Dienstleistungs- und Industriegebäude ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich.

Für die Publikation der Stromverbrauchsdaten herrscht aktuell die folgende Einschränkung: Wenn der Verbrauch in einer Gemeinde zu mehr als 80 Prozent durch einen Grossverbraucher bestimmt wird, liefert der Energieversorger keine Verbrauchsdaten und auch keine Angaben zum Strommix. Aus diesem Grund fehlen entsprechende Angaben zum Stromverbrauch für einzelne Gemeinden und sind entsprechend auch im Gesamtenergieverbrauch der Gemeinde nicht berücksichtigt.

5.10 Datenqualität

- **Energiequelle der Heizung:** Die Energiemerkmale im GWR sind je nach Gemeinde unterschiedlich aktuell. So werden Heizungswechsel nicht immer korrekt erfasst. Dies hat zur Folge, dass neben der *Energiequelle der Heizung* auch die aufbauenden Modellierungen (Gebäudewärmebedarf, CO₂-Emissionen) fehlerbehaftet sind. Es laufen verschiedenen Bestrebungen auf Stufe Bund, Kanton und Gemeinden um das GWR laufend zu verbessern.
- **Wärmebedarf:** Die benötigte Gebäudeheizwärme, wie sie hier abgeschätzt wird, ist als eine Eigenschaft des Gebäudes zu verstehen und nicht als Verbrauch, der u.a. vom Nutzerverhalten oder von den Heizgradtagen abhängt. Dagegen ist die Schätzung des Warmwasserverbrauchs eine Funktion der Anzahl aktuell im Gebäude als wohnhaft erfasster Personen.
- **Energiebezugsfläche:** Bei älteren Gebäuden, die noch nie einem Baugesuchsverfahren unterworfen waren, stammt die Angabe der Wohnfläche durch Deklaration der Gebäudeeigentümer anlässlich der Volkszählung 2000. Neuere Einträge stammen von den kommunalen Bauverwaltungen. Diese Einträge enthalten oft die Bruttogeschoss-

fläche und nicht die Wohnfläche, was zu kleineren systematischen Abweichungen dieses Parameters führen kann. Im Einzelfall kann die Schätzung ein Mehrfaches von der tatsächlichen EBF betragen.

6 Industrie

6.1 Kurzbeschreibung

Im Sektor Industrie werden die energiebedingten Treibhausgasemissionen aus der Erzeugung von Wärme für Heizung und Warmwasser sowie die Prozessenergie in der Industrie bilanziert. Zahlen zu den nicht energiebedingten Treibhausgasemissionen in der Industrie werden aktuell vernachlässigt, da diese im Kanton Luzern von untergeordneter Bedeutung sind. Die Energieverbräuche und daraus resultierenden Treibhausgasemissionen setzen sich aus Grossverbrauchern und kleineren Industriebetrieben zusammen.

Für die Grossverbraucher soll zukünftig auf das Grossverbrauchermonitoring des Kantons Luzern zurückgegriffen werden. Als Grossverbraucher gelten Energiebezüger, die einen jährlichen Elektrizitätsbedarf von mehr als 0.5 GWh (500'000 kWh) und / oder einen jährlichen Wärmebedarf von mehr als 5 GWh aufweisen. Eine Integration in das kantonale Klima- und Energieinformationssystem ist noch ausstehend, weshalb die Energie- und Treibhausgasbilanz die Grossverbraucher aktuell nicht umfasst. Auf Stufe Gemeinde dürfen diese Daten aus Datenschutzgründen nicht ausgewiesen werden.

Die Bilanzierung der kleinen Industriebetriebe erfolgt analog zu den Dienstleistungsgebäuden mit dem kantonalen Gebäudeenergiemodell (GEM) für Nicht-Wohngebäude (Gebäudeklasse Industrie). Die Modellierung für Industriegebäude ist jedoch stark vereinfacht und mit grossen Unsicherheiten verbunden. Es besteht aktuell auch noch keine scharfe Abgrenzung zwischen Grossverbrauchern und kleiner Industriebetriebe.

6.2 Treibhausgasemissionen Industrie (kleine Verbraucher)

Datengrundlagen

Die Modellierung der Treibhausgasemissionen der kleinen Industriebetriebe stützt sich auf die folgenden Datengrundlagen:

- **Merkmale des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR):** (Bundesamt für Statistik (BFS), 2024 a)
- **Energiekennzahlen:** Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) des Kantons Luzern.
- **Emissionsfaktoren:** Faktenblatt [CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz](#) (Bundesamt für Umwelt, 2018)

Methodik

Die Treibhausgasemissionen der Industriegebäude werden mit dem Gebäudeenergiemodell (GEM) für Nicht-Wohngebäude ermittelt. Die Emissionen werden auf Basis des Gebäudewärmebedarfs berechnet. Der Wärmebedarf wird für jedes im GWR verzeichnete Gebäude auf Grund der im GWR verzeichneten Merkmale abgeschätzt und für ein Gemeindegebiet beziehungsweise über das Kantonsgebiet subsumiert. Die Modellierungsmethodik wird in Kapitel 5.2 beschrieben.

Sektorzuteilung

Die Zuordnung zum Sektor Industrie erfolgt über die Gebäudeklasse (GKLAS) im GWR. Die nachfolgende Tabelle zeigt die im Sektor Industrie berücksichtigten Gebäudeklassen und deren Energiekennzahl.

GKLAS	Bezeichnung GKLAS	Bereich	Energiekennzahl
1242	Garagengebäude	Industrie	750 ⁴
1251	Industriegebäude	Industrie	74
1252	Behälter, Silos und Lagergebäude	Industrie	58

Tabelle 11: Energiekennzahl [kWh/m²] pro Gebäudeklasse im Bereich Industrie.

Eine weitere Differenzierung nach Art des Industriebetriebs konnte nicht gemacht werden, die die dafür notwendigen Datengrundlagen aus der Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) datenschutzrechtlich eingeschränkt sind.

Differenzierung nach Heizung, Warmwasser und Prozessenergie

Der modellierte Gebäudewärmebedarf für Nicht-Wohngebäude umfasst die Energie für die Beheizung, die Warmwasseraufbereitung und im Falle von Industriegebäuden die Prozessenergie. Da für diese Kategorien der Warmwasserverbrauch schwierig abzuschätzen ist, wird nur der *Endenergiebedarf total für Wärmeerzeugung [MWh/a]* geschätzt, und keine weitere Aufteilung in Warmwasserendenergie, Heizendenergie und Prozessenergie gemacht.

Bei der Modellentwicklung wurden verschiedene Ansätze zur Differenzierung zwischen Heizung, Warmwasser und Prozessenergie evaluiert, mussten aufgrund fehlender Datengrundlagen sowie der kleinen Stichprobe jedoch verworfen werden (HSLU, 2024). Schlussendlich wurde entschieden, eine Energiekennzahl auszuweisen, welche sowohl die Wärme für Heizung, Warmwasser und Prozessenergie beinhaltet. Es ist zu erwarten, dass der tatsächliche Energiebedarf eines Industriegebäudes je nach Art des Betriebs grosse Abweichungen zum hier ermittelten Bedarf aufweisen.

6.3 Energiebilanz Verbrauch Industrie

Der totale Energieverbrauch der Industriegebäude setzt sich aus dem Endenergiebedarf (Gebäudewärme, Warmwasser und Prozessenergie) und dem Stromverbrauch der Industriebetriebe.

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf für Heizen und Warmwasser stammt aus dem GEM für Nicht-Wohngebäude (Kapitel 5.2). Analog zu den Wohn- und Nichtwohngebäuden wird in der Gesamtenergiebilanz für alle Industriegebäude mit Heizsystem Wärmepumpe ein Anteil von 28% vom Gebäudewärmebedarf subtrahiert, da dieser auf Anteil auf den Stromverbrauch entfällt (Kapitel 5.4).

Stromverbrauch

Der Stromverbrauch von Haushalten und Gewerbe wird durch die Energieversorgungsunternehmen (EVU) gemeindescharf geliefert (Kapitel 5.9). Eine scharfe Sektorzuteilung zu den

⁴ Diese Zahl wird durch wenige Grossgaragen geprägt. Der Grossteil der Garagen wird jedoch nicht beheizt (kein Energieträger) und weist deshalb keinen Wärmebedarf auf.

Sektoren Gebäude (Haushalte, Dienstleistungen) und Industrie ist nicht möglich, weshalb folgende vereinfachte Annahme getroffen wurde:

- Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe (Kleinkunden): Wohngebäude
- Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe (Grosskunden): Industrie

Gemäss dieser Vereinfachung werden dem Bereich Wohnen der Stromverbrauch der Kleinkunden (< 100 MWh pro Jahr) angerechnet, dem Bereich Industrie der Stromverbrauch der Grosskunden (> 100 MWh pro Jahr). Im Bereich Dienstleistungen werden hingegen keine Stromverbräuche bilanziert. In der Realität sind sowohl bei den Gross- wie auch Kleinkunden Dienstleistungsbetriebe enthalten. Entsprechend ist diese Zuteilung unscharf.

6.4 Wärmebedarf Industriegebäude (kleine Verbraucher)

Der Wärmebedarf der Industriegebäude (nur kleine Verbraucher, keine Grossverbraucher) wird mit dem GEM für Nicht-Wohngebäude ermittelt (Kapitel 5.2). Der Wärmebedarf kann jeweils separat für Wohngebäude und Dienstleistungsgebäude gezeigt werden und wird differenziert nach Energiequelle der Heizung dargestellt. Der Wärmebedarf umfasst sowohl den Heizwärmebedarf (vgl. 5.6) wie auch den Wärmebedarf für Warmwasser.

6.5 Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe

Der Stromverbrauch von Haushalten und Gewerbe wird von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) als Netzbetreiber gemeinschaftlich geliefert. Es wird die gleiche Visualisierung wie im Sektor *Gebäude* dargestellt, weil im Stromverbrauch Haushalte und Gewerbe auch Stromverbräuche von Industriebetrieben erhalten sind (Kapitel 5.9).

6.6 Energiequelle Heizung und Warmwasser Industriegebäude (kleine Verbraucher) – pro Energieträger – erneuerbar /nicht erneuerbar

Informationen zur Energiequelle der installierten Heizungen der Industriegebäude stammen aus dem GWR. Die Datengrundlage dafür bilden die Attribute *Energiequelle Heizung (GENH1)* und *Wärmeerzeuger Heizung (GWARZH1)*. Bei mehreren Heizsystem wird das erste Heizsystem berücksichtigt. Die Daten werden einerseits pro Energieträger gezeigt, andererseits nach erneuerbar / nicht erneuerbar aufgeschlüsselt. Als erneuerbar gelten Holzheizung, Solaranlage, Fernwärme und Wärmepumpe; nicht erneuerbar sind Elektroheizungen/-boiler, Gasheizung sowie Ölheizung. Die Daten sind je nach Gemeinde unterschiedlich aktuell.

6.7 Datenqualität

- **Treibhausgasemissionen:** Die Treibhausgasbilanz für den Sektor Industrie ist zum aktuellen Zeitpunkt unvollständig, weil die grossen Verbraucher fehlen. Die modellierten Daten der kleinen Verbraucher sind ausserdem mit grossen Unsicherheiten verbunden, da die Modellierung des Energieverbrauchs einem stark vereinfachten Ansatz folgt.
- **Energiekennzahl:** Bei der Modellierung des Wärmeverbrauchs von Industrie- und Dienstleistungsgebäuden ist die Diversität der Betriebe, die in dieselbe Klasse fallen, sehr gross. Zum Beispiel ist je nach Industriezweig Prozesswärme vorhanden oder

nicht. Die hier verwendeten Energiekennzahlen erlauben jedoch keine Differenzierung zwischen verschiedenen Industriebetrieben. Damit pro Gebäude der Wärmebedarf genau modelliert werden könnte, müssten pro Gebäude bekannt sein, für welchen Zweck Wärme verwendet wird, womit die Aufteilung der Verbrauchsdaten erfolgen könnte.

7 Abfall

7.1 Kurzbeschreibung

Im Sektor Abfall werden Treibhausgasemissionen aus der Abfallbewirtschaftung bilanziert. Dabei handelt es sich um Emissionen aus Deponien, Abwasserreinigungsanlagen, der biologischen Verarbeitung (Vergärung/Kompostierung) und der übrigen Verbrennung (nicht energetisch genutzt). Treibhausgasemissionen aus der Abfallverbrennung, die bei der Verbrennung von Abfällen in Kehricht- und Sondermüllverbrennungsanlagen entstehen, werden in der kantonalen Bilanzierung ebenfalls dem Sektor Abfall zugeordnet. Im Treibhausgasinventar der Schweiz werden die Emissionen aus der Abfallverbrennung hingegen dem Sektor Industrie zugeordnet (Bundesamt für Umwelt, 2024 b).

Die Bilanzierung erfolgt territorial, das heisst, alle Emissionen werden dort bilanziert, wo sie entstehen. Aufgrund datenschutzrechtlicher Einschränkungen werden Emissionen aus Biogasanlagen nur auf Stufe Kanton ausgewiesen und nicht der jeweiligen Gemeinde zugewiesen. Ebenfalls werden die Emissionen aus der Abfallverbrennung nur auf kantonaler Stufe ausgewiesen, da diese gemäss dem Territorialprinzip nur einer einzelnen Gemeinde angerechnet würden.

Als zusätzliche Indikatoren werden die Abfallmengen pro Gemeinde ausgewiesen.

7.2 Treibhausgasemissionen Abfall

Datengrundlagen

Für die Modellierung der Treibhausgasemissionen aus dem Abfallsektor nutzt der Kanton Luzern die folgenden Datengrundlagen:

- **Abfallmengen Kehrichtverbrennungsanlagen:** Jahresbericht (Renergia Zentralschweiz AG, 2022)
- **Abfallmengen Kompostier- und Vergärungsanlagen:** Abfallstatistik (LUSTAT, Umwelt und Energie (uwe), 2022)
- **Emissionen, Emissionsfaktoren:** National Inventory Report / CRF tables (Table5, Table5b) (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2024 a)
- **Emissionsfaktoren Kehrichtverbrennungsanlagen:** [Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz](#) (Bundesamt für Umwelt, 2024 b)

Abfallverbrennung

Berechnung der Emissionen

Im Teilsektor Abfallverbrennung werden die Emissionen bilanziert, die bei der Verbrennung von Abfällen in Kehricht- und Sondermüllverbrennungsanlagen entstehen. Die CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung werden in zwei Kategorien unterteilt: Fossil, wenn der Kohlenstoff fossilen Ursprungs ist (Erdöl, Kohle, Erdgas) und biogen, wenn der Kohlenstoff pflanzlichen Ursprungs ist (Holz, Papier, Kautschuk). Emissionen durch die Verbrennung von biogenem Kohlenstoff gelten als klimaneutral, weshalb der fossile Anteil für die Treibhausgasbilanz massgebend ist. Der Anteil an fossilem Kohlenstoff im Abfall liegt für das Jahr 2020 bei 47.8%, d.h. nur 47.8% der CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung sind klimarelevant. Die Emissionen (CO₂) aus Kehrichtverbrennungsanlagen werden anhand der Menge an jährlich verbranntem Abfall sowie dem Emissionsfaktor der Abfallverbrennung berechnet.

$$EM_{CO_2, Abfallverbrennung, LU} = EF_{CO_2, Abfallverbrennung, fossil} * N_{Abfallverbrennung, LU} * Anteil_{fossil}$$

Mit

- $EM_{CO_2, Abfallverbrennung, Kanton}$ = CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung der KVA im Kanton Luzern
- $EF_{CO_2, Abfallverbrennung, fossil}$ = Emissionsfaktoren CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung des fossilen Anteils in KVA
- $N_{Abfallverbrennung, Kanton}$ = In KVA verbrannte Abfallmengen im Kanton Luzern
- $Anteil_{fossil}$ = Fossiler Anteil in der Abfallverbrennung

Abfallmengen

Der Kanton Luzern verfügt über eine Kehrichtverbrennungsanlage, die Renergia Zentralschweiz AG. Die in Kehrichtverbrennungsanlage verbrannten Abfälle werden jährlich im Jahresbericht ausgewiesen (Renergia Zentralschweiz AG, 2022). Für die Treibhausgasbilanzierung werden dem Territorialprinzip folgend alle verbrannten Abfälle berücksichtigt, auch wenn diese von ausserhalb des Kantonsgebiet eingeführt wurden.

Emissionsfaktoren

Es werden die durchschnittlichen Emissionsfaktoren der Abfallverbrennung in KVA (CO₂-Emissionen pro Tonne Abfall) verwendet (Bundesamt für Umwelt, 2024 b). Da nur Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Abfällen bilanziert werden, wird zusätzlich der fossile Anteil des Abfalls im Schweizer Mittel berücksichtigt.

Emissionen pro Gemeinde

Die Emissionen aus der Abfallverbrennung werden nur auf Stufe Kanton ausgewiesen.

Abwasserreinigung

Berechnung der Emissionen

In der Abwasserreinigung entstehen Methanemissionen (CH₄) und Lachgasemissionen (N₂O). Diese Emissionen werden im National Inventory Report (NIR) basierend auf der Anzahl der an eine ARA angeschlossenen Einwohnenden berechnet und skalieren somit mit der Bevölkerung. Zur Berechnung der Emissionen aus der Abwasserreinigung des Kantons und pro Gemeinde können deshalb die Emissionen des Bundes aus dem NIR anhand des Einwohneranteils des Kantons beziehungsweise der Gemeinde an der Gesamtbevölkerung der Schweiz heruntergebrochen werden.

Abfalldeponien

Berechnung der Emissionen

Seit dem Deponieverbot im Jahr 2000 werden keine brennbaren Abfälle mehr auf Deponien eingelagert. Die Abbauprozesse der bereits deponierten Abfälle setzen sich jedoch über viele Jahr fort. Die CH₄ Emissionen aus den Abfalldeponien stammen somit grösstenteils aus dem Abbauprozess der bereits vor dem Jahr 2000 deponierten Abfällen. Da diese Abfälle häufig in Siedlungsnähe deponiert wurden, werden die Emissionen (CH₄) aus dem Treibhausgasinventar basierend auf dem Bevölkerungsanteil pro Gemeinde gegenüber der Gesamtbevölkerung der Schweiz heruntergebrochen.

Biologische Verarbeitung

Berechnung der Emissionen

Im Teilbereich der biologischen Verarbeitung werden Methan- und Lachgasemissionen bilanziert, die bei der Gartenkompostierung, der industriellen Kompostierung und der Vergärung von Abfällen in Biogasanlagen entstehen.

Gartenkompostierung

Zur Berechnung der Emissionen aus der Gartenkompostierung werden die Emissionen aus dem NIR (Bericht, Table 7-13) proportional auf die Einwohnenden des Kantons bzw. die Gemeinden heruntergebrochen. Die Emissionen aus der Gartenkompostierung sind seit 10 Jahren ungefähr konstant und betragen für die Schweiz 100 t CH₄ und 5 t N₂O pro Jahr.

Kompostierung / Vergärung

Die Emissionen aus der industriellen Kompostierung und die Emissionen aus der Vergärung werden basierend auf den im Kanton Luzern verarbeiteten biogenen Abfällen in Kompostierungs- und Biogasanlagen sowie den Emissionsfaktoren aus dem NIR berechnet.

$$EM_{CH_4/N_2O, industrielleKompostierung} = EF_{CH_4/N_2O, industrielleKompostierung} * N_{kompostierteAbf\u00e4lle}$$
$$EM_{CH_4, Verg\u00e4rung} = EF_{CH_4, Verg\u00e4rung} * N_{verg\u00e4rteAbf\u00e4lle}$$

Mit

- $EM_{CH_4/N_2O, industrielleKompostierung}$ = Methan/Lachgas-Emissionen aus der industriellen Kompostierung
- $EF_{CH_4/N_2O, industrielleKompostierung}$ = Methan/Lachgas-Emissionsfaktoren industrielle Kompostierung
- $N_{kompostierteAbf\u00e4lle}$ = Menge an in industriellen Anlagen kompostierten biogenen Abf\u00e4llen (Feldrandkompostierung, Platzkompostierung, industrielle Kompostierung)
- $EM_{CH_4, Biogasanlagen}$ = Methanemissionen aus der Verg\u00e4rung
- $EF_{CH_4, Biogasanlagen}$ = Methan-Emissionsfaktoren Verg\u00e4rung
- $N_{verg\u00e4rteAbf\u00e4lle}$ = Menge an verg\u00e4rten biogenen Abf\u00e4llen (C-Verg\u00e4rung, Industrielle Verg\u00e4rung)

Biogene Abf\u00e4lle

F\u00fcr die Berechnung der Emissionen werden die total verarbeiteten biogenen Abf\u00e4lle und Hofd\u00fcnger (Input) der folgenden Anlagentypen ber\u00fccksichtigt:

- Kompostierung: Feldrandkompostierung, Platzkompostierung, industrielle Kompostierung
- Verg\u00e4rung: Co-Verg\u00e4rung, industrielle Verg\u00e4rung

Weil in den Inputdaten nicht zwischen industrieller Kompostierung und industrieller Verg\u00e4rung unterschieden wird, werden die Abfallmengen anhand der Outputs auf die zwei Verfahrenstypen verteilt. Dazu wird der Anteil an Kompost und G\u00e4rgut am totalen Output ermittelt. Anschliessend werden die Inputs anhand der entsprechenden Anteile (Anteil Kompost / Anteil G\u00e4rgut) auf die Verfahrenstypen (Kompostierung / Verg\u00e4rung) verteilt.

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren (CH₄ und N₂O in g/kg Abfall) werden j\u00e4hrlich aus dem NIR (Table5.B) bezogen. Es werden die Emissionsfaktoren der folgenden Unterkategorien verwendet:

- Kompostierung: 1. Composting
- Vergärung: 2. Anaerobic digestion at biogas facilities

Emissionen pro Gemeinde

Die Emissionen aus der Gartenkompostierung werden anhand der Bevölkerungszahlen auf die Gemeinden verteilt. Die Emissionen aus der industriellen Kompostierung und der Vergärung werden aus Datenschutzgründen nicht dem Standort der Kompostierungsanlage oder Biogasanlage zugeordnet, sondern nur auf kantonaler Stufe ausgewiesen.

Übrige Verbrennung (ohne energetische Nutzung)

Berechnung der Emissionen

In diesem Teilbereich werden CO₂, CH₄ und N₂O-Emissionen bilanziert, die bei der übrigen Verbrennung ohne energetische Nutzung entstehen. Dies beinhaltet Verbrennungen in Krematorien, Klärschlammverbrennungsanlagen und die illegale Verbrennung von Abfällen oder Garten- und Landwirtschaftsabfälle. Die Treibhausgasemissionen aus der übrigen Verbrennung sind von untergeordneter Bedeutung. Zur Ermittlung der Emissionen des Kantons und pro Gemeinde, werden die Emissionen aus dem NIR proportional anhand der Anzahl der Einwohnenden des Kantons/Gemeinde heruntergebrochen.

7.3 Abfallmenge

Als weiteren Indikator werden die Siedlungsabfälle [kg] aus der [Abfallstatistik des Kantons Luzern](#) ausgewiesen (LUSTAT, Umwelt und Energie (uwe), 2022). Die Daten zu den gesammelten Siedlungsabfällen werden differenziert nach Kategorie dargestellt. Die Daten werden durch die Abfallverbände erhoben und der Dienststelle Umwelt und Energie rapportiert.

Weil die aktuellen Zahlen keine Differenzierung nach Gemeinde ermöglichen, werden die Siedlungsabfälle anhand des Bevölkerungsanteils der Gemeinde am Kanton Luzern auf die Gemeinden verteilt. Dadurch lassen sich zum aktuellen Zeitpunkt keine gemeindespezifischen Rückschlüsse ziehen.

7.4 Datenqualität

- **Abfallverbrennung:** Die Treibhausgasbilanz der Abfallverbrennung stützt sich auf Bottom-up-Daten der Kehrichtverbrennungsanlage. Die Bilanz bildet die tatsächlichen Emissionen im Kanton Luzern gut ab.
- **Übrige Abfallbewirtschaftung:** Die Treibhausgasemissionen der übrigen Abfallbewirtschaftung reflektiert primär Änderung der Emissionen der Gesamtschweiz und kann somit keine lokalen Massnahmen zur Emissionsreduktion abbilden.

8 Energieversorgung

8.1 Kurzbeschreibung

Im Bereich *Energieversorgung* wird aufgezeigt, wie viel erneuerbare Energie im Kanton Luzern produziert wird. Die Ausbaupfade aus dem Fachbericht [Potenziale der erneuerbaren Energieproduktion im Kanton Luzern](#) (Kanton Luzern, 2024) sollen in einem nächsten Ausbauschnitt ergänzt werden.

Der Bereich *Energieversorgung* zeigt Daten zur Stromproduktion im Kanton Luzern, die installierte Leistung, das Potenzial für Photovoltaik, der Anteil der Energieproduktion an Verbrauch sowie den Verbrauchermix des Stromversorgers. Bei den Daten zur Energieversorgung handelt es sich um Anlagen-, Produkt- und Messdaten, die von externen Datenlieferanten bereitgestellt werden.

8.2 Installierte Leistung Strom

Daten zu der installierten Leistung werden von Pronovo geliefert. Datenbasis sind alle Elektrizitätsproduktionsanlagen, die im schweizerischen Herkunftsnachweissystem (HKN) registriert sind. Im HKN-System werden alle Anlagen geführt, die Herkunftsnachweispflichtig sind (über 30 kW Leistung), eine Einspeisevergütung erhalten (KEV etc.) oder freiwillig Herkunftsnachweise beziehen. Umgekehrt bedeutet das, dass ein Teil der kleineren Produktionsanlagen fehlen kann. Da das HKN-System keine Zuordnung nach politischen Gemeinden kennt, werden die Anlagen via PLZ den Gemeinden zugeordnet. Bei Postleitzahlen, welche sich über mehrere Gemeinden erstrecken, findet die Zuordnung der PV-Leistungen und -Erträge proportional zur Gebäudeflächen der jeweiligen Gemeinden.

8.3 Stromproduktion

Die Stromproduktionsdaten stammen wie die Leistungen auch aus dem Herkunftsnachweissystem von Pronovo. Bei den Produktionsmengen handelt es sich um die Netto-Einspeisung ins Verteilnetz. Der Eigenverbrauch ist in den Angaben nicht enthalten. Die Messung der Produktionsmengen kann je nach Anlage zeitlich anders aufgelöst sein. Im Dashboard wird für alle Anlagen die aufsummierte Jahresproduktion angegeben.

8.4 Potenzial Photovoltaik pro Einwohner

Das Potenzial für Photovoltaik stammt aus dem [Solarpotenzialkataster](#) (Bundesamt für Energie (BFE), 2024). Es wird nur das Potenzial auf den Dächern berücksichtigt, Potenziale auf Fassaden oder Freiflächen werden hingegen nicht ausgewiesen. Der Bund stellte ein aggregiertes Solarpotenzial pro Gemeinde zur Verfügung, bei dem nur das technisch und wirtschaftlich nutzbare Potenzial berücksichtigt wird (Energieschweiz, 2024). Die ausgewiesenen Potenziale pro Dachfläche aus dem Solarkataster sind aufgrund von LIDAR-Flugdaten generierte Annahmen. Für Einzeldächer sind diese nur bedingt aussagekräftig. Als Mittel über Gemeinden gibt der Solarkataster eine gute Orientierung, insbesondere in Relation zum bisher erschlossenen Potenzial. Zur Berechnung des Potenzials für Photovoltaik pro Einwohner werden alle Flächen pro Gemeinde aufsummiert und das Potenzial durch die Anzahl Bewohner geteilt.

8.5 Anteil Stromproduktion am Verbrauch von Haushalten und Gewerbe

Als Indikator für die Eigenversorgung mit lokal produziertem Strom in der Jahresbilanz wird der gesamte im Jahr auf dem Gemeindegebiet ins Verteilnetz eingespeiste Strom (ohne direkten Eigenverbrauch, vgl. 8.3) durch den Verbrauch von Kunden unter 100 MWh pro Jahr (Kleinkunden) geteilt. Somit ergibt sich ein zwischen den Gemeinden vergleichbarer Anteil an der Eigenversorgung, unabhängig vom Anteil grosser Verbraucher in der Gemeinde. Aus Datenschutzgründen wird der Stromverbrauch in Gemeinden, bei denen ein Grossverbraucher über 80% des Verbrauchs ausmacht.

8.6 Verbrauchermix des Stromversorgers

Mit der Stromkennzeichnung (Pronovo, 2024) müssen alle Energieversorgungsunternehmen den Verbrauchermix pro Jahr deklarieren. Im Dashboard wird jeweils der Strommix der gebundenen Kunden angegeben, welche ihren Strom beim für das Konzessionsgebiet zuständigen Netzbetreiber beziehen. Eine Aussage zum Strommix der freien Kunden ist derzeit nicht möglich. Aus Datenschutzgründen wird der Strommix in Gemeinden, bei denen ein Grossverbraucher über 80% des Verbrauchs ausmacht, nicht angegeben.

8.7 Datenqualität

- **Energieversorgung:** Alle Informationen zur Energieproduktion stützen sich auf tatsächliche Anlagen- oder Messwerte ab und weisen eine hohe Datenqualität auf.
- **Gemeindesicht:** Wie oben beschrieben lassen sich einzelne Daten nicht in jedem Fall eindeutig auf die Gemeinden zuteilen, wodurch kleine Ungenauigkeiten durch die Zuteilung entstehen.

9 LULUCF

9.1 Kurzbeschreibung

Der Sektor LULUCF (land use, land use change and forestry) umfasst die Emissionen aus der Bewirtschaftungsart und dem Wechsel der Bewirtschaftung der Landschaft. Der Sektor LULUCF setzt sich aus den CO₂-Senken und Quellen durch die Landnutzung und Waldbewirtschaftung sowie aus der Speicherung von CO₂ in Holzprodukten zusammen. Die Landschaft fungiert dabei als CO₂-Senke, wenn CO₂ aus der Atmosphäre entnommen und im Boden oder als Biomasse (Wald) eingespeichert wird und als Quelle, wenn CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt wird. Emissionen aus der Bewirtschaftungsänderung (z.B. Wechsel zu Ackerland) werden im Sektor LULUCF bilanziert. Auch Änderungen der Kohlenstoffspeicherung landwirtschaftlicher Flächen fließt in den Sektor LULUCF ein. Lachgas- und Methanemissionen aufgrund Düngung von Ackerflächen und Grünland werden hingegen im Sektor Landwirtschaft verbucht.

In der Schweiz halten sich die Quellen und Senken im langfristigen Mittel in etwa im Gleichgewicht, das heisst, es entstehen langfristig keine LULUCF-Emissionen. Der Sektor ist jedoch jährlichen Schwankungen unterworfen, welche primär durch Schwankungen im Waldspeicher geprägt sind. Die Waldbewirtschaftung führt in den meisten Jahren zu einem Aufbau des Kohlenstoffspeichers, während in Jahren mit Unwetterereignissen grössere Mengen an Kohlenstoff wieder entweichen.

Der Kanton Luzern verfügt über kein Reduktionsziel für diesen Sektor. Die LULUCF Emissionen werden deshalb nicht in der Treibhausgasbilanz dargestellt. Die Emissionen werden allerdings jährlich mit dem Indikator *KS-W-11 LULUCF-Emissionen* im Handlungsfeld Klimaschutz Waldwirtschaft ausgewiesen.

9.2 Treibhausgasemissionen

Datengrundlage

Der Kanton Luzern stützt sich im Sektor LULUCF auf folgende Datengrundlage:

- **Nichtenergetische Emissionen Landnutzung:** Ecospeed Region, kantonale Aufschlüsselung durch Meteotest (Meteotest im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 2017).

Methodik

In der nationalen Treibhausgasbilanz werden die Daten aus dem Sektor LULUCF aggregiert und der Raumbezug geht verloren. Die CO₂-Emissionen aus dem Treibhausgasinventars 1990-2015 wurden jedoch im Auftrag des BAFU durch Meteotest auf die Kantone aufgeschlüsselt (Meteotest im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 2017). Ecospeed Region bezieht regelmässig die desaggregierten Zahlen von Meteotest und stellt diese den Kantonen zur Verfügung. Weil eine bottom-up Bilanzierung der LULUCF-Emissionen für den Kanton Luzern sehr aufwändig wäre, werden für die kantonale Bilanz die Daten über Ecospeed Region bezogen.

Die räumliche Aufschlüsselung auf die Kantonsgebiete erfolgte auf Basis der GIS-Daten, die zur räumlichen Stratifizierung der LULUCF-Berechnungen des Bundes verwendet wurden. Die

Emissionen aus dem nationalen Treibhausgasinventar aus dem Sektor Landnutzung wurden wie folgt kantonal aufgeschlüsselt:

- Kategorie A4 Wald: Die CO₂-Senken/Quellen des produktiven Waldes wurden in drei Höhenstufen und fünf LFI-Regionen (insgesamt 15 Straten) aufgeteilt. Die Emissionen wurden proportional zu den kantonalen Waldflächen-Anteilen pro Stratum verteilt.
- Kategorien 4B – 4F (Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen): Für diese Kategorien wurden die CO₂-Quellen und Senken für mineralische und organischen Böden anhand den kantonalen Flächenanteile an organischem und mineralischem Boden in den Landnutzungskategorien Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen auf die Kantone verteilt.
- Kategorie 4G Holzprodukte: Die CO₂-Senken und Quellen aus Holzprodukten wurden proportional zur Bevölkerung auf die Kantone verteilt.

9.3 Datenqualität

- **Nationales Treibhausgasinventar:** Grössere Unsicherheiten bestehen bereits in der Methodik des Treibhausgasinventars der Schweiz. Die Emissionen des Treibhausgasinventars werden anhand von Mittelwerten pro Stratum (Region, Höhenstufe, Bodentyp) ermittelt, wobei die tatsächlichen Werte pro Teilfläche stark abweichen können. Insbesondere können lokale Sturmschäden im Wald zu grösseren Abweichungen von den schweizweiten Mittelwerten führen.
- **Kantonale Treibhausgasemissionen:** Die kantonalen Emissionen folgen primär der schweizweiten Entwicklung. Kantonalen Unterschiede in der Holzernte sowie die unterschiedlichen Bestandesstrukturen werden in der Bilanzierung nicht berücksichtigt.

10 Referenzen

- Agroscope. (18. 04 2024). *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD)*. Von <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/pflanzenbau/ackerbau/Pflanzenernaehrung/grud.html> abgerufen
- Bundesamt für Energie (BFE). (28. 06 2024). *Sonnendach*. Von <https://www.uveg-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/?lang=de> abgerufen
- Bundesamt für Statistik (BFS). (26. 06 2024 a). *Gebäude- und Wohnungsregister (GWR)*. Von <https://www.housing-stat.ch/de/index.html> abgerufen
- Bundesamt für Statistik (BFS). (18. 06 2024 b). *Landwirtschaftliche Betriebe und Nutztiere auf Klassifizierungsebene 3 nach Kanton*. Von https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0702000000_108/-/px-x-0702000000_108.px/ abgerufen
- Bundesamt für Statistik (BFS). (18. 06 2024 c). *Beschäftigte, Landwirtschaftliche Betriebe, Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und Nutztiere auf Klassifizierungsebene 1 nach institutionellen Gliederungen*. Von https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0702000000_104/-/px-x-0702000000_104.px/ abgerufen
- Bundesamt für Strassen (ASTRA). (17. 06 2024). *Fahrzeugdaten*. Von <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/dokumentation/daten-informationsprodukte/fahrzeugdaten.html> abgerufen
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2024 a). *National Inventory Report, CRF Tables*. Von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/climate-reporting/ghg-inventories/latest.html> abgerufen
- Bundesamt für Umwelt. (2018). *Faktenblatt: CO₂-Emissionsfaktoren für die Berichterstattung der Kantone*. Von https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjlpSDco_6GAxVSg_0HHb6HAQsQFnoECBwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bafu.admin.ch%2Fdam%2Fbafu%2Fen%2Fdokumente%2Fklima%2Ffachinfo-daten%2FEF_CO2_Berichterstattung_Kantone.pdf.download.pdf%2F abgerufen
- Bundesamt für Umwelt. (17. 06 2024 b). *Treibhausgasinventar der Schweiz*. Von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html> abgerufen
- Dommann, R. (2015). *Ermittlung von Energiekennzahlen*. Martinelli + Menti AG.
- Energieschweiz. (26. 07 2024). *Solarpotenzial von Schweizer Gemeinden*. Von <https://www.energieschweiz.ch/tools/solarpotenzial-gemeinden/> abgerufen
- European Environment Agency. (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023*. doi:10.2800/79573
- ICCT. (2017). *From laboratory to road international, White Paper Nov. 2017, International Council on Clean Transportation*.
- Infras. (17. 06 2024). *Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs*. Von <https://www.hbefa.net/de/startseite> abgerufen
- Infras. (2024). *Verkehrsemissionen im Kanton Luzern Jahr 2022*. Von https://klima.lu.ch/-/media/Klima/Dokumente/Klimakarten/7519a_Verkehrsemissionen_Kt_LU_2022.pdf?rev=d897a003d0854250aa3bc21829531d56 abgerufen
- Kanton Luzern. (2020). *Gesamtverkehrsmodell Kanton Luzern (GVM-LU)*. Von https://vif.lu.ch/-/media/VIF/Dokumente/mobilitaet/strategische_planung/gesamtverkehrsmodell/gesamtverkehrsmodell_kanton_luzern.pdf abgerufen

- Kanton Luzern. (2021). *Planungsbericht B 87 Klima- und Energiepolitik 2021 des Kantons Luzern*. Luzern. Von https://newsletter.lu.ch/files/SK/Mitteilungen%202021/10_Okt/20211018_B87.pdf abgerufen
- Kanton Luzern. (2023). *Monitoring Klima und Energie 2022*. Von https://klima.lu.ch/-/media/Klima/Dokumente/Bericht_Monitoring_Klima_und_Energie_2022_V2.pdf?rev=8070fc1da0ce4d719ae055d5eee8980f abgerufen
- Kanton Luzern. (2024). *Potenziale der erneuerbaren Energieproduktion im Kanton Luzern*. Von https://klima.lu.ch/-/media/Klima/Dokumente/FachberichtPotenziale_2024_06_03.pdf?rev=c2a0bfd8574d4b85ba430d306797d0b0 abgerufen
- Kulawik, M., & Bucher, P. (2013). *Gebäude-Heizenergiebedarf*. Umwelt und Energie (uwe), Kanton Luzern.
- LUSTAT, Umwelt und Energie (uwe). (2022). *Abfallstatistik*. Luzern. Von <https://www.lustat.ch/analysen/objekt?id=4572> abgerufen
- Meteotest im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). (2017). *Kantonale Emissionen: CO2 (Sektor LULUCF) und N2O. Berechnung der kantonalen Anteile am schweizerischen Treibhausgasinventar*.
- Meyer, M., Schneeberger, S., & Schütz, P. (2024). *Wärmebedarfsmodellierung Kanton Luzern*. Luzern: Hochschule Luzern (HSLU).
- Nipkow, J. (2013). *Typischer Haushalt-Stromverbrauch*. Bundesamt für Energie.
- Nötzli, D. (2003). *Energieflüsse im Gebäude*. Bundesamt für Energie.
- Pronovo. (26. 07 2024). *Stromkennzeichnung*. Von <https://www.strom.ch/de/service/stromkennzeichnung> abgerufen
- Rennergia Zentralschweiz AG. (2022). *Aktueller JAhrresbericht*. Perlen. Von <https://www.renergia.ch/unternehmen/geschaeftsberichte> abgerufen

Anhang I: Nutzungsgrade

Standard-Nutzungsgrade für Heizsysteme GWR 4.1 Heizung																						
		Kein Wärmeerzeuger	Wärmepumpe für ein Gebäude	Wärmepumpe für mehrere Gebäude	Thermische Solaranlage für ein Gebäude	Thermische Solaranlage für mehrere Gebäude	Heizkessel (generisch) für ein Gebäude	Heizkessel (generisch) für mehrere Gebäude	Heizkessel nicht kondensierend für ein Gebäude	Heizkessel nicht kondensierend für mehrere Gebäude	Heizkessel kondensierend für ein Gebäude	Heizkessel kondensierend für mehrere Gebäude	Ofen	Wärmekraftkopplungsanlage für ein Gebäude	Wärmekraftkopplungsanlage für mehrere Gebäude	Elektrospeicher-Zentralheizung für ein Gebäude	Elektrospeicher-Zentralheizung für mehrere Gebäude	Elektro direkt	Wärmetauscher (einschliesslich für Fernwärme) für ein Gebäude	Wärmetauscher (einschliesslich für Fernwärme) für mehrere Gebäude	Andere	NA
		7400	7410	7411	7420	7421	7430	7431	7432	7433	7434	7435	7436	7440	7441	7450	7451	7452	7460	7461	7499	NA
Keine	7500	0.00																				
Luft	7501	0.00	2.80	2.80															1.00	1.00		
Erdwärme (generisch)	7510	0.00	3.50	3.50															1.00	1.00		
Erdwärmesonde	7511	0.00	3.50	3.50															1.00	1.00		
Erdregister	7512	0.00	2.90	2.90															1.00	1.00		
Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser)	7513	0.00	2.70	2.70															1.00	1.00		
Gas	7520	0.00	1.40	1.40			0.95	0.95	0.85	0.85	0.95	0.95	0.75	0.50	0.50				1.00	1.00		
Heizöl	7530	0.00					0.90	0.90	0.85	0.85	0.91	0.91	0.75	0.50	0.50				1.00	1.00		
Holz (generisch)	7540	0.00					0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.50	0.50				1.00	1.00		
Holz (Stückholz)	7541	0.00					0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.50	0.50				1.00	1.00		
Holz (Pellets)	7542	0.00					0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.50	0.50				1.00	1.00		
Holz (Schnitzel)	7543	0.00					0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.50	0.50				1.00	1.00		

Abwärme (innerhalb des Gebäudes)	7550	0.00																			1.00	1.00
Elektrizität	7560	0.00	2.80	2.80									1.00			0.93	0.93	1.00			0.93	0.93
Sonne (thermisch)	7570	0.00			1.00	1.00													1.00	1.00	1.00	1.00
Fernwärme (generisch)	7580	0.00	3.50	3.50															1.00	1.00		
Fernwärme (Hochtemperatur)	7581	0.00																	1.00	1.00	1.00	1.00
Fernwärme (Niedertemperatur)	7582	0.00	3.50	3.50															1.00	1.00	1.00	1.00
Unbestimmt	7598	0.00	2.70	2.70	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.50	0.50	0.93	0.93	1.00	1.00	1.00		
Andere	7599	0.00	2.70	2.70	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.50	0.50	0.93	0.93	1.00	1.00	1.00		
NA	NA	0.00	2.70	2.70	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.50	0.50	0.93	0.93	1.00	1.00	1.00		

Standard-Nutzungsgrade für Wassererwärmer GWR 4.1 Warmwasser			Kein Wärmeerzeuger	Wärmepumpe	Thermische Solaranlage	Heizkessel (generisch)	Heizkessel nicht kondensierend	Heizkessel kondensierend	Wärmekraftkopplungsanlage	Zentraler Elektroboiler	Kleinboiler	Wärmetauscher (einschliesslich für Fernwärme)	Andere	NA
		7600	7610	7620	7630	7632	7634	7640	7650	7651	7660	7699	NA	
Keine	7500	0.00												
Luft	7501	0.00	2.80								1.00			
Erdwärme (generisch)	7510	0.00	3.50								1.00			
Erdwärmesonde	7511	0.00	3.50								1.00			
Erdregister	7512	0.00	2.70								1.00			
Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser)	7513	0.00	2.80								1.00			
Gas	7520	0.00	1.40		0.95	0.85	0.92	0.50			1.00			
Heizöl	7530	0.00			0.90	0.85	0.88	0.50			1.00			
Holz (generisch)	7540	0.00			0.80	0.80	0.80	0.50			1.00			
Holz (Stückholz)	7541	0.00			0.80	0.80	0.80	0.50			1.00			

Holz (Pellets)	7542	0.00			0.85	0.85	0.85	0.50			1.00		
Holz (Schnitzel)	7543	0.00			0.80	0.80	0.80	0.50			1.00		
Abwärme (innerhalb des Gebäudes)	7550	0.00										1.00	1.00
Elektrizität	7560	0.00	2.80						0.90	1.00		0.90	0.90
Sonne (thermisch)	7570	0.00		1.00							1.00		
Fernwärme (generisch)	7580	0.00	3.50								1.00	1.00	1.00
Fernwärme (Hochtemperatur)	7581	0.00									1.00	1.00	1.00
Fernwärme (Niedertemperatur)	7582	0.00	3.50								1.00	1.00	1.00
Unbestimmt	7598	0.00	2.70	1.00	0.80	0.80	0.80	0.50	0.90	1.00	1.00		
Andere	7599	0.00	2.70	1.00	0.80	0.80	0.80	0.50	0.90	1.00	1.00		
NA	NA	0.00	2.70	1.00	0.80	0.80	0.80	0.50	0.90	1.00	1.00		

Quellenangaben

e4plus AG	
GEM 3.7	
erneuerbar heizen	
EN-101	
Minergie	

Anhang II: CO₂-Emissionsfaktoren

CO ₂ -Emissionskoeffizienten für Heizsysteme GWR 4.1																							
			Kein Wärmeerzeuger	Wärmepumpe für ein Gebäude	Wärmepumpe für mehrere Gebäude	Thermische Solaranlage für ein Gebäude	Thermische Solaranlage für mehrere Gebäude	Heizkessel (generisch) für ein Gebäude	Heizkessel (generisch) für mehrere Gebäude	Heizkessel nicht kondensierend für ein Gebäude	Heizkessel nicht kondensierend für mehrere Gebäude	Heizkessel kondensierend für ein Gebäude	Heizkessel kondensierend für mehrere Gebäude	Ofen	Wärmekraftkopplungsanlage für ein Gebäude	Wärmekraftkopplungsanlage für mehrere Gebäude	Elektrospeicher-Zentralheizung für ein Gebäude	Elektrospeicher-Zentralheizung für mehrere Gebäude	Elektro direkt	Wärmetauscher (einschliesslich für Fernwärme) für ein Ge- bäude	Wärmetauscher (einschliesslich für Fernwärme) für mehrere Gebäude	Andere	NA
			7400	7410	7411	7420	7421	7430	7431	7432	7433	7434	7435	7436	7440	7441	7450	7451	7452	7460	7461	7499	NA
Keine	7500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luft	7501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdwärme (generisch)	7510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdwärmesonde	7511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdregister	7512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwas- ser)	7513	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas	7520	0	203	203	0	0	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203	0	0	0	203	203	203	20
Heizöl	7530	0	0	0	0	0	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	0	0	0	265	265	265	26
Holz (generisch)	7540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Holz (Stückholz)	7541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Holz (Pellets)	7542	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Holz (Schnitzel)	7543	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abwärme (innerhalb des Gebäudes)	7550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrizität	7560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonne (thermisch)	7570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme (generisch)	7580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme (Hochtemperatur)	7581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme (Niedertemperatur)	7582	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unbestimmt	7598	0	0	0	0	0	265	265	265	265	265	265	265	203	203	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere	7599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA	NA	0	0	0	0	0	265	265	265	265	265	265	265	203	203	0	0	0	0	0	0	0	0

CO ₂ -Emissionskoeffizienten für Wassererwärmer 4.1			Kein Wärmeerzeuger	Wärmepumpe	Thermische Solaranlage	Heizkessel (generisch)	Heizkessel nicht kondensierend	Heizkessel kondensierend	Wärmekraftkopplungsanlage	Zentraler Elektroboiler	Kleinboiler	Wärmetauscher (einschliesslich für Fernwärme)	Andere	NA
		7600	7610	7620	7630	7632	7634	7640	7650	7651	7660	7699	NA	
Keine	7500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Luft	7501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Erdwärme (generisch)	7510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Erdwärmesonde	7511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Erdregister	7512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser)	7513	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gas	7520	0	203	0	203	203	203	203	0	0	203	203	203	
Heizöl	7530	0	0	0	265	265	265	265	0	0	265	265	265	
Holz (generisch)	7540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Holz (Stückholz)	7541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Holz (Pellets)	7542	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Holz (Schnitzel)	7543	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Abwärme (innerhalb des Gebäudes)	7550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrizität	7560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonne (thermisch)	7570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme (generisch)	7580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme (Hochtemperatur)	7581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme (Niedertemperatur)	7582	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unbestimmt	7598	0	0	0	265	265	265	203	0	0	0	265	0	0
Andere	7599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA	NA	0	0	0	265	265	265	203	0	0	0	0	0	0

Quellenangaben

Emissionsfaktoren ge- mäss CO ₂ -Gesetz	
---	--