



INSTITUT FÜR ENERGIE-  
UND UMWELTFORSCHUNG  
HEIDELBERG

# Kommunale Energie- und Treibhausgasbilanzierung in Frankfurt am Main

---

Beschreibung der Methodik  
der kommunalen Treibhausgasbilanzierung in  
Frankfurt und Darstellung aktueller Ergebnisse für das  
Bilanzjahr 2021 und Entwicklungen

Heidelberg, Dezember 2023

---





# Inhalt

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2 Grundlagen der Energie- und THG-Bilanzierung nach BSKO</b> | <b>4</b>  |
| 2.1 Allgemeine Grundlagen                                       | 4         |
| 2.1.1 Bilanzierungsprinzip                                      | 4         |
| 2.1.2 THG-Emissionsfaktoren                                     | 5         |
| 2.1.3 Datengüte   | 5         |
| 2.2 Bilanzierung im stationären Bereich                         | 6         |
| 2.2.1 Datenquellen für die Bilanzierung im stationären Bereich  | 6         |
| 2.2.2 Definition von Verbrauchssektoren                         | 7         |
| 2.2.3 THG-Emissionsfaktoren                                     | 8         |
| 2.2.4 Allokation von Koppelprodukten                            | 11        |
| 2.2.5 Witterungskorrektur                                       | 11        |
| 2.3 Bilanzierung im Sektor Verkehr                              | 12        |
| 2.3.1 Methodische Aspekte                                       | 12        |
| 2.3.2 Datenquellen für die Bilanzierung im Verkehr              | 13        |
| <b>3 Aktuelle Bilanzergebnisse</b>                              | <b>16</b> |
| 3.1 Endenergieverbrauch der Stadt Frankfurt a. M. 2021          | 16        |
| 3.2 THG-Emissionen der Stadt Frankfurt a. M. 2021               | 17        |
| 3.3 Entwicklung der Energie- und THG-Bilanz in Frankfurt a. M.  | 18        |
| 3.3.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs 1995 bis 2021        | 18        |
| 3.3.2 Entwicklung der THG-Emissionen 1995-2021                  | 19        |
| <b>4 Nachrichtliche Informationen</b>                           | <b>21</b> |
| <b>Anhang</b>   | <b>23</b> |
| Berechnung des Territorialmix Strom                             | 23        |
| Berechnung der exergetischen Allokation                         | 24        |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                     | <b>26</b> |

# 1 Einleitung

---

## Kommunale Energie- und THG-Bilanzen als Monitoring-Tool

Energie- und Treibhausgas(THG)-Bilanzen bilden die Basis des quantitativen Monitorings und Controllings beim Klimaschutz von Kommunen. Die Bilanzen geben einen Überblick über die Verteilung der Energieverbräuche und THG-Emissionen nach verschiedenen Sektoren (z. B. Private Haushalte, Gewerbe, Industrie) und Energieträgern (z. B. Öl, Gas, Strom) in einer Kommune und helfen dabei über Jahre hinweg die langfristigen Tendenzen des Energieeinsatzes und der THG-Emissionen aufzuzeigen. Zur Darstellung dieser Entwicklungen sollten Energie- und THG-Bilanzen auf Ebene des gesamten kommunalen Gebietes (für alle Sektoren) mindestens alle fünf Jahre, besser alle drei Jahre<sup>1</sup> fortgeschrieben werden.

Die Bilanzdaten sind zudem eine wesentliche Voraussetzung für die Darstellung von Klimaschutzindikatoren. Anhand der Indikatoren werden die Ergebnisse der Bilanz ins Verhältnis zu kommunalen Strukturdaten gesetzt und sind somit besser interpretierbar und für den Vergleich mit anderen Kommunen nutzbar. Zudem können verschiedene Unterziele (z. B. Anteil erneuerbarer Energien) festgelegt und der Grad der Zielerreichung kontrolliert werden.

Neben der Bilanz erstellt das Klimareferat regelmäßig den Klimaschutzbericht, in dem die Aktivitäten aller Akteure im Stadtgebiet dargestellt werden.

Der vorliegende Bericht basiert auf der vom ifeu-Institut entwickelten Bilanzierungssystematik Kommunal (BISKO), welche auch Grundlage für die Energie- und THG-Bilanzierung der Stadt Frankfurt ist. Der BISKO-Standard wurde im Rahmen des Projekts „Klimaschutz-Planer“ entwickelt. Mit Hilfe des Standards sollte im vom Bundesumweltministerium geförderten Projekt eine Vereinheitlichung der Bilanzierungsmethoden stattfinden, da kommunale Energie- und Treibhausgasbilanzen bis zu diesem Zeitpunkt noch mit sehr unterschiedlichen Methoden erstellt wurden. Der Standard ist seit 2015 veröffentlicht und wird regelmäßig aktualisiert. Alle gängigen Bilanzierungs-Softwares in Deutschland können nach BISKO bilanzieren und mehr und mehr Kommunen bilanzieren nach diesem<sup>2</sup>. Seit April 2023 wird BISKO seitens der Agentur für kommunalen Klimaschutz betreut und entsprechend gefördert.

Im Folgenden wird die Methodik sowohl für den stationären Energiebereich (ohne Verkehr) als auch für den Verkehr kurz allgemein vorgestellt. Darauf aufbauend wird erläutert, wie dies in der Energie- und THG-Bilanz der Stadt umgesetzt wurde (jeweils als Infobox). Abschließend werden die Ergebnisse, welche sich dadurch ergeben, präsentiert.

---

<sup>1</sup> Bei Großstädten mit entsprechenden Kapazitäten kann auch eine Bilanzierung alle zwei Jahre angestrebt werden.

<sup>2</sup> Zuletzt ca. 500 Kommunen (vgl. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc\\_19-2020\\_endbericht\\_sv-gutachten\\_bisko.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_19-2020_endbericht_sv-gutachten_bisko.pdf))

## 2 Grundlagen der Energie- und THG-Bilanzierung nach BSKO

---

### 2.1 Allgemeine Grundlagen

#### 2.1.1 Bilanzierungsprinzip

Bei der Wahl des Bilanzierungsprinzips für Treibhausgasbilanzen eines bestimmten Gebietes wird in der Regel der territoriale Ansatz gewählt. Dies bedeutet, dass alle Emissionen innerhalb des betrachteten Territoriums berücksichtigt werden.

Auf kommunaler Ebene wird ebenfalls das Territorialprinzip verfolgt, allerdings wird im Bereich des Strom- und Fernwärmeverbrauchs vom klassischen Ansatz des Emissionskatasters (Quellenbilanz) zu Gunsten einer Verursacherbilanz abgewichen<sup>3</sup>. Im BSKO-Harmonisierungsprozess bestand Konsens über die Nutzung dieses Ansatzes, der im Praxisleitfaden Kommunaler Klimaschutz<sup>4</sup> als **endenergiebasierte Territorialbilanz**<sup>5</sup> bezeichnet wird: *Es werden alle im betrachteten Territorium anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie (Energie, die z.B. am Hauszähler gemessen wird) berücksichtigt und den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet. Über spezifische Emissionsfaktoren werden dann die THG-Emissionen berechnet. Graue Energie wird nicht bilanziert.*

In Frankfurt wird ebenfalls das Prinzip der endenergiebasierten Territorialbilanz genutzt. In Abbildung 2-1 ist beispielhaft für die Sektoren Private Haushalte, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Sonstiges und den Verkehrsbereich eine Frankfurter Endenergiebilanz nach dem endenergiebasierten Territorialprinzip für das Jahr 2021 dargestellt. Dies stellt die kommunale Basisbilanz dar.

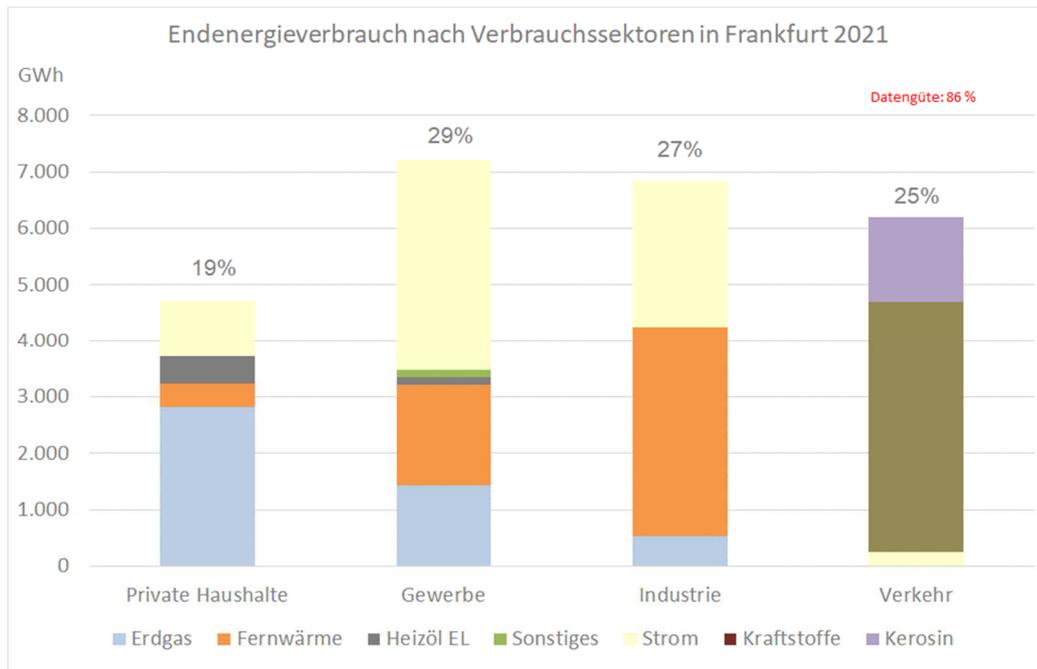
---

<sup>3</sup> Zudem werden bei den THG-Emissionen auch die Vorketten der Energiebereitstellung berücksichtigt (vgl. Abschnitt 2.1.2)

<sup>4</sup> Siehe: <http://www.klimaschutz-in-kommunen.de/links-und-literatur/praxisleitfaden>

<sup>5</sup> In statistischen Berichten wird hier auch von der Verursacherbilanz gesprochen (im Gegensatz zu Quellenbilanzen).

Abbildung 2-1: Frankfurts Basisbilanz Endenergie nach dem endenergiebasierten Territorialprinzip



### 2.1.2 THG-Emissionsfaktoren

Je nach Wahl der THG-Emissionsfaktoren können kommunale THG-Bilanzen um bis zu 20% variieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den Bilanzen nur die direkten Emissionen oder alternativ auch weitere Aspekte berücksichtigt werden.

Im BSKO-Standard werden neben den **reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen weitere Treibhausgase (N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>)<sup>6</sup> in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und Vorketten<sup>7</sup> bei den Emissionsfaktoren zu berücksichtigen.**

In Frankfurter THG-Bilanzen werden ebenfalls von Anfang an CO<sub>2</sub>-Äquivalente und Vorketten bei der Ermittlung der lokalen Emissionen berücksichtigt. Deswegen wird in diesem Bericht auch von einer THG-Bilanz gesprochen. Umgangssprachlich hat sich jedoch der Begriff CO<sub>2</sub>-Bilanz etabliert.

### 2.1.3 Datengüte

Die Datengüte zeigt die Aussagekraft der Bilanz und der ihr zu Grunde liegenden Daten.

<sup>6</sup> Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe bzw. perfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC, PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), welche zusätzlich im nationalen Treibhausgasinventar erfasst werden, haben einen Anteil von 1,6% an den bundesweiten Treibhausgasemissionen in Deutschland. Aufgrund der geringen Relevanz und vor allem aufgrund der schwierigen Erfassbarkeit auf kommunaler Ebene (diese Gase werden bei Produktanwendungen wie PKW-Klimaanlagen, Anlagen für Gewerbe- und Industriekälte, Straßenasphaltierung und bei der Aluminiumherstellung emittiert) wird vorgeschlagen, diese Gase zunächst zu vernachlässigen bzw. nur grob abzuschätzen.

<sup>7</sup> Hier nur energiebezogene Vorketten (u.a. Infrastruktur, Abbau und Transport von Energieträgern).

Zur Ermittlung der Datengüte wird das Vorgehen aus dem Praxisleitfaden Kommunaler Klimaschutz angewendet. Dazu wird für jeden Energieträger und dessen Verbrauch eine Datengüte zugeteilt. Grundlage für diese Zuteilung ist die Datenquelle. Die Wertung der Datengüte A bis D erfolgt auf Basis der Herkunft - und die damit verbundene Aussagekraft der Energieverbräuche - des Energieträgers folgendermaßen:

- Datengüte A (Regionale Primärdaten) -> Faktor 1
- Datengüte B (Hochrechnung regionaler Primärdaten) -> Faktor 0,5
- Datengüte C (Regionale Kennwerte und Statistiken) -> Faktor 0,25
- Datengüte D (Bundesweite Kennzahlen) -> Faktor 0

Eine Einschätzung der Datengüte unterschiedlicher Datenquellen finden sich auch im folgenden Kapitel. Die Datengüte einer Bilanz erhält man, indem der Anteil des Endenergieträgers am Gesamtenergieverbrauch mit der Datengüte multipliziert wird und diese ermittelten Werte für alle Energieträger aufaddiert werden<sup>8</sup>.

Für Frankfurt ergibt sich im Jahr 2021 beispielhaft eine Datengüte von 86 %. Ab Werten bei der Datengüte um etwa 75 % kann davon gesprochen werden, dass eine Bilanz gewisse Aussagekraft hat und die Entwicklungen über die Jahre auch vergleichbar sind. Der Grund für die hohe Datengüte in Frankfurt ist ein hoher Anteil leitungsgebundener Energieträger (u.a. Erdgas, Strom, Fernwärme), bei denen es sich um regionale Primärdaten handelt. Es wurden lediglich die Energieträger Kraftstoffe, Heizöl und Kohle aus Primärdaten hochgerechnet (u.a. aus Verkehrszählungen, Schornsteinfegerdaten).

## 2.2 Bilanzierung im stationären Bereich

### 2.2.1 Datenquellen für die Bilanzierung im stationären Bereich

Die Datenquellen für die Erstellung einer Endenergiebilanz können sehr vielfältig sein.

Grundsätzlich ist die Erhebung konsistenter Daten mit größerem Aufwand verbunden. Ziel ist es, sowohl für leitungsgebundene Energieträger (z.B. Erdgas) als auch für nicht-leitungsgebundene Energieträger (z.B. Heizöl) den Endenergieverbrauch aufgeteilt nach den verschiedenen Verbrauchssektoren (u.a. Private Haushalte) zu erhalten. Prinzipiell muss in jeder Kommune geprüft werden, für welchen Energieträger welche Datenquelle in Frage kommen kann.

In Frankfurt gibt es seit den ersten Bilanzen regelmäßige Erhebungen zu den lokalen Energieverbräuchen. Die Daten wurden dabei nach der gleichen Systematik abgefragt. Gleichzeitig wurde darauf Wert gelegt, die Konsistenz/Einheitlichkeit der Daten trotz neuer Datenquellen (z.B. aufgrund der Entflechtung im Energieversorgungsbereich) und Ansprechpartner\*innen zu gewährleisten. Die Datenquellen für die Erstellung der aktuellen Frankfurter Energie- und THG-Bilanz im stationären Bereich (ohne Verkehr) können Tabelle 2-1 entnommen werden.

<sup>8</sup> Ein Beispiel zu Berechnung der Datengüte findet sich unter [https://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/wp-content/uploads/2023/02/Praxisleitfaden\\_2023\\_Kapitel\\_B3\\_Ist-Analyse\\_quantitativ-1.pdf](https://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/wp-content/uploads/2023/02/Praxisleitfaden_2023_Kapitel_B3_Ist-Analyse_quantitativ-1.pdf) (Tabelle B3.2)

Tabelle 2-1: Datenquellen für kommunale Energie- und THG-Bilanzen im stationären Bereich

| Datenquelle                               | Inhalt   | Berücksichtigte Sektoren  | Datengüte |
|---|--|---------------------------|-----------|
| Mainova / Syna                            | Energieverbrauch Strom und Erdgas für Gesamtkommune <sup>9</sup>   | Alle                      | A         |
| Mainova/Syna                              | Wärmeerzeugung/-verbrauch aus elektrischen Wärmepumpen Stromverbrauch für Wärmepumpen                              | Alle                      | A         |
| Mainova/Syna                              | Wärmeverbrauch Fern- und Nahwärme  | Alle                      | A         |
| Mainova/Syna                              | Brennstoffeinsatz in den Kraftwerken, Stromproduktion, Energiebedarf der Beleuchtung, Absatz Erdgas in Tankstellen | Alle Sektoren             | A         |
| Industrieparkbetreiber Höchst, Fechenheim | Strom und Wärmeverbrauch nach Energieträgern für alle Energieträger aufgrund von Betriebsbefragungen               | Industrie                 | A         |
| Statistisches Landesamt                   | Energieverbrauch verarbeitendes Gewerbe  | Industrie                 | A         |
| Förderstatistik BAFA/KfW                  | Energieverbrauch (Solarthermie-, Biomasse- und Geothermieanlagen, Wärmepumpen)                                     | Je nach Erhebung          | B         |
| Heizöltankstatistik                       | Ermittlung Heizöl über die Größe der Öltanks   | Private Haushalte und GHD | B-C       |
| Nachhaltigkeitsbericht Fraport            | Wärme-/Kälteverbrauch  | GHD                       | B         |

### 2.2.2 Definition von Verbrauchssektoren

Für eine einheitliche Bilanzierung sollten auch die verschiedenen Verbrauchssektoren möglichst einheitlich dargestellt werden.

Es wird angestrebt, dass eine Bilanz sich im stationären Bereich nach folgenden Sektoren unterscheidet:

1. Private Haushalte
2. Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) / Sonstiges
3. Industrie / Verarbeitendes Gewerbe

Aktuell unterscheiden sich bei den verschiedenen Datenbereitstellern (Energieversorgungsunternehmen, Statistische Landesämter etc.) jedoch noch die Definitionen zu diesen Sektoren. Die folgenden Definitionen stellen daher eine Empfehlung bei Anfragen an die verschiedenen Datenbereitsteller dar.

**Private Haushalte:** Der Sektor umfasst alle Ein- und Mehrpersonenhaushalte (einschließlich der Personen in Gemeinschaftsunterkünften). Dazu gehören demnach

<sup>9</sup> Vielfach liegen Informationen zur Aufteilung der einzelnen Verbrauchssektoren über Standardlastprofile (SLP) und Kunden mit Registrierter-Leistungs-Messung (RLM) vor.

auch sämtliche Wohnheime und kommunale Einrichtungen, die dem Zweck Unterkunft bzw. Wohnen dienen. Eine Trennung vom Sektor Kleingewerbe (vgl. Sektor GHD/Sonstiges) ist anzustreben.

**Industrie:** Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes (Industrie und Verarbeitendes Handwerk) von Unternehmen des Produzierenden Gewerbes mit 20 und mehr Beschäftigten. Damit wird der Definition im Rahmen der Energieverbrauchserfassung statistischer Landesämter entsprochen. Es ist davon auszugehen, dass bei anderen Datenbereitstellern (z.B. Energieversorger) der Sektor Industrie/Verarbeitendes Gewerbe weitestgehend den Branchen entspricht, wie sie in den einzelnen Abschnitten des Wirtschaftszweigs Verarbeitendes Gewerbe aufgeführt sind.

**GHD/Sonstiges:** In diesen Sektor fallen die Energieverbräuche aller bisher nicht erfassten wirtschaftlichen Betriebe (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie Betriebe des Bergbaus, der Gewinnung von Steinen und Erden, dem Verarbeitenden Gewerbes mit weniger als 20 Mitarbeitern und landwirtschaftliche Betriebe).

In Frankfurt wird versucht, die aufgeführte Aufteilung der Verbrauchssektoren zu erreichen. Gerade in Hinblick auf ältere Bilanzen kann es jedoch aufgrund von neuen zur Verfügung stehenden Daten seitens der Datenbereitsteller zu Unschärfen in der Sektorenaufteilung geben. Seit den Bilanzen ab dem Jahr 2008 liegen einheitliche Sektorenaufteilungen vor.

Relevante Großverbraucher in Frankfurt, wie beispielsweise Banken, Rechenzentren, Universität oder Fraport (ohne Flugverkehr), werden alle dem Sektor GHD/Sonstiges zugeordnet. Vereinfacht wird dieser Sektor in der Bilanz „GHD“ bezeichnet.

### 2.2.3 THG-Emissionsfaktoren

#### Emissionsfaktoren der lokalen Wärmeerzeugung

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Bilanzen wird im BSKO empfohlen, einheitliche Emissionsfaktoren zu nutzen, die sowohl CO<sub>2</sub>-Äquivalente als auch Vorketten beinhalten (s.o.). Beim BSKO-Standard wird überwiegend auf Daten der GEMIS-Datenbank und Studien des Umweltbundesamtes zurückgegriffen. Folgende THG-Emissionsfaktoren werden für die kommunale Energie- und THG-Bilanzierung empfohlen.

Tabelle 2-2: Emissionsfaktoren Endenergie Wärme (t/MWh) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

| Zeiträume                             | 2015-2019 | 2020  | 2021  | Quelle                                    | Genaue Prozessbezeichnung  |
|---------------------------------------|-----------|-------|-------|---|--|
| Erdgas                                | 0,247     | 0,247 | 0,247 | Gemis 4.94, Gemis 5.0                     | Gas Heizung Brennwert DE (Endenergie)  |
| Heizöl                                | 0,318     | 0,318 | 0,318 | Gemis 4.94, Gemis 5.0                     | Öl-Heizung DE (Endenergie)   |
| Biomasse                              | 0,025     | 0,021 | 0,022 | Gemis 4.94, Gemis 5.0, UBA 2021, UBA 2022 | Holz Pellet Holzwirt. Heizung 10kW (Endenergie); ab 2020 Mittelwert Wärmebereitstellung aus fester Biomasse (privaten Haushalte und GHD) sowie Industrie               |
| Flüssiggas                            | 0,276     | 0,276 | 0,276 | Gemis 4.94, Gemis 5.0                     | Flüssiggas Heizung-DE (Endenergie)<br>Ab 2015: Flüssiggas (LPG)-Heizung-DE (Endenergie)  |
| Steinkohle                            | 0,438     | 0,429 | 0,433 | Gemis 4.94, Gemis 5.0, UBA 2021, UBA 2022 | Kohle Brikett Heizung DE (Endenergie), ab 2020 Wärmebereitstellung aus fossilen Energieträgern in privaten Haushalten, im GHD-Sektor und der Industrie                 |
| Braunkohle                            | 0,411     | 0,443 | 0,445 | Gemis 4.94, Gemis 5.0, UBA 2021, UBA 2022 | Braunkohle Brikett Heizung DE (Mix Lausitz/rheinisch), ab 2020 Wärmebereitstellung aus fossilen Energieträgern in privaten Haushalten, im GHD-Sektor und der Industrie |
| Solarthermie                          | 0,024     | 0,019 | 0,023 | Gemis 4.94, Gemis 5.0, UBA 2021, UBA 2022 | Solarkollektor Flach DE, ab 2020 Wärmebereitstellung aus Solarthermie  |
| Fernwärme                             | 0,270     | 0,270 | 0,270 | Eigene Berechnung                         | Fernwärme aus Kohle-KWK  |
| Sonstige erneuerbare Energieträger    | 0,025     | 0,025 | 0,025 | ifeu (Annahme)                            | individuell veränderbar  |
| Sonstige konventionelle Energieträger | 0,330     | 0,330 | 0,330 | ifeu (Annahme)                            | individuell veränderbar  |

In Frankfurt wurden die aufgeführten Emissionsfaktoren in allen Bilanzen angewendet.

## Emissionsfaktoren für Strom

Je nach Ziel der Bilanzierung werden aktuell in den Kommunen unterschiedliche Stromemissionsfaktoren verwendet. Im BISCO-Harmonisierungsprozess wurde festgelegt, dass bei der Bilanzierung von Strom der Bundesmix genutzt werden sollte, um so einen Vergleich der Bilanzen zwischen den Kommunen zu ermöglichen. Die folgenden Emissionsfaktoren für den Bundesstrommix wurden vom ifeu für alle einzelnen Jahre berechnet.

Tabelle 2-3: Zeitreihe Strom Bundesmix (Quelle: ifeu-Strommaster) in t/MWh in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

| <b>Jahr</b> |       |
|-------------|-------|
| <b>1990</b> | 0,872 |
| <b>1991</b> | 0,889 |
| <b>1992</b> | 0,830 |
| <b>1993</b> | 0,831 |
| <b>1994</b> | 0,823 |
| <b>1995</b> | 0,791 |
| <b>1996</b> | 0,774 |
| <b>1997</b> | 0,752 |
| <b>1998</b> | 0,738 |
| <b>1999</b> | 0,715 |
| <b>2000</b> | 0,709 |
| <b>2001</b> | 0,712 |
| <b>2002</b> | 0,727 |
| <b>2003</b> | 0,732 |
| <b>2004</b> | 0,700 |
| <b>2005</b> | 0,702 |
| <b>2006</b> | 0,687 |
| <b>2007</b> | 0,656 |
| <b>2008</b> | 0,656 |
| <b>2009</b> | 0,620 |
| <b>2010</b> | 0,614 |
| <b>2011</b> | 0,633 |
| <b>2012</b> | 0,645 |
| <b>2013</b> | 0,633 |
| <b>2014</b> | 0,620 |
| <b>2015</b> | 0,600 |
| <b>2016</b> | 0,581 |
| <b>2017</b> | 0,554 |
| <b>2018</b> | 0,544 |
| <b>2019</b> | 0,478 |
| <b>2020</b> | 0,429 |
| <b>2021</b> | 0,472 |

In Frankfurt wurden die aufgeführten Bundesstrommix-Faktoren in allen Bilanzen angewendet.

## 2.2.4 Allokation von Koppelprodukten

Prinzipiell soll bei der Allokation von Koppelprodukten bei KWK-Prozessen die exergetische Methode (auch Carnot-Methode genannt) genutzt werden. Bei der Exergie-methode (vgl. ifeu 2015<sup>10</sup>) wird neben der Quantität auch die Qualität der Energie betrachtet. Die exergetische Methode ist eine einfache, physikalisch basierte Methode, bei der lediglich Input, Output der Anlagen inkl. Temperaturniveau der Wärme benötigt werden. Sie ist nicht von Referenzsystemen abhängig und daher nur auf den tatsächlich betrachteten Koppelprozess bezogen. Ein weiterer Vorteil der exergetischen Methode ist die Anwendbarkeit auf Abwärmenutzung und Low-Ex-Systeme mit Kaskadennutzung. Es können daher z.B. auch den Wärmeströmen aus der Industrie, die nicht aus KWK-Prozessen stammen, oder der Wärmeentnahme aus dem Rücklauf eines Fernwärmesystems Emissionsfrachten eindeutig zugeordnet werden. Eine ausführliche Beschreibung zur Berechnung der exergetischen Allokation ist im Anhang zu finden.

In Frankfurt wird für die betriebenen Fernwärme-, Ferndampf- und Nahwärmenetze die exergetische Allokation zur Bewertung angesetzt. Für alle in die Wärme-/Kältenetze einspeisenden Anlagen werden die Emissionen aus der Wärme- und Kälteerzeugung exergetisch alloziert. Die ermittelten Emissionen für die Stromerzeugung werden dem Bundesmix zugeordnet. Im Territorialmix (s.o.) fließen die lokalen Emissionen zur Stromemissionen zur Ermittlung des lokalen Strommixes ein (s.o.)

Tabelle 2-4: Wärmemixe für die Energie- und THG-Bilanz der Stadt Frankfurt (Bilanzjahr 2021) in t/CO<sub>2</sub>-Äquivalente MWh

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>Fernwärme</b>                 |     |
| THG - Faktor Fernwärme           | 143 |
| <b>Ferndampf</b>                 |     |
| THG - Faktor Ferndampf           | 283 |
| THG - Faktor Ferndampf Industrie | 171 |

## 2.2.5 Witterungskorrektur

Die Witterungskorrektur bei kommunalen Energie- und THG-Bilanzen wird häufig durchgeführt. Im Rahmen der BSKO-Bilanzierung wurde jedoch für die Basisbilanz einer Kommune davon Abstand genommen<sup>11</sup>.

Gleichwohl können Kommunen ihre Bilanzen für einen Vergleich mit der Basisbilanz witterungskorrigieren. Bei der Witterungskorrektur werden die Anteile des Heizenergieverbrauchs am Wärmeverbrauch in den verschiedenen Sektoren (also ohne Warmwasser und Kochen) witterungskorrigiert. Dafür wird der Verbrauch gemäß (VDI 3807) mit dem Gradtagszahlverhältnis des langjährigen Mittels mit dem jeweiligen Bilanzjahr multipliziert. Das Ergebnis ist der witterungsbereinigte Heizenergieverbrauch.

In Frankfurt wird von BSKO abweichend der ermittelte Heizwärmeverbrauch witterungskorrigiert. Dies ermöglicht eine bessere Analyse über die verschiedenen Bilanzjahre und eine nachvollziehbarere Zeitreihe.

<sup>11</sup> Die Hintergründe können der Langfassung des Methodenpapiers (2014) entnommen werden.

## 2.3 Bilanzierung im Sektor Verkehr

### 2.3.1 Methodische Aspekte

BISKO empfiehlt für die Erfassung des Verkehrs in kommunalen Treibhausgasbilanzen eine endenergiebasierte Territorialbilanz unter Einbezug sämtlicher motorisierten Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr. Im Straßenverkehr wird ergänzend eine erweiterte Differenzierung nach Herkunft und Ursachen empfohlen. Der Flugverkehr wird über die Emissionen der Starts und Landungen auf dem Territorium (LTO-Zyklus) erfasst.

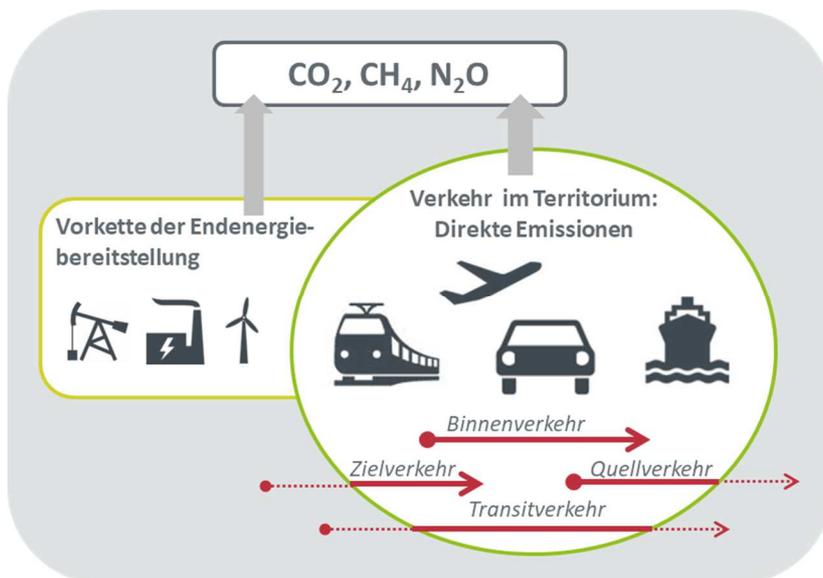
Für eine kommunenspezifische Anpassung der Emissionsberechnungen werden die Fahrleistungen im Straßenverkehr nach Straßenkategorien (innerorts, außerorts, Autobahn) differenziert. Darüberhinausgehende Differenzierungen nach Straßentypen und Verkehrssituationen sind nicht erforderlich. Ebenso ist keine kommunenspezifische Anpassung von Kfz-Flottenzusammensetzungen gegenüber dem Bundesdurchschnitt erforderlich, da diese (im Unterschied zu Luftschadstoffemissionen) bei Energieverbräuchen und Emissionen nur geringe Ergebnisrelevanz hat.

Emissionsfaktoren werden für den Verkehr differenziert nach Verkehrsmitteln und Energieträgern sowie (im Straßenverkehr) nach Straßenkategorien. In Deutschland liegen mit dem Modell TREMOD<sup>12</sup> harmonisierte und regelmäßig aktualisierte Emissionsfaktoren für alle Verkehrsmittel vor. Alle Werte sind analog zu den stationären Sektoren in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) inkl. Vorkette der Energieträgerbereitstellung. Abbildung 2-2 stellt die Empfehlungen zur Bilanzierungssystematik im Verkehr grafisch dar.

---

<sup>12</sup> TREMOD: Transport Emission Model, Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030; ifeu Heidelberg, im Auftrag des Umweltbundesamtes; seit 1993. TREMOD ist Grundlage für die Emissionsberichterstattung der Bundesregierung für den Verkehr. Mit dem Modell können die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte sowie einzelfahrzeugspezifische verbrauchs- bzw. emissionsrelevante Parameter für die Bezugsjahre 1960-2050 berücksichtigt werden. TREMOD wird fortlaufend aktualisiert und an aktuelle Entwicklungen angepasst.

Abbildung 2-2: ifeu-Empfehlungen zur Bilanzierungssystematik im Verkehr



In Frankfurt wird im Verkehrsbereich nach dem endenergiebasierten Territorialprinzip bilanziert. Dies bedeutet, dass alle Energieverbräuche innerhalb des Stadtgebiets berücksichtigt werden. Der Verkehr Flughafen Frankfurt wird ebenfalls nach diesem Prinzip mit bilanziert (LTO-Zyklus). Da er jedoch nicht komplett auf Frankfurter Stadtgebiet steht, werden die Energieverbräuche nur anteilig berücksichtigt (ca. 85 %). Zudem werden die Emissionen des Flugverkehrs für eine Vergleichbarkeit mit anderen Kommunen nachrichtlich dargestellt.

### 2.3.2 Datenquellen für die Bilanzierung im Verkehr

Voraussetzung für die deutschlandweite Anwendbarkeit der BSKO-Systematik ist die Verfügbarkeit aller notwendigen kommunalen Eingabedaten für die Bilanzierung. Für den Verkehr sieht die BSKO-Systematik analog zu den stationären Sektoren ein endenergiebasiertes Territorialprinzip vor, d.h. die Bilanzierung umfasst die Emissionen des motorisierten Verkehrs innerhalb der Gemeindegrenzen. Im Rahmen der Entwicklung der BSKO-Systematik hat das ifeu-Institut umfangreiche Recherchen zur Verfügbarkeit gemeindefeiner Verkehrsdaten durchgeführt und Datenquellen identifiziert, anhand derer Gemeinden die Verkehrsmengen in ihrem Territorium individuell bestimmen können bzw. eine zentrale Bereitstellung kommunenspezifischer Verkehrsdaten für alle Gemeinden in Deutschland möglich ist.

Im Folgenden werden die Datengrundlagen für die Stadt Frankfurt erläutert:

Grundlage für die Berechnung der Fahrleistungen im **Straßenverkehr** sind Verkehrsmodell- und Verkehrszählraten für das Stadtgebiet Frankfurt. Für das Analysejahr 2014 wurden vom Referat Mobilitäts- und Verkehrsplanung Daten aus dem Verkehrsmodell zur Verfügung gestellt<sup>13</sup>. Diese umfassen werktägliche Fahrleistun-

<sup>13</sup> Aktuelles Basisjahr im Verkehrsmodell (Verkehrsdatenbank Rhein-Main VDRM) ist 2018. Allerdings sind das abgedeckte Straßennetz und die Klassifizierung in Straßentypen methodisch nicht vergleichbar zum früheren Basisjahr. Die starken Verkehrsrückgänge in der Coronapandemie sind

gen differenziert nach Pkw und verschiedenen Lkw-Größenklassen, nach verschiedenen Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie unterschieden nach Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr. Außerdem liegen aggregierte zeitliche Entwicklungen aus der langjährigen Frankfurter Stadtrandzählung mit jeweils etwa 60 Zählpunkten am inneren und äußeren Kordon vor<sup>14</sup>. Über die automatischen Zählstellen der Bundesanstalt für Straßenwesen<sup>15</sup> liegen zudem jährliche Informationen über den Verkehr auf Autobahnen und einzelnen Bundesstraßenabschnitten im Raum Frankfurt vor.

Auf dieser Grundlage wurden zunächst unter Berücksichtigung bundesmittlerer Wochengänge (d.h. Unterschiede der Verkehrsmengen am Samstag & Sonntag ggü. Montag-Freitag) die Jahresfahrleistungen des Kfz-Verkehrs in Frankfurt für das Jahr 2014 hochgerechnet. Im Verkehrsmodell nicht enthaltene Kfz-Kategorien (motorisierte Zweiräder, Busse) wurden anhand bundesmittlerer Verkehrsanteile ergänzt. Anschließend wurden die Fahrleistungen bis zum Jahr 2021 fortgeschrieben. Da aus den jährlichen Verkehrszählungen nur aggregierte Entwicklungen vorliegen, aber keine lokal differenzierten Einzelentwicklungen, gibt diese Fortschreibung nur eine näherungsweise Orientierung zur Gesamtentwicklung des Kfz-Verkehrs.

- Die Verkehrsentwicklung 2014-2021 auf Autobahnen wurde in Anlehnung an die Verkehrsentwicklung an den BAST-Zählstellen abgeleitet, dabei wurde zwischen Leichtverkehr (bis 3,5t zulässige Gesamtmasse) und Schwerverkehr (>3,5t zGM) unterschieden.
- Der Verkehr auf Außerorts- und Innerortsstraßen wurde über die mittleren Entwicklungen in den Stadtrandzählungen für den äußeren Kordon bzw. inneren Kordon fortgeschrieben. Dabei wurde mangels zusätzlicher Informationen nicht zwischen verschiedenen Kfz-Kategorien unterschieden.

Angaben zu Betriebsleistungen und Verkehrsangebot im **Öffentlichen Straßenpersonenverkehr** (Linienbus, Straßenbahn) sind für Frankfurt am Main in den Geschäfts- und Nachhaltigkeitsberichten der lokalen Nahverkehrsgesellschaft TraffiQ sowie der Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (VGF) verfügbar. Für die Bilanzierung von **Schienerverkehr** und **Binnenschifffahrt** sowie der Stadt Frankfurt zugerechneten **LTO-bezogenen Emissionen des Flugverkehrs** werden Endenergieverbrauchsangaben verwendet, die von ifeu als gemeindefeine Datensätze für eine BSKO-konforme Bilanzierung abgeleitet worden sind und regelmäßig aktualisiert werden. Grundlage im Schienenverkehr sind von der DB AG bereitgestellte deutschlandweite gemeindefeine Endenergieverbrauchswerte für ein Fahrplanjahr. Davon ausgehend wurden von ifeu prozentuale Aufteilungen der Energieverbräuche im Schienenverkehr auf alle Gemeinden abgeleitet und anschließend anhand der in TREMOD<sup>16</sup> enthaltenen jährlichen Energieverbräuche des gesamt-

---

in den Basisdaten aus dem Verkehrsmodell noch nicht enthalten. Aus Konsistenzgründen und zum Erhalt der Vergleichbarkeit mit früheren Bilanzen wurde daher der Datensatz vom Basisjahr 2014 als Grundlage beibehalten. Im Falle einer zukünftigen regelmäßigen konsistenten Fortschreibung der realen Verkehrsentwicklungen im städtischen Verkehrsmodell kann eine dauerhafte Umstellung auf eine aktualisierte Datengrundlage vorgenommen werden.

<sup>14</sup> <https://frankfurt.de/themen/verkehr/verkehrsplanung/verkehrsdaten/erhebungen/stadtrandzaehlung>

<sup>15</sup> [https://www.bast.de/BASSt\\_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Verkehrszaehlung.html](https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Verkehrszaehlung.html)

<sup>16</sup> TREMOD: Transport Emission Model, Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035; ifeu Heidelberg, im Auftrag des UBA; seit 1993.

deutschen Schienenverkehrs gemeindefeine Energieverbräuche berechnet. Endenergieverbräuche im Binnenschiffverkehr werden jährlich kommunenfein direkt im Modell TREMOD über jährlich beim Statistischen Bundesamt verfügbare Gütertransportmengen aller Wasserstraßen in Deutschland sowie wasserstraßenspezifische Energieverbrauchsfaktoren berechnet. Energieverbräuche und Emissionen für den LTO-Zyklus (Landing and Take-off Cycle) werden ebenfalls jährlich im Modell TREMOD unter Verwendung flugzeugtypspezifischer Emissionsfaktoren für die wichtigsten Verkehrsflughäfen in Deutschland abgeleitet und den einzelnen Gemeinden über deren Flächenanteile am Flughafen angerechnet. Grundlage sind jährliche Informationen zur Anzahl der Starts und Landungen im gewerblichen Flugverkehr vom statistischen Bundesamt.

In Tabelle 2-5 sind die berücksichtigten Verkehrsmittel und die jeweilige Quelle für Verkehrsdaten der Stadt Frankfurt am Main dargestellt.

Tabelle 2-5: Quellen für Verkehrsdaten in Frankfurt am Main in den Treibhausgasbilanzen der Jahre 2015-2021

| <b>Verkehrsmittel</b>   | <b>Datenquelle/-herkunft</b> |
|---|------------------------------|
| Motorisierter Individualverkehr (motorisierte Zweiräder, Pkw) | Stadt Frankfurt, BAST        |
| Straßengüterverkehr (leicht Nutzfahrzeuge, Lkw >3,5t)         | Stadt Frankfurt, BAST        |
| ÖSPV (Linienbus, Straßenbahn)                                 | TraffiQ, VGF                 |
| Schienenverkehr (Personennah- und -fernverkehr, Güterverkehr) | ifeu (TREMODO/BISKO)         |
| Binnenschiffahrt  | ifeu (TREMODO/BISKO)         |
| Flugverkehr   | ifeu (TREMODO/BISKO)         |

Zur Berechnung der Endenergieverbräuche und Treibhausgasemissionen werden aktuelle fahr- und verkehrsleistungsspezifische Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsfaktoren aus dem Modell TREMOD<sup>17</sup> verwendet. In TREMOD werden der durchschnittliche technische Stand der Fahrzeugflotte in Deutschland im jeweiligen Bezugsjahr und der Einfluss von Geschwindigkeit und Fahrsituation (z.B. Innerortsstraßen, Autobahnen) berücksichtigt. Weiterhin sind Randbedingungen wie die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele der Europäischen Kommission, die Zunahme des Anteils von Diesel-Pkw, Beimischung von Biokraftstoffen, etc. abgebildet.

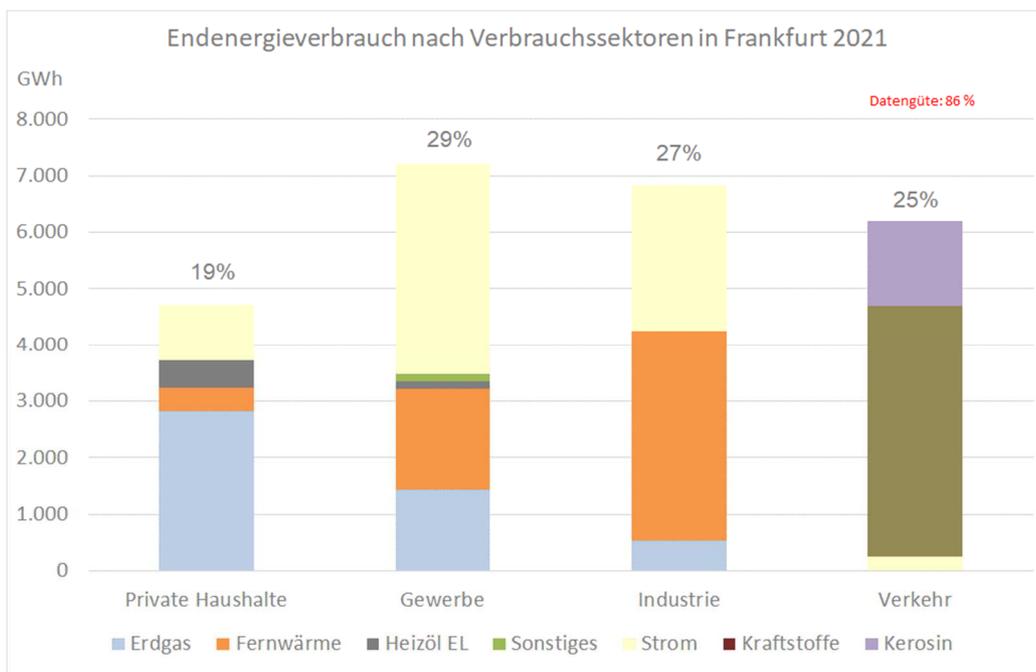
<sup>17</sup> TREMOD (Transport Emission Model) ist Grundlage für die Emissionsberichterstattung der Bundesregierung. Mit dem Modell können die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte sowie einzelfahrzeugspezifische verbrauchs- bzw. emissionsrelevante Parameter für die Bezugsjahre 1960-2050 berücksichtigt werden. TREMOD wird fortlaufend aktualisiert und an aktuelle Entwicklungen angepasst.

## 3 Aktuelle Bilanzergebnisse

### 3.1 Endenergieverbrauch der Stadt Frankfurt a. M. 2021

Der witterungskorrigierte Endenergieeinsatz der Stadt Frankfurt a. M. betrug im Jahr 2021 rund 24.900 GWh (Abbildung 3-1). Davon entfielen auf die Sektoren Gewerbe und Industrie mit 29 % (7.200 GWh) und 27 % (6.800 GWh) des Gesamtverbrauchs die größten Anteile. Der Sektor Verkehr hatte einen Anteil von 25 % (6.200 GWh) während Private Haushalte für etwa 19 % (4.700 GWh) des Gesamtenergieverbrauchs waren.

Abbildung 3-1: Endenergieverbrauch der Stadt Frankfurt a. M. 2021 nach Sektoren und Energieträgern



Im Sektor Private Haushalte dominiert der Energieträger Erdgas mit 60 % (2.800 GWh). Danach folgt der Stromverbrauch mit einem Anteil von 21 % (1.000 GWh). Wärmebereitstellungen aus Fernwärme (9 % und 400 GWh) und Heizöl (11 % und 500 GWh) machen einen geringeren Teil aus. Weitere Energieträger (u.a. erneuerbare Energien (unter Sonstige)) spielen nur eine geringe Rolle. Die Wärmeerzeugung im Haushaltssektor wird folglich größtenteils mittels Erdgas gedeckt.

Beim Sektor Gewerbe dominiert der Energieträger Strom mit einem Anteil von 52 % (3.800 GWh), gefolgt von Fernwärme/Dampf mit 25 % (1.800 GWh) und Erdgas mit 20 % (1.400 GWh). Der Anteil aus betrug Heizöl 2 % (100 GWh). Der Anteil sonstiger Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Sektors Gewerbe betrug im Jahr 2021 ebenfalls 2 % (100 GWh).

Im Sektor Industrie fällt der größte Anteil auf den Energieträger Ferndampf mit 54 % (3.700 GWh) zurück, gefolgt von Strom mit 38 % (2.600 GWh). Der Anteil der Wärme aus Erdgas (8 % und 500 GWh) ist in diesem Sektor eher gering.

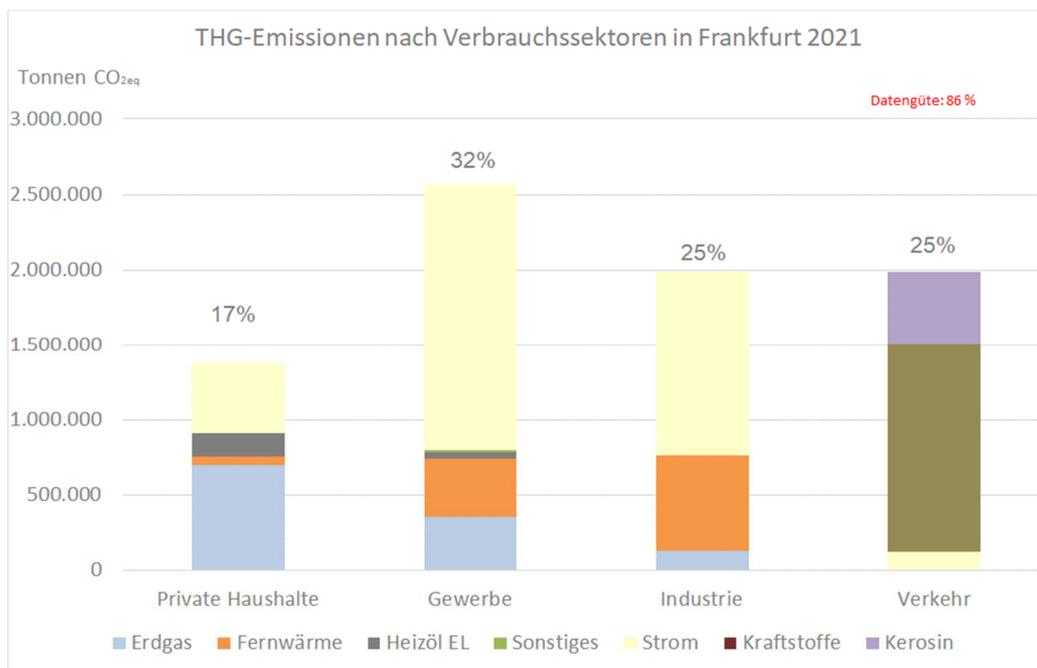
Im Sektor Verkehr dominierte beim Endenergieverbrauch der Kraftstoffverbrauch aus dem Straßenverkehr mit 72 % (4.400 GWh). Der Kerosinverbrauch bei Start- und Landebewegungen am Frankfurter Flughafen machte 24 % (1.500 GWh) aus. Der Stromverbrauch war mit einem Anteil von knapp 4 % (300 GWh) relativ gering.

## 3.2 THG-Emissionen der Stadt Frankfurt a. M. 2021

Anhand der verbrauchten Energieträger und anhand spezifischer Emissionsfaktoren lässt sich aus der Endenergiebilanz eine witterungskorrigierte **THG-Bilanz** ermitteln. Demnach wurden im Jahr 2021 rund 7,9 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert (Abbildung 3-2). Die höchsten THG-Emissionen finden sich im Sektor GHD mit einem Anteil von 32 % (2,6 Mio. t CO<sub>2</sub> eq), gefolgt vom Sektor Verkehr mit etwa 25 % (2,0 Mio. t CO<sub>2</sub> eq). Im Sektor Industrie werden anteilig ebenfalls 25 % (2,0 Mio. t CO<sub>2</sub> eq) und im Sektor Private Haushalte etwa 17 % (1,4 Mio. t CO<sub>2</sub> eq) der THG-Emissionen emittiert.

Emissionen von Strom und Kraftstoffen im Verkehrsbereich sind auf alle Sektoren bezogen für mehr als die Hälfte aller Emissionen (Strom 45 % und Kraftstoffe 18 %) verantwortlich. 15 % der Emissionen entstehen durch den Erdgasverbrauch und etwa 14 % durch den Fernwärmeverbrauch. Kerosin und Heizöl machen lediglich einen kleinen Teil aus mit jeweils 6 % und 2 %.

Abbildung 3-2: THG-Emissionen der Stadt Frankfurt a. M. 2021 nach Sektoren und Energieträgern



### **Sonderfall Frankfurter Flughafen**

Nach der BSKO-Methodik werden alle territorialen Energieverbräuche erfasst. Für den Flugverkehr schlägt die Methodik vor, die Energieverbräuche während der Start- und Landezyklen zu erfassen. Diese Daten werden seit 2013 auch für den Frankfurter Flughafen miterfasst. Da der Flughafen nur zu 85 % auf dem Gebiet der Stadt Frankfurt liegt, wird der Flugverkehr entsprechend nur anteilig der Stadt zugeordnet. Für die Darstellung der Zeitreihen, für welche keine vollständigen Daten seit 1990 vorliegen sowie für die Vergleichbarkeit mit anderen Kommunen wurde der Flugverkehr deswegen in unten aufgeführten Zeitreihen zu Endenergieverbrauch und THG-Emissionen nicht dargestellt.

Für das Jahr 2021 machen die mit dem Flugverkehr verbundenen THG-Emissionen knapp 500.000 Tonnen CO<sub>2</sub>eq aus. In einer Frankfurter THG-Bilanz mit Flugverkehr beträgt der Anteil des Flugverkehrs damit etwas mehr als 6 % der gesamten Frankfurter THG-Emissionen. Hier gilt es zu beachten, dass nach 2020 auch 2021 der Flugverkehr Pandemie-bedingt noch nicht das Niveau der Vorjahre erreicht hatte.

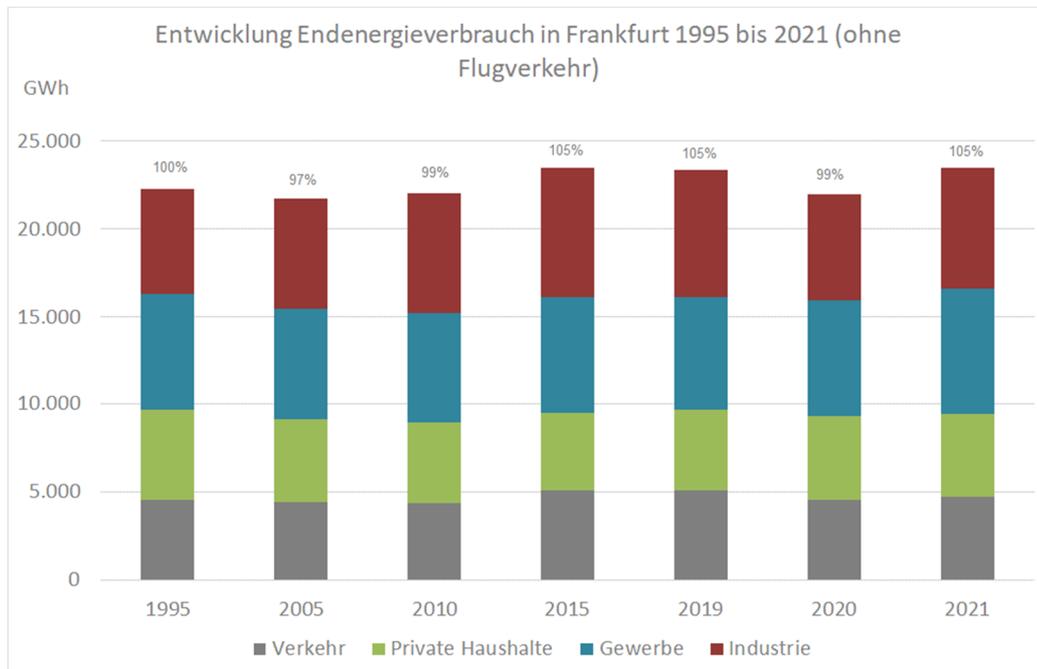
## **3.3 Entwicklung der Energie- und THG-Bilanz in Frankfurt a. M.**

### **3.3.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs 1995 bis 2021**

Die folgenden Entwicklungen über einen Zeitraum von 1995 bis 2021 werden ohne den Flugverkehr dargestellt. Ausgangsjahr ist die Bilanz des Jahres 1995, für welches erstmal auch Verkehrsverbräuche erhoben wurden und so eine durchgängige Zeitreihe erstellt werden kann. Im stationären Bereich wurde die erste Bilanz bereits für das Jahr 1987 erstellt.

Insgesamt lässt sich in den Jahren 1995 bis 2021 ein leichter Anstieg des Endenergieverbrauchs um 5 % erkennen (Abbildung 3-3). Es gab zwischen den Jahren 1995 bis 2010 Einsparungen zwischen 3 %. Danach stiegen die Endenergieverbräuche bis 2021 wieder leicht an. Ausnahme bildet das erste Corona-Jahr, in dem v.a. Verkehrsbedingt eine Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs gegenüber 1995 von 1 % vorlag.

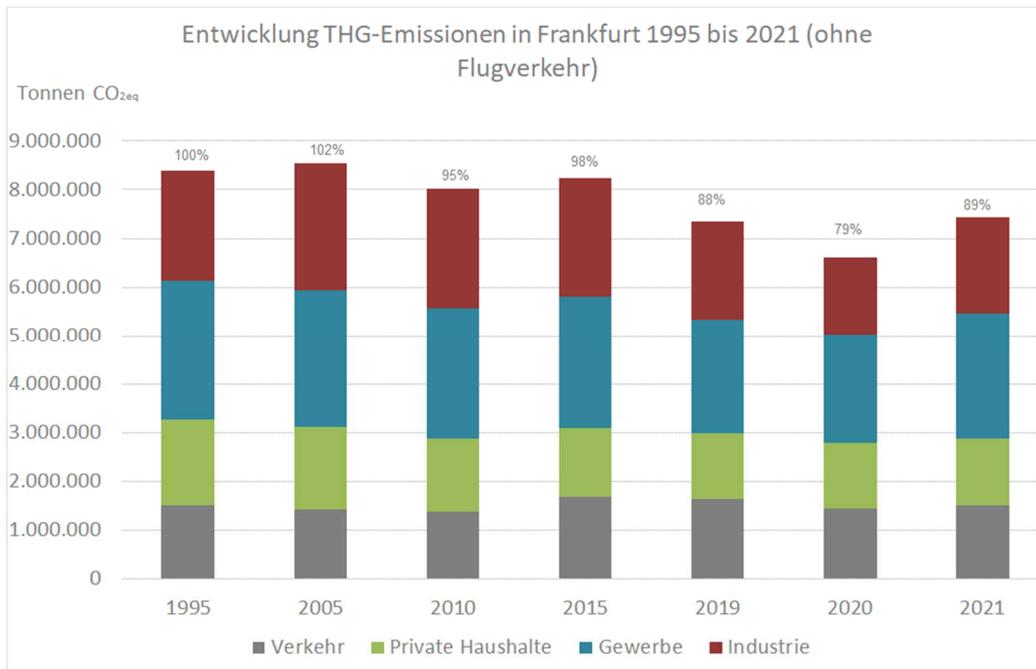
Abbildung 3-3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Frankfurt a. M. nach Sektoren 1995 bis 2021



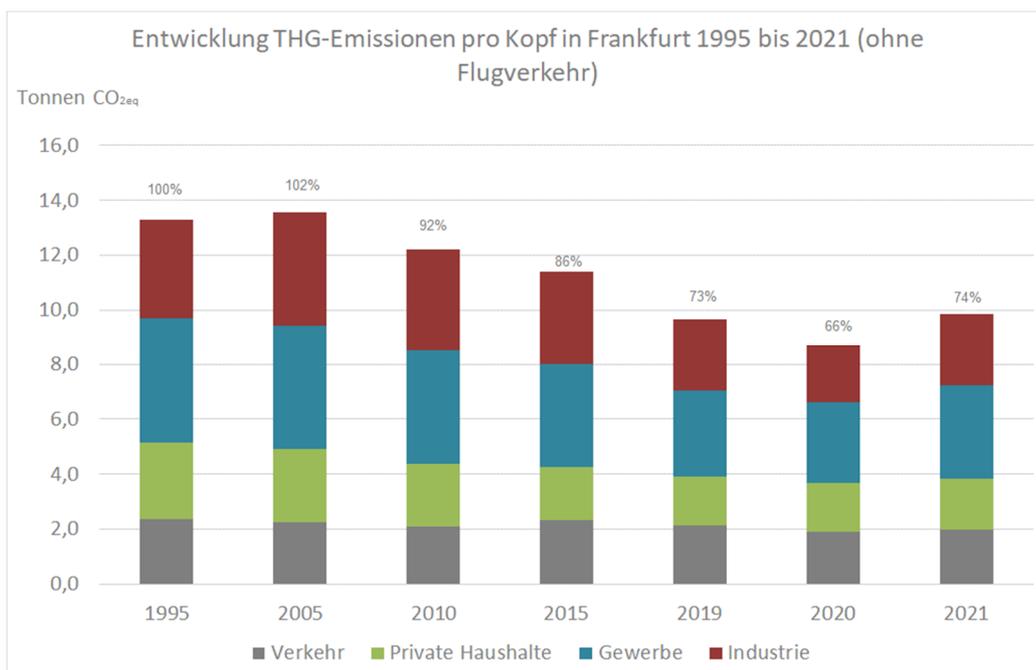
### 3.3.2 Entwicklung der THG-Emissionen 1995 bis 2021

2021 konnten in der Stadt Frankfurt a. M. rund 11 % der THG-Emissionen verglichen mit dem Basisjahr 1995 eingespart werden (Abbildung 3-4). Damit ergibt sich beim THG-Ausstoß eine deutliche Reduktion im Vergleich zum Energieverbrauch, der bis zum Jahr 2021 um 5 % anstieg. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Stadtgebiet verstärkt klimafreundlichere Energieträger genutzt werden. Zudem führt der zunehmend höher werdende Anteil erneuerbarer Energien im bundesdeutschen Strommix dazu, dass die Emissionen pro kWh Stromverbrauch kontinuierlich abnehmen. Lag beispielsweise der Stromemissionsfaktor im Jahr 1995 noch bei 791 g/kWh Stromverbrauch, sank dieser bis zum Jahr 2021 auf 472 g/kWh.

Abbildung 3-4: Entwicklung der THG-Emissionen in Frankfurt a. M. nach Sektoren 1995 bis 2021



In Abbildung 3-5 werden bereits die Entwicklung der Bevölkerungszahlen berücksichtigt. Werden die Gesamtemissionen als Indikator pro Kopf gerechnet, können die Effekte des Bevölkerungswachstums in Frankfurt dargestellt werden. Lagen die pro Kopf-Emissionen der Frankfurter\*innen im Jahr 1995 noch bei 13,3 Tonnen CO<sub>2 eq</sub>, wurden diese bis zum Jahr 2021 auf 9,9 Tonnen CO<sub>2 eq</sub> pro Kopf reduziert. Dies entspricht einem Rückgang von 26 % gegenüber dem Ausgangsjahr 1995.

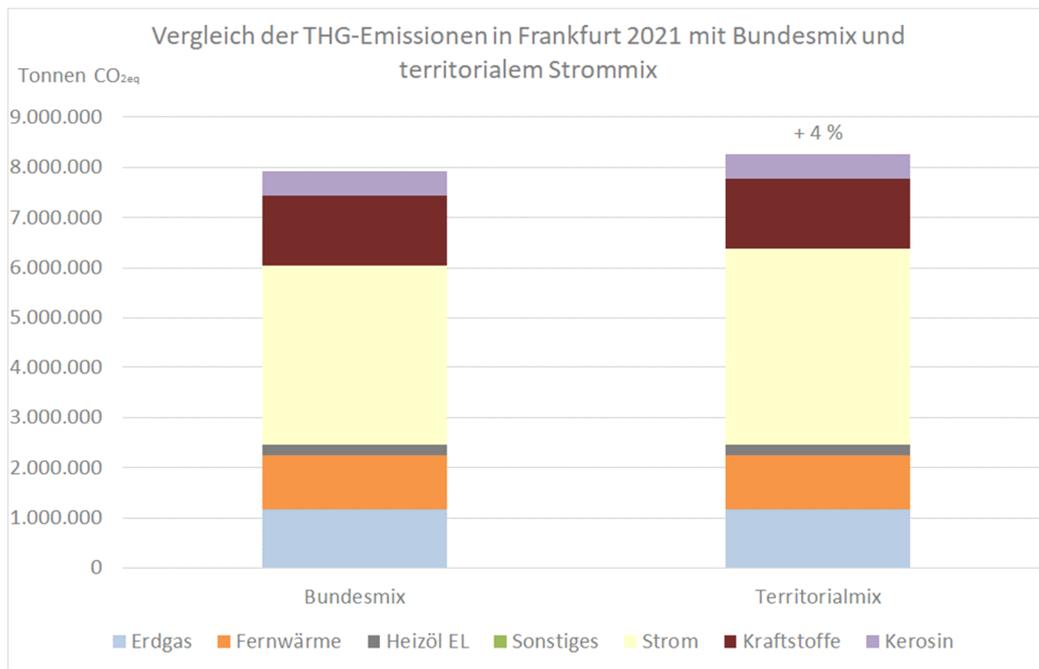
Abbildung 3-5: Entwicklung der THG-Emissionen pro Kopf in Frankfurt a. M. nach Sektoren (Werte entsprechen Tonnen CO<sub>2 eq</sub> pro Kopf)

# 4 Nachrichtliche Informationen

## Territorialer Strommix

In Frankfurt werden die THG-Bilanzen mit dem Strom-Bundesmix gerechnet. Parallel wird ein territorialer Strommix nach dem im Anhang dargestellten Vorgehen berechnet und nachrichtlich ausgewiesen (vgl. Abbildung 4-1). Knapp 1/3 des lokalen Stromverbrauchs werden vor Ort erzeugt. Dieser Anteil fließt in den territorialen Strommix ein. In der letzten Bilanz war der Territorialmix mit 516 g/kWh<sub>CO<sub>2</sub> eq</sub> etwas schlechter als der Bundesmix (472 g/kWh<sub>CO<sub>2</sub> eq</sub>). Entsprechend weist die THG-Bilanz mit Territorialmix auch leicht erhöhte THG-Emissionen im Vergleich zur BSKO-Bilanz mit Strombundesmix auf (+4 %)

Abbildung 4-1: Frankfurt mit territorialen Mix (Strom) vs. einer mit dem Bundesmix berechneten Bilanz (inkl. Flugverkehr)



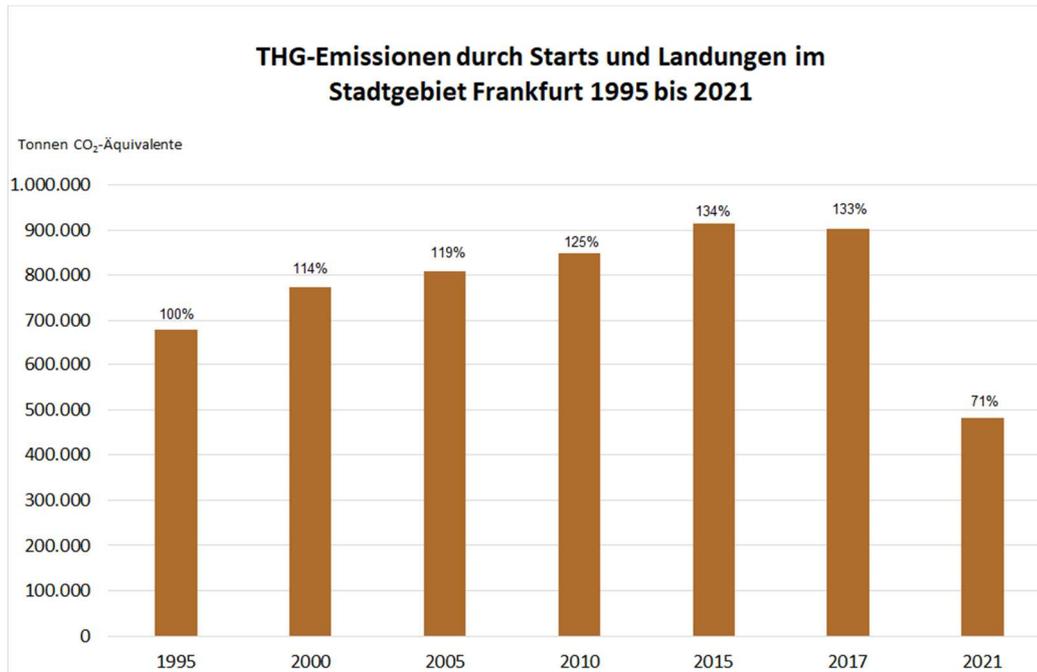
## THG-Emissionen des Flugverkehrs

Die THG-Emissionen im Flugverkehr steigerten sich aufgrund des erhöhten Flugaufkommens über die Jahre. Zwischen 1995 und 2017 erhöhten sich die mit Flugverkehr verbundenen THG-Emissionen um 33 % (vgl. Abbildung 4-2). Die THG-Emissionen lagen im Jahr 2021 allerdings deutlich niedriger (- 39 % gegenüber 1995).

Mit der Corona-Pandemie gab es in den Jahren 2020 und 2021 einen großen Einbruch bei den Fluggastaufkommen und den Flügen. Im Jahr 2021 lag das Fluggastaufkommen noch 62 % unter dem Wert von 2017. Die Daten für das Jahr 2022 und

erste Prognosen für 2023 zeigen, dass sich diese Werte wieder dem Niveau vor der Pandemie annähern und entsprechend die THG-Emissionen aus dem Flugverkehr wieder steigen werden.

Abbildung 4-2: Entwicklungen der THG-Emissionen aus Flugverkehr im Stadtgebiet Frankfurt



# Anhang

---

## Berechnung des Territorialmix Strom

Neben der Berechnung mit dem Bundesmix wurde die Berücksichtigung lokaler Anlagen in Form eines territorialen Mixes seitens der kommunalen Vertreter gewünscht. Die Berechnung eines Territorialmix hängt u.a. davon ab, welche lokalen Erzeugungsanlagen in welchem Umfang berücksichtigt werden. Im zweiten Expertenworkshop kamen die Teilnehmer zu der Einigung, dass alle lokalen Anlagen im Territorialmix berücksichtigt werden sollten. Dabei wird bei der Berechnung folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

- Liegt der Gesamtstromverbrauch im Territorium höher als der territorial „erzeugte“ Strom, werden zunächst die THG-Emissionen des lokalen Kraftwerks bilanziert.
- Die verbleibende Differenz („verbrauchte“ Strommenge, subtrahiert mit der „erzeugten“ Strommenge) wird mit dem Bundesmix berechnet.
- Sollten die Anlagen mehr als 100% des lokalen Stromverbrauchs erzeugen, wird der regionale Stromverbrauch mit einem Emissionsfaktor-Mix der lokalen Anlagen berechnet. Stromproduktionen darüber hinaus bleiben bei der THG-Bilanzierung unberücksichtigt. Endenergetisch wird dies in einer eigenen Grafik (vgl. Abbildung 3-1) dargestellt.
- Doppelzählungen lokaler Anlagen (sowohl im Territorial-, als auch im Bundesmix) bleiben im Grunde unberücksichtigt, da sich vorrausichtlich nur in wenigen Ausnahmefällen der Bundesmix vom Bundesmix ohne den lokalen Anteil der jeweiligen Kommunen unterscheidet.
- Der Territorialmix berücksichtigt Anlagen auf dem Territorium der Kommune. Wie mit Beteiligungen außerhalb der Kommune, dem Händlermix der Vertriebsgesellschaften bzw. Ökostrombezug etc. umgegangen werden kann, wird in der Langfassung zur Bilanzierung des ifeu (2014) beschrieben.
- In der kommunalen Basisbilanz und den Szenarien wird allerdings der Bundesmix und nicht der Territorialmix berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass mit Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien im Bundesstrommix der Faktor Bundesmix sich deutlich senken wird, so dass Kommunen in ihren Bilanzen davon profitieren werden.

## Berechnung der exergetischen Allokation

Bei der exergetischen Allokation werden die THG-Emissionen eines gekoppelten Prozesses den Produkten Strom und Wärme gemäß ihrer Wertigkeit zugeordnet. Die Allokation erfolgt in fünf Schritten:

### 1. Erfassung Brennstoffinput und der Outputs (Strom/Wärme) des Prozesses

Brennstoffinput und -output der Anlagen werden separat für jede Umwandlungsanlage erfasst. Beim Output Fernwärme muss darüber hinaus noch ermittelt werden, welches Temperaturniveau die Fernwärme hat (Vorlauf/Rücklauf)

### 2. Ermittlung der mit der Erzeugung verbundenen Emissionen

Die Energieträger-Inputs in MWh werden für jede Anlage mit den spezifischen Emissionsfaktoren (t/MWh) multipliziert. Das Ergebnis sind die Gesamtemissionen für die Anlage in Tonnen.

### 3. Berechnung der Exergiefaktoren Fernwärme

Die Exergie eines Wärmestroms wird über den Carnot-Faktor bestimmt:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_U}{T_A}$$

Wobei  $T_A$  die Temperatur des Arbeitsmediums ist; im Fall eines Fernwärmesystems die thermodynamische Mitteltemperatur.  $T_U$  ist die Umgebungstemperatur (Annahme 283 Grad Kelvin). Bei der exergetischen Methode werden daneben keine weiteren Faktoren berücksichtigt.

Sind die exakten Temperaturniveaus nicht bekannt, können folgende überschlägige Exergiefaktoren angenommen werden (jeweils mit Vorlauf und Rücklauf in Grad Celsius):

- Ferndampf: 0,33
- Fernwärme alt (130/90): 0,26
- Fernwärme neu (110/60): 0,21
- Nahwärme (90/60): 0,19
- LowEx 1 (60/40): 0,13

Der Exergiefaktor für Strom hat den Wert 1.

### 4. Ermittlung des Allokationsfaktors

Der Allokationsfaktor für die Stromauskopplung ergibt sich dann aus:

$$a_{el} = \frac{\eta_{el}}{\eta_{el} + \eta_c \times \eta_{th}}$$

Äquivalent ergibt sich der thermische Allokationsfaktor zu (ifeu 2015):

$$a_{th} = \frac{\eta_c \times \eta_{th}}{\eta_{el} + \eta_c \times \eta_{th}}$$

## 5. Zuteilung der Emissionsfrachten auf die jeweiligen Energieträger

Die Gesamtemissionen des Prozesses aus Schritt zwei werden mit Allokationsfaktoren multipliziert. Das Ergebnis sind die spezifischen Emissionsfrachten für die jeweiligen Produkte des Prozesses.

Mit diesen zugeteilten Emissionsfrachten kann dann der spezifische Emissionsfaktor, z.B. für Ferndampf oder Fernwärme, berechnet werden. Dieser bezieht sich auf die Sekundärenergie ab Kraftwerk. Durch Berücksichtigung der Leitungsverluste erhält man den gewünschten Emissionsfaktor bezogen auf Endenergie (Hauseingang).

# Literaturverzeichnis

---

- Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.) (2023): Klimaschutz in Kommunen - Praxisleitfaden.
- ifeu - Hertle et al. (2015): Exergetische Bewertung kommunaler Energiesysteme. Im Auftrag des Umweltbundesamtes
- ifeu - Hertle et al. (2014): Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgas-bilanzierung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorschutz.
- ifeu – Knörr et al. (seit 1993): "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030" (TREMODO). Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- IINAS - Fritsche et al. (2023): Treibhausgasemissionen und kumulierter Energieaufwand des deutschen Strommix 2022 mit Ausblick auf 2030-2050 (für HEA)
- Stadt Frankfurt (2020): Beschreibung der Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung in Frankfurt und Darstellung aktueller Ergebnisse und Entwicklungen.
- UBA (Hrsg.) (2009): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.
- UBA (Hrsg.) (2013): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.
- UBA (Hrsg.) (2018): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.
- UBA (Hrsg.) (2020): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.
- UBA (Hrsg.) (2021): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.
- UBA (Hrsg.) (2022): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.