



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 und Entwicklungen Kurzfassung

Energierreferat Stadt Frankfurt am Main
mit freundlicher Genehmigung des ifeu-Heidelberg

Frankfurt, April 2020



Anmerkung

Der Bericht basiert auf einer Veröffentlichung des ifeu zur Entwicklung einer kommunalen Bilanzierungssystematik (BISKO) für lokale THG-Emissionen. Diese ist das Ergebnis eines 1 ½ jährigen Abstimmungsprozesses zwischen kommunalen Akteuren und der Wissenschaft. Mehr zu BISKO findet sich unter https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/BISKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf

Weitere Informationen

ifeu

Wilckensstr. 3, D-69120 Heidelberg; Tel. 06221-4767-0; Fax -4767-19;

E-Mail: verkehr@ifeu.de; Internet: www.ifeu.de

Energierreferat

Adam Riese Straße 25, D-60317 Frankfurt am Main, Tel. 069-212-39193; Fax -212-39472

E-Mail: energiereferat@stadt-frankfurt.de; Internet: www.energiereferat.stadt-frankfurt.de

Inhalt

1 Einleitung	4
1.1 Kommunale Energie- und THG-Bilanzen als Monitoring-Tool	4
2 Grundlagen der Energie- und THG-Bilanzierung nach BSKO	6
2.1 Allgemeine Grundlagen	6
2.1.1 Bilanzierungsprinzip	6
2.1.2 THG-Emissionsfaktoren	7
2.1.3 Datengüte	7
2.2 Bilanzierung im stationären Bereich	8
2.2.1 Datenquellen für die Bilanzierung im stationären Bereich	8
2.2.2 Definition von Verbrauchssektoren	9
2.2.3 THG-Emissionsfaktoren	10
2.2.4 Allokation von Koppelprodukten	13
2.2.5 Witterungskorrektur	14
2.2.6 THG Emissionen nicht energetischer Sektoren	14
2.3 Methodische Empfehlungen zur BSKO-konformen Bilanzierung im Sektor Verkehr	15
2.3.1 Methodische Aspekte	15
2.3.2 Datenquellen für die Bilanzierung im Verkehr	16
3 Aktuelle Bilanzergebnisse	20
3.1 Endenergiebilanz	20
3.2 THG-Bilanz	21
3.3 Entwicklung	22
3.3.1 1990 bis 2018	23
3.3.2 Wichtige Einflussfaktoren	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4 Literaturverzeichnis	32
5 Anhang	33
Berechnung des Territorialmix Strom	33
Berechnung der exergetischen Allokation	36
Hintergrund des Harmonisierungsprozesses (BSKO-Entwicklung)	37
Kriterien bei der Entwicklung der BSKO-Methodik	37

1 Einleitung

1.1 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 Jahre¹ fortgeschrieben werden.

Die Bilanzdaten sind zudem eine wesentliche Voraussetzung für die Darstellung von Klimaschutzindikatoren im Rahmen des „Benchmarks Kommunaler Klimaschutz“. 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 Energiereferat regelmäßig den Klimaschutzbericht, in dem die Aktivitäten aller Akteure im Stadtgebiet dargestellt werden².

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“ unter Beteiligung des Klimabündnisses 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 diesem³.

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

² https://www.stvv.frankfurt.de/PARLISLINK/DDW?TEXT=klimaschutz&TEXT_O=beinhaltet+%28ungef%C4hr%29&FORMFL_OB=DATUM&FORM_SO=Absteigend&?1252?202?

³ Zuletzt ca. 500 Kommunen (vgl. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_19-2020_endbericht_sv-gutachten_bisko.pdf)

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.

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 abgewichen⁴. Im BSKO-Harmonisierungsprozess bestand Konsens über die Nutzung dieses Ansatzes, der im Praxisleitfaden Kommunaler Klimaschutz⁵ als **endenergiebasierte Territorialbilanz**⁶ 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 2017 dargestellt. Dies stellt die kommunale Basisbilanz dar.

⁴ Zudem werden bei den THG-Emissionen auch die Vorketten der Energiebereitstellung berücksichtigt (vgl. Abschnitt 2.2)

⁵ Siehe: <http://www.klimaschutz-in-kommunen.de/links-und-literatur/praxisleitfaden>

⁶ In statistischen Berichten wird hier auch von der Verursacherbilanz gesprochen (im Gegensatz zu Quellenbilanzen).

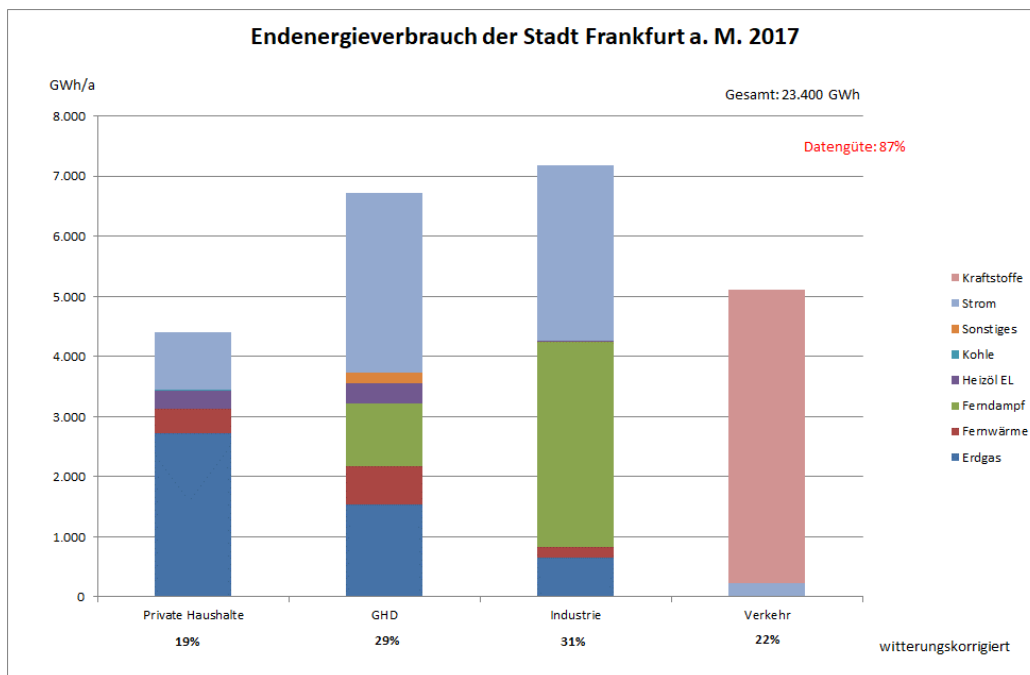


Abbildung 2-1: Frankfurts Basisbilanz Endenergie nach dem endenergiebasierten Territorialprinzip

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 CO₂-Emissionen weitere Treibhausgase (N₂O und CH₄)⁷ in CO₂-Äquivalenten und Vorketten⁸ bei den Emissionsfaktoren zu berücksichtigen.**

In Frankfurter THG-Bilanzen werden ebenfalls von Anfang an CO₂-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 CO₂-Bilanz etabliert.

2.1.3 Datengüte

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

⁷ Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe bzw. perfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC, PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆), 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.

⁸ Hier nur energiebezogene Vorketten (u.a. Infrastruktur, Abbau und Transport von Energieträgern).

Zur Ermittlung der Datengüte wird das Vorgehen aus dem Praxisleitfaden Kommunalen 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 werden⁹.

Für Frankfurt ergibt sich im Jahr 2017 beispielhaft eine Datengüte von 89 %. 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. In einigen Bundesländern gibt es bereits verschiedene Unterstützungsangebote seitens des Landes, der Landesenergieagenturen oder von anderen Stellen.

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 3-1 entnommen werden.

⁹ Ein Beispiel zur Berechnung der Datengüte findet sich unter http://www.leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/leitfaden/b4-quantitative-ist-analyse-co2-bilanz.html#toc4_2

Tabelle 3-1: Datenquellen für kommunale Energie- und THG-Bilanzen im stationären Bereich

Datenquelle	Inhalt	Berücksichtigte Sektoren	Datengüte
Mainova / Syna	Energieverbrauch Strom und Erdgas für Gesamtkommune ¹⁰	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, Griesheim, 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
Schornsteinfegerdaten - Schornsteinfegerinnung Rhein Main	Ermittlung Heizöl- und Kohleverbrauch über Leistung der Kessel/Öfen ¹¹	Private Haushalte und GHD	B
Energiemanagement Hochbauamt	Strom- und Wärmeverbrauch kommunale Gebäude	GHD	A
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

¹⁰ Vielfach liegen Informationen zur Aufteilung der einzelnen Verbrauchssektoren über Standardlastprofile (SLP) und Kunden mit Registrierter-Leistungs-Messung (RLM) vor.

¹¹ Bei der Abfrage ist zu klären, ob die Kehrbezirke auch mit den Grenzen der Kommune übereinstimmen. Eine Abfrage nach PLZ ist hier förderlich.

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 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 für das 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 CO₂-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 empfohlen¹².

Tabelle 3-2: Emissionsfaktoren Endenergie Wärme (t/MWh) in CO₂-Äquivalenten

Zeiträume	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	Quelle	Genauere Prozessbezeichnung
Erdgas	0,257	0,258	0,250	0,247	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Gas Heizung Brennwert DE (Endenergie)

¹² Mit der neuen Version von GEMIS 4.94 wurden einige Werte gegenüber dem ifeu-Paper aus dem April 2014 geringfügig angepasst.

Heizöl	0,320	0,321	0,320	0,318	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Öl-Heizung DE (Endenergie)
Biomasse	0,036	0,028	0,027	0,025	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Holz Pellet Holzwirt. Heizung 10kW (Endenergie)
Flüssiggas	0,277	0,278	0,267	0,276	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Flüssiggas Heizung-DE (Endenergie) Ab 2015: Flüssiggas (LPG)-Heizung-DE (Endenergie)
Steinkohle	0,464	0,443	0,444	0,438	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Kohle Brikett Heizung DE (Endenergie)
Braunkohle	0,437	0,436	0,434	0,411	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Braunkohle Brikett Heizung DE (Mix Lausitz/rheinisch)
Solarthermie	0,049	0,047	0,025	0,024	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Solarkollektor Flach DE
Fernwärme	0,270	0,270	0,270	0,270	Eigene Berechnung	Fernwärme aus Kohle-KWK
Sonstige erneuerbare Energieträger	0,025	0,025	0,025	0,025	ifeu (Annahme)	individuell veränderbar
Sonstige konventionelle Energieträger	0,330	0,330	0,330	0,025	ifeu (Annahme)	individuell veränderbar

Tabelle 3-3: Emissionsfaktoren ohne Brennstoffinputinformationen in t/MWh in CO₂-Äquivalenten für KWK-Wärme

Zeiträume	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	Quelle	Genaue Prozessbezeichnung
Feste Biomasse (KWK)	0,077	0,077	0,077	0,029	UBA 2009, UBA 2013, UBA 2018	Waldholz-DT-HKW; ab 2015 Wald-Restholz – TA Luft
Flüssige Biomasse	0,108	0,108	0,154	0,116	UBA 2009, UBA 2013, UBA 2018	Palmöl-BHKW-gross-DE-2010 (IST) (anpasst an UBA- 2013); ab 2015 Palmöl BHKW TA-Luft
Biogas	0,052	0,052	0,056	0,113	UBA 2009, UBA 2013, UBA 2018	Biogas-Gülle-BHKW-500kW 2010 (IST) ab 2015 Biogas (Gülle) BHKW TA-Luft

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 BSKO-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 vom ifeu für alle einzelnen Jahre berechnet.

Tabelle 3-4: Zeitreihe Strom Bundesmix (Quelle: ifeu-Strommaster¹³) in t/MWh in CO₂-Äquivalenten

¹³ Derzeit werden im ifeu-Strommaster zwar Vorketten, allerdings noch nicht die Infrastruktur berücksichtigt, welche u.a. für die Bewertung von Strom aus Erneuerbare Energien-Anlagen wichtig ist. Dies wird aktuell angepasst.

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

Neben der Nutzung des Bundesmixes Strom gibt es die Möglichkeit, lokale Bemühungen im Stromerzeugungsbereich anhand eines Territorialmix Strom zu berücksichtigen. Dieser Territorialmix Strom soll darstellen, inwieweit die regionale Energieversorgungsstruktur zum Klimaschutz beiträgt.

Es soll damit keine zweite THG-Bilanz mit einem zweiten Wert der Emissionen erzeugt werden, sondern die Einsparung/Steigerung der THG-Emissionen in Relation zur Basisbilanz nachrichtlich dargestellt werden.

In Frankfurt werden die THG-Bilanzen ebenfalls mit dem Strom-Bundesmix gerechnet. Parallel wird ein territorialer Mix berechnet und nachrichtlich ausgewiesen (vgl. Tabelle 3-5 und beispielhaft für das Bilanzjahr 2013 in Abbildung 3-1). In diesem werden alle Kraftwerke und Strom-einspeisenden Anlagen in Frankfurt berücksichtigt. Aktuell machen die lokalen Anlagen einen Anteil von aktuell ca. 42 % am Stromverbrauch in Frankfurt aus. Dies bedeutet, dass größere Veränderungen des lokalen Kraftwerksparks (Umstellung Energieträger, Abschaltung eines Kraftwerks) auch entsprechend Auswirkungen auf den territorialen Mix haben. Es wird deutlich, dass sich der Bundesstrommix seit dem Bilanzjahr 1992¹⁴ aufgrund des bundesweiten Ausbaus erneuerbarer Energien und der Abschaltung von ineffizienten THG-intensiven Kraftwerken deutlich verbessert hat. Der Frankfurter Territorialmix war im gleichen Zeitraum zunächst aufgrund effizienterer KWK-Technik niedriger und in den letzten Jahren leicht höher als der Bundesmix.

Tabelle 3-5: Zeitreihe Strom Bundesmix (Quelle: ifeu-Strommaster) und Frankfurt territorial in t/MWh in CO₂-Äquivalenten

Jahr	Frankfurt territorial	Bundesmix
1992	0,686	0,830
1995	0,684	0,791
2005	0,725	0,702
2008	0,689	0,656
2009	0,731	0,620
2010	0,716	0,614
2013	0,661	0,633
2015	0,612	0,600
2016	0,609	0,584
2017	0,586	0,554

¹⁴ In Frankfurt wird bereits seit 1987 bilanziert. BSKO weist erst Strommixe ab 1990 aus.

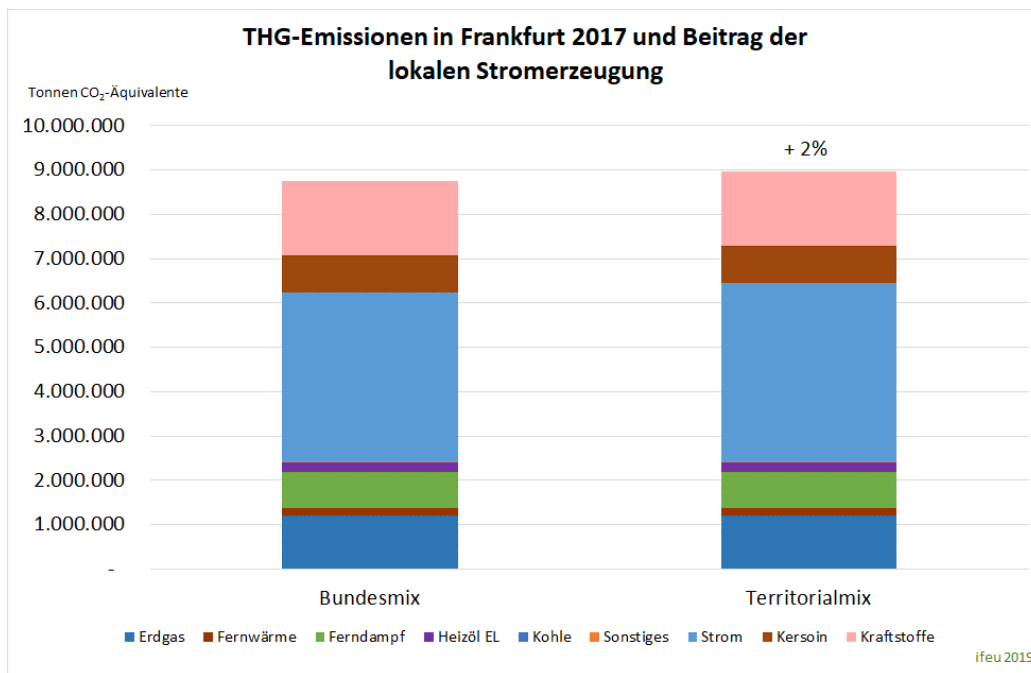


Abbildung 2-2: Frankfurt mit territorialen Mix (Strom) vs. einer mit dem Bundesmix berechneten Bilanz (inkl. Flugverkehr)

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 2015¹⁵) 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 6.2 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 3-6: Wärmemixe für die Energie- und THG-Bilanz der Stadt Frankfurt (Bilanzjahr 2017) in t/CO₂-Äquivalente MWh

Fernwärme

¹⁵ Mehr Informationen zur exergetischen Bewertung unter: https://www.ifeu.de/index.php?bereich=ene&seite=exergetische_bewertung

THG - Faktor Fernwärme	137
Ferndampf	
THG - Faktor Ferndampf Gewerbe	324
THG - Faktor Ferndampf Industrie	141

2.2.5 Witterungskorrektur

Die Witterungskorrektur bei kommunalen Energie- und THG-Bilanzen wird häufig durchgeführt. Im Rahmen des der BSKO-Bilanzierung wurde jedoch für die Basisbilanz einer Kommune davon Abstand genommen¹⁶.

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.

2.2.6 THG Emissionen nicht energetischer Sektoren

80% der gesamten THG-Emissionen in Deutschland resultieren aus dem Energieverbrauch. Zu den verbleibenden 20% der THG-Emissionen tragen vor allem industrielle Prozesse, Landwirtschaft sowie Abfall (und Abwasser) bei. In Frankfurt liegt der Schwerpunkt derzeit auf der Bilanzierung energetisch-bedingter THG-Emissionen. Es gibt wenige Beispiele, bei denen die beschriebenen THG-Emissionen zusätzlich bilanziert werden¹⁷.

Erste Vorschläge für eine vereinfachte Darstellung wurden im Praxisleitfaden Kommunaler Klimaschutz präsentiert, um in einer einmaligen überschlägigen Kurzbilanz das Verhältnis zwischen energetischen und nicht-energetischen Emissionen aufzuzeigen. Die Berechnungen erfolgen dabei auf Basis bundesweit ermittelter Kennwerte, die mit lokalen Basisdaten (Einwohner, Tierzahlen, Flächen) verknüpft werden. Aufgrund der wenig vorliegenden lokalen Daten wird empfohlen, bei der Erstellung der Bilanz nur eine überschlägige Ermittlung der nicht-energetischen THG-Emissionen in einer Nebenbilanz durchzuführen. Sie sind somit nicht Teil der Basisbilanz.

Auch in Frankfurt werden die nicht-energetischen Sektoren nicht bilanziert. Alle energie-relevanten Emissionen dieser Sektoren (Abfallverbrennung, Klärschlammverbrennung) werden jedoch bilanziert.

¹⁶ Die Hintergründe können der Langfassung des Methodenpapiers (2014) entnommen werden.

¹⁷ z.B. bei GRIP (<http://www.euco2.eu/resources/Brosch%C3%BCre-Deutsch-Kurzfassung.pdf>)

2.3 Methodische Empfehlungen zur BSKO-konformen Bilanzierung im Sektor Verkehr

2.3.1 Methodische Aspekte

BSKO 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.

Die Treibhausgasbilanz für den Verkehr im Territorium der Kommune umfasst sowohl gut kommunal beeinflussbare Verkehre als auch solche Verkehre, die kaum durch kommunale Maßnahmen beeinflusst werden können. Unter der Voraussetzung, dass die empfohlene erweiterte Differenzierung im Straßenverkehr durchgeführt wurde, können alle Verkehrsaktivitäten und damit verbundene Emissionen in der Bilanz entsprechend ihrer Beeinflussbarkeit durch kommunale Maßnahmen differenziert dargestellt werden. Als gut kommunal beeinflussbar werden Binnen- und Quell-/Zielverkehr im Straßenverkehr (MIV, Lkw, LNF) sowie öffentlicher Personennahverkehr ÖPNV eingestuft. Emissionen aus dem Straßen- Durchgangsverkehr, öffentlichen Personenfernverkehr ÖPFV (Bahn, Reisebus, Flug) sowie aus dem Schienen- und Binnenschiffsgüterverkehr werden als kaum kommunal beeinflussbar eingestuft.¹⁸

Für eine kommunenspezifische Anpassung der Emissionsberechnungen werden die Fahrleistungen im Straßenverkehr nach Straßenkategorien (innerorts, außerorts, Autobahn) differenziert. Darüber hinausgehende 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 TREMOD¹⁹ harmonisierte und regelmäßig aktualisierte Emissionsfaktoren für alle Verkehrsmittel vor. Sie sind als nationale Kennwerte in den meistgenutzten Online-Bilanzierungstools für Deutschland direkt implementiert und werden für ausgewählte Jahre z.B. im Praxisleitfaden „Klimaschutz in Kommunen“²⁰

¹⁸ Bei entsprechender Datenverfügbarkeit kann im motorisierten Individualverkehr darüber hinaus eine Differenzierung nach Wegezwecken (Beruf, Einkauf, Privat...) durchgeführt werden. Das liefert zusätzliche

Informationen für eine zielgerichtete Identifizierung wichtiger Handlungsfelder und Maßnahmenzielgruppen und zur Ableitung maßnahmenspezifischer Minderungspotenziale auf Grundlage der Bilanz.

¹⁹ 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.

²⁰ <https://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/>

bereitgestellt. Alle Werte sind analog zu den stationären Sektoren in CO₂-Äquivalenten (CO₂, CH₄, N₂O) inkl. Vorkette der Energieträgerbereitstellung.

Abbildung 4-1 stellt die Empfehlungen zur Bilanzierungssystematik im Verkehr grafisch dar.

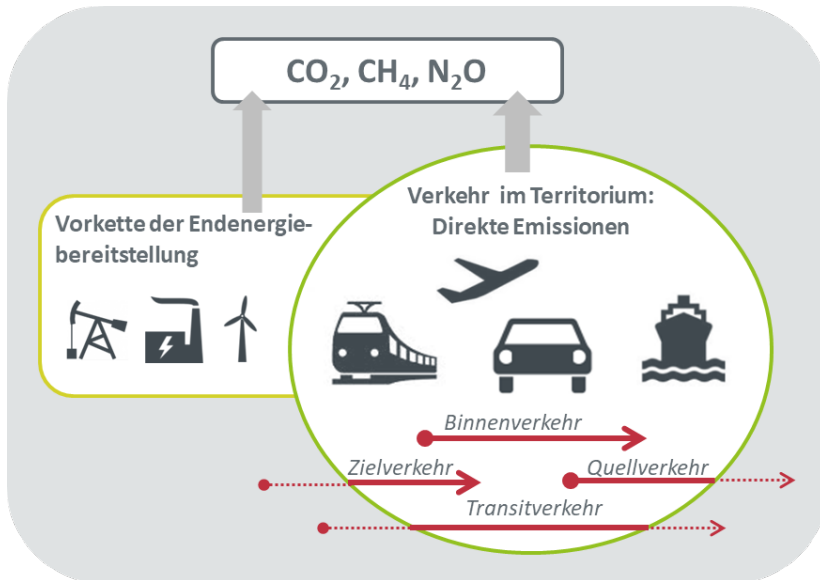


Abbildung 2-3: ifeu-Empfehlungen zur Bilanzierungssystematik im Verkehr

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 Verkehrszähl- und Verkehrsdaten für das Stadtgebiet Frankfurt. Für das Analysejahr 2014 sowie einen Prognose-Nullfall 2030 wurden vom Referat Mobilitäts- und

Verkehrsplanung Daten aus dem Verkehrsmodell zur Verfügung gestellt. Diese umfassen werktägliche Fahrleistungen differenziert nach Pkw und verschiedenen Lkw-Größenklassen, nach verschiedenen Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie unterschieden nach Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr. Außerdem wurden aggregierte zeitliche Entwicklungen aus der langjährigen Frankfurter Stadtrandzählung mit jeweils etwa 60 Zählpunkten am inneren und äußeren Kordon bereitgestellt²¹. Über die automatischen Zählstellen der Bundesanstalt für Straßenwesen²² 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 2018 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 2014-2018 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 Kordon²³ fortgeschrieben. Dabei wurde mangels zusätzlicher Informationen nicht zwischen verschiedenen Kfz-Kategorien unterschieden. Am äußeren Kordon sind die Verkehrsmengen 2014-2018 um 7 % angestiegen. Diese Entwicklung wurde für den gesamten Außerortsverkehr angenommen. Am inneren Kordon hat der Verkehr um 3 % abgenommen. Der innerörtliche Verkehr in Frankfurt umfasst allerdings neben dem Stadtzentrum innerhalb des Kordons, wo entsprechend von einer Verkehrsabnahme auszugehen ist, auch die Gebiete zwischen innerem und äußerem Kordon, wo Verkehrszunahmen nach außen und Verkehrsabnahmen ins Stadtzentrum gleichermaßen auftreten. Daher wird für den Innerortsverkehr vereinfachend eine Stagnation der Kfz-Verkehrsmengen angenommen.

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 **Schieneverkehr** und **Binnenschifffahrt** sowie der Stadt Frankfurt zugerechneten **LTO-bezogenen Emissionen des Flugverkehrs**

²¹ [https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=19546194&ffmparf_id_inhalt\]=29120101](https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=19546194&ffmparf_id_inhalt]=29120101)

²² https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Verkehrszaehlung.html

²³ Aus den Verkehrszählungen des Referats für Mobilität und Verkehrsplanung: Der äußere Kordon (rd. 60 Zählpunkte) enthält alle Straßen die die Stadtgrenze überqueren, mit Ausnahme der durchgehenden Autobahnen, alle Zu- und Abfahrten an Autobahnen und alle im Stadtgebiet endenden bzw. beginnenden Autobahnen. Der innere Kordon (rd. 65 Zählpunkte) enthält Alleenring, Hauptbahnhofs- und Messeachse, sowie die Mainbrücken.

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 Zugbetrieb und Rangierbetrieb für ein Fahrplanjahr. Davon ausgehend wurden von ifeu prozentuale Aufteilungen der Energieverbräuche im Schienenverkehr auf alle Gemeinden abgeleitet und anschließend anhand der in TREMOD²⁴ enthaltenen jährlichen Energieverbräuche des gesamtdeutschen 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 1 sind die berücksichtigten Verkehrsmittel und die jeweilige Quelle für Verkehrsdaten der Stadt Frankfurt am Main dargestellt.

Tabelle 7: Quellen für Verkehrsdaten in Frankfurt am Main in den Treibhausgasbilanzen der Jahre 2015-2018

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

Zur Berechnung der Endenergieverbräuche und Treibhausgasemissionen werden aktuelle fahr- und verkehrsleistungsspezifische Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsfaktoren aus dem Modell TREMOD²⁵ 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 CO₂-

²⁴ 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.

²⁵ 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.

Minderungsziele der Europäischen Kommission, die Zunahme des Anteils von Diesel-Pkw, Beimischung von Biokraftstoffen, etc. abgebildet

3 Aktuelle Bilanzergebnisse

3.1 Endenergieverbrauch der Stadt Frankfurt a. M. 2017

Der witterungskorrigierte Endenergieeinsatz der Stadt Frankfurt a. M. betrug im Jahr 2017 rund 23.400 GWh (Abbildung 3-1). Davon entfielen auf die Sektoren Industrie und GHD mit 31 % (7.200 GWh) und 29 % (6.700 GWh) des Gesamtverbrauchs die größten Anteile. Der Sektor Private Haushalte verbrauchte davon etwa 19 % (4.400 GWh) und der Sektor Verkehr (ohne Flughafen) 22 % (5.100 GWh).

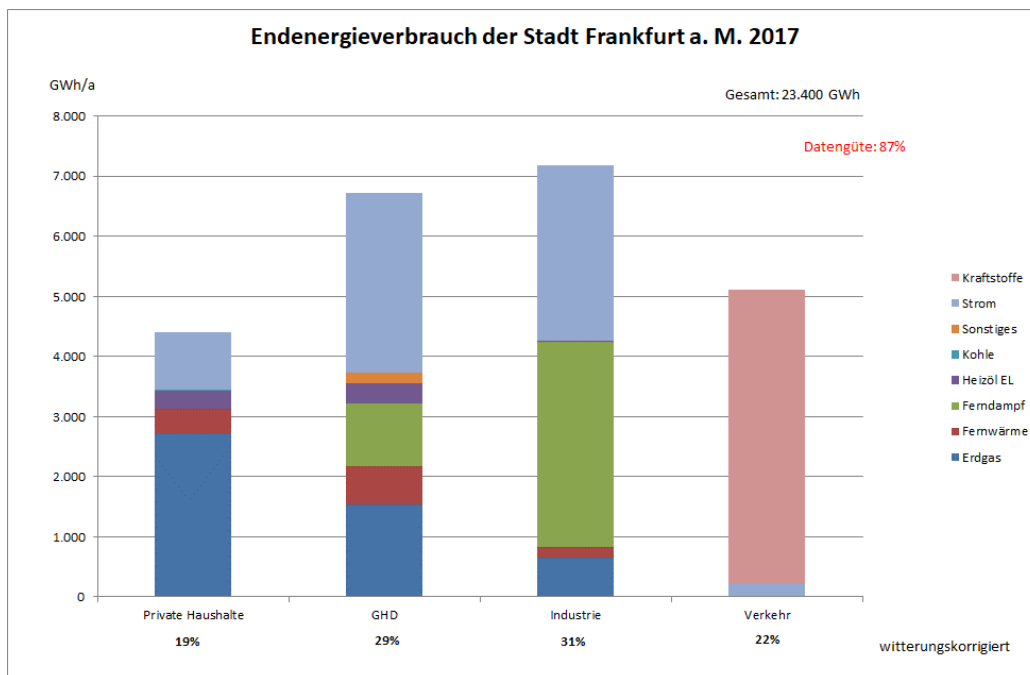


Abbildung 3-1: Endenergieverbrauch der Stadt Frankfurt a. M. 2017 nach Sektoren und Energieträgern

Im Sektor Private Haushalte dominiert der Energieträger Erdgas mit 61 % (2.700 GWh). Danach folgt der Stromverbrauch mit einem Anteil von 21 % (900 GWh). Wärmebereitstellungen aus Fernwärme (9 % und 400 GWh) und Heizöl (7 % und 300 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 (siehe Abbildung 3-2).

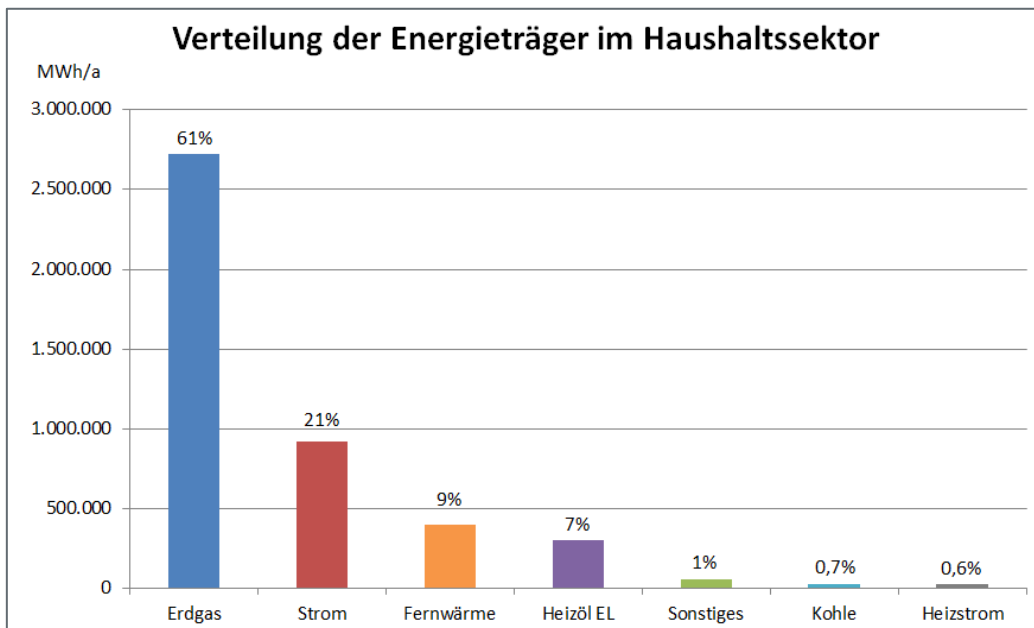


Abbildung 3-2: Verteilung der Energieträger im privaten Haushaltssektor

Beim Sektor GHD dominiert der Energieträger Strom mit einem Anteil von 44 % (3.000 GWh), gefolgt von Erdgas mit 23 % (1.500 GWh) und Ferndampf mit 16 % (1.000 GWh). Der Anteil der Wärme aus Fernwärme betrug 9 % (600 GWh) und der Anteil aus Heizöl 5 % (300 GWh). Der Anteil sonstiger Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Sektors Gewerbe betrug im Jahr 2017 3 % (200 GWh).

Im Sektor Industrie wurde im Jahr 2017 am meisten Energie verbraucht. Der größte Anteil fällt hier auf den Energieträger Ferndampf mit 48 % (3.400 GWh) zurück, gefolgt von Strom mit 41 % (2.900 GWh). Der Anteil der Wärme aus Erdgas (9 % und 600 GWh) und Fernwärme (3 % und 200 GWh) ist in diesem Sektor eher gering.

3.2 THG-Emissionen der Stadt Frankfurt a. M. 2017

Anhand der verbrauchten Energieträger und anhand spezifischer Emissionsfaktoren lässt sich aus der Endenergiebilanz eine witterungskorrigierte **THG-Bilanz** ermitteln. Demnach wurden im Jahr 2017 rund 7,9 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente emittiert (Abbildung 3-3). Die höchsten THG-Emissionen finden sich im Sektor GHD mit einem Anteil von 33 % (2,6 Mio. t CO₂ eq), gefolgt vom Sektor Industrie mit 29 % (2,3 Mio. t CO₂ eq). Im Verkehrssektor werden anteilig etwa 21 % (1,7 Mio. t CO₂ eq) und im Sektor Private Haushalte etwa 17 % (1,4 Mio. t CO₂ 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 48 % und Kraftstoffe 21 %) verantwortlich. 15 % der Emissionen entstehen durch den Erdgasverbrauch und etwa 10 % durch den Ferndampfverbrauch. Heizöl und Fernwärme machen lediglich einen kleinen Teil aus mit jeweils 3 % und 2 %.

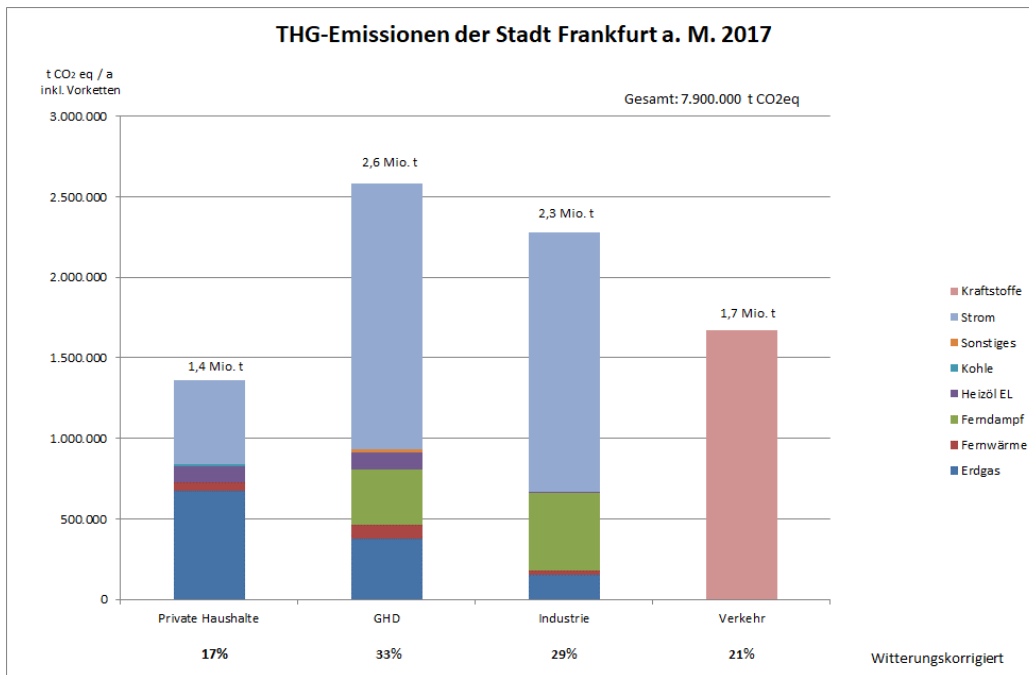


Abbildung 3-3: THG-Emissionen der Stadt Frankfurt a. M. 2017 nach Sektoren und Energieträgern

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 jedoch 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 den oben aufgeführten THG-Emissionen nicht dargestellt.

Für das Jahr 2017 machen die mit dem Flugverkehr verbundenen THG-Emissionen knapp 900.000 Tonnen CO₂eq aus. In einer Frankfurter THG-Bilanz mit Flugverkehr beträgt der Anteil des Flugverkehrs damit etwas mehr als 10 % der gesamten Frankfurter THG-Emissionen.

Nachrichtliche THG-Bilanz mit Regionalmix

Werden in der Frankfurter Bilanz zur Bewertung der THG-Emissionen aus Stromverbrauch die lokalen Anlagen berücksichtigt, erhöhen sich die THG-Emissionen in Frankfurt (ohne Flugverkehr) um 3 % (vgl. Abbildung 3-4). Die ist darauf zurückzuführen, dass die lokalen Anlagen im Jahr 2017 einen Anteil von 42,5 % am lokalen Stromverbrauch hatten und dabei Strom mit 629 g/kWh erzeugten (Bundesmix 554 g/kWh).

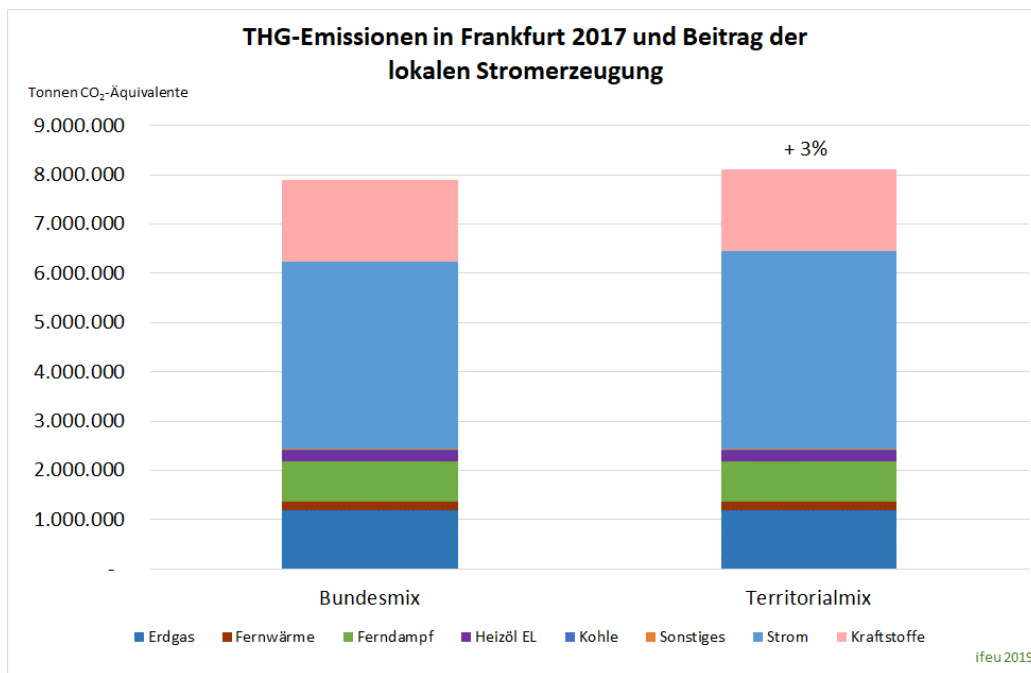


Abbildung 3-4: Frankfurt mit territorialen Mix (Strom) vs. einer mit dem Bundesmix berechneten Bilanz

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

3.3.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs 1990 bis 2017

Insgesamt lässt sich in den Jahren 1990 bis 2017 ein leichter Anstieg des Endenergieverbrauchs um 1 % erkennen (Abbildung 3-4). Es gab zwischen den Jahren 1995 bis 2010 Einsparungen zwischen 4 % bis 7 %, ab dem Jahr 2015 stiegen die Endenergieverbräuche bis 2017 wieder jeweils um 1 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 an. Diese Schwankungen sind aufgrund verschiedener Entwicklungen in den einzelnen Sektoren zurückzuführen, welche im Folgenden kurz erläutert werden.

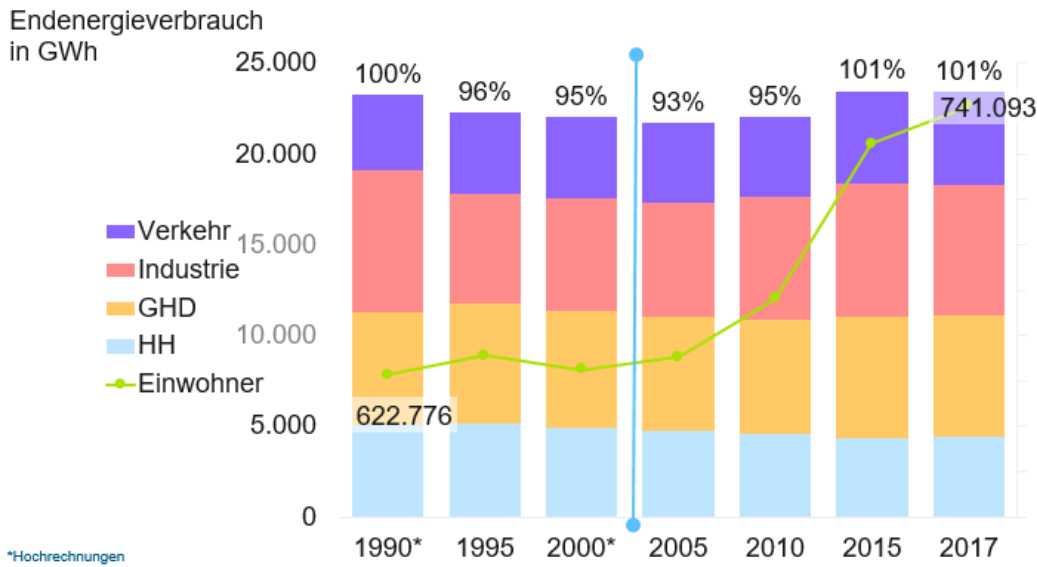


Abbildung 3-5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Frankfurt a. M. nach Sektoren 1990 - 2017

Im Sektor Private Haushalte sind die Endenergieverbräuche im gesamten Zeitraum zwischen 1990 und 2007 um rund 13 % gesunken. Gleichzeitig wuchs die Bevölkerung in Frankfurt im selben Zeitraum um 17 % auf rund 741.000 Einwohner*innen im Jahr 2017 (+108.000 Einwohner*innen). Die Reduktionen sind deswegen sowohl durch effizientere Geräte im Strombereich als auch Sanierungen im Altbau sowie höheren Standards im Neubau zurückzuführen.

Im Sektor GHD hat der Verbrauch im Zeitraum zwischen 1990 und 2017 insgesamt um 8 % zugenommen. In den Jahren dazwischen hat sich der Energieverbrauch nur geringfügig geändert, lag aber konstant über dem Niveau von 1990. Seit dem Bilanzjahr 2017 wird der Stromverbrauch der Rechenzentren erhoben, welche in Frankfurt am Main stationiert sind. Es ist davon auszugehen, dass der steigende Stromverbrauch der Rechenzentren hohe Relevanz für die Entwicklung des Energieverbrauchs in diesem Sektor hat. Frankfurt wurde in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem europäischen Knotenpunkt für Internetverkehr. Zudem verfügen lokale Unternehmen über größere Rechenzentren im Stadtgebiet. Im Jahr 2017 lag der Stromverbrauch der Rechenzentren bei rund 1.100 GWh. Dies entspricht bereits jeweils einem Sechstel des Energieverbrauchs des Sektors GHD bzw. des gesamten Stromverbrauchs in Frankfurt.

Der Energieverbrauch im Sektor Industrie ist im Jahr 2017 verglichen mit dem Basisjahr 1990 um 8 % gesunken. Vor allem zwischen den Jahren 1990 und 1995 sank der Energieverbrauch aufgrund der Schließung größerer industrieller Betriebe in Frankfurt um 23 % (vgl. Abbildung 3-5). Danach steigerte sich sowohl der Energieverbrauch als auch der Umsatz der Frankfurter Industriebetriebe wieder kontinuierlich. Zuletzt lag der Umsatz der Frankfurter Industrie im Jahr 2017 rund 9 % über dem Wert von 1995. Gleichzeitig wurden rund 8 % weniger Energie verbraucht. Hier gab es also eine Steigerung der Energieproduktivität.

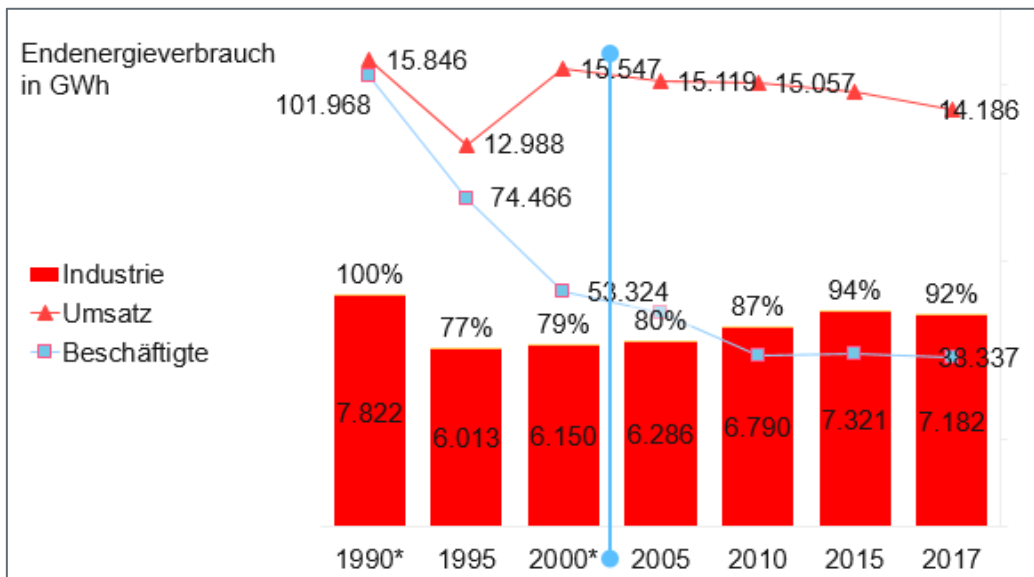


Abbildung 3-6: Detaillierte Entwicklungen im Endenergieverbrauch und statistischer Kennwerte im Sektor Industrie (*1990 und 2000 basieren auf approximierten Werten)

Im Verkehrssektor hat der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor um rund 23 % zugenommen. Grund hierfür ist eine Steigerung des Durchgangsverkehrs, des Lieferverkehrs im Stadtgebiet und einer allgemeinen Verkehrszunahme auf allen Straßentypen (inkl. Autobahnen) aufgrund der gesteigerten Bevölkerung in Frankfurt und im Rhein-Main-Gebiet. Der mit Flugverkehr verbundene Energieverbrauch ist seit 1990 in Frankfurt um 37 % gestiegen. Dies ist auf die deutliche Zunahme der Start- und Landebewegungen am Frankfurter Flughafen zurückzuführen, welche seitens der Betreiber an die statistische Landesämter weitergeleitet werden und in TREMOD AV verarbeitet werden.

3.3.2 Entwicklung der THG-Emissionen 1990-2017

2017 konnten in der Stadt Frankfurt a. M. rund 20 % der THG-Emissionen verglichen mit dem Basisjahr 1990 eingespart werden (Abbildung 3-5). Damit ergibt sich beim THG-Ausstoß eine deutliche Reduktion im Vergleich zum Energieverbrauch, der bis zum Jahr 2017 um 1 % 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 1990 noch bei 872 g/kWh Stromverbrauch, sank dieser bis zum Jahr 2017 auf 554 g/kWh.

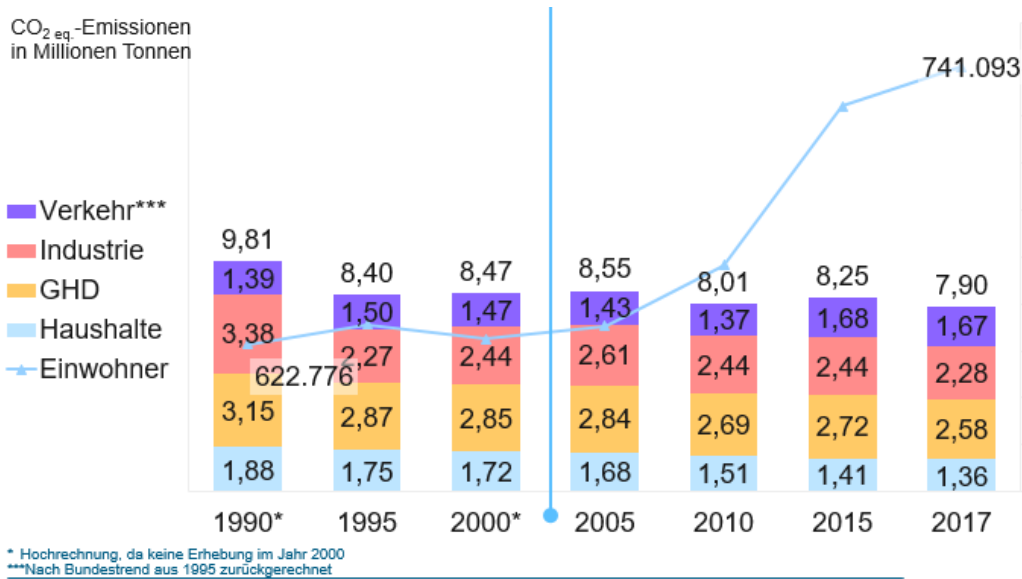


Abbildung 3-7: Entwicklung der THG-Emissionen in Frankfurt a. M. nach Sektoren 1990 – 2017

In Abbildung 3-6 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 1990 noch bei 15,7 Tonnen CO₂eq, wurden diese bis zum Jahr 2017 auf 10,7 Tonnen CO₂eq pro Kopf reduziert. Dies entspricht einem Rückgang von 32 % gegenüber dem Ausgangsjahr 1990.

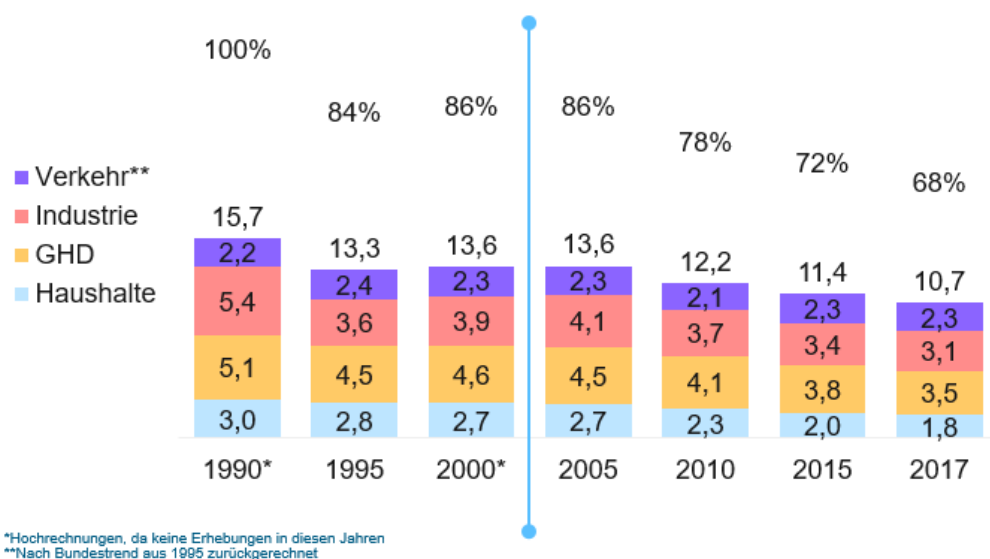


Abbildung 3-8: Entwicklung der THG-Emissionen pro Kopf in Frankfurt a. M. nach Sektoren (Werte entsprechen Tonnen CO₂eq pro Kopf)

In allen stationären Sektoren (Industrie, GHD und Private Haushalte) konnten bis zum Jahr 2017 THG-Emissionen eingespart werden. Lediglich im Verkehrssektor stiegen die THG-Emissionen prozentual ähnlich stark an, wie auch beim Energieverbrauch. Dies liegt vor allem daran, dass in diesem Sektor nach wie vor größtenteils fossile Kraftstoffe verwendet werden.

Bei den Privaten Haushalten konnten trotz des Bevölkerungswachstums THG-Emissionen eingespart werden. Die Emissionen sind von rund 1,9 Mio. t CO₂ eq im Jahr 1990 auf rund 1,4 Mio. t CO₂ eq im Jahr 2017 um insgesamt 520.000 Tonnen gesunken. Dies entspricht einer THG-Einsparung in diesem Sektor von 27 %. Diese Senkung der THG-Emissionen ist neben der oben beschriebenen Steigerung der Energieeffizienz auch auf die Umstellung auf klimafreundlichere Energieträger zurückzuführen. Insbesondere der Ersatz von Heizölheizungen zugunsten von Fernwärme oder Erdgas konnte hier einen Beitrag leisten.

Die THG-Emissionen im Gewerbesektor sind von rund 3,2 Mio. t CO₂ eq auf rund 2,6 Mio. t CO₂ eq um insgesamt 770.000 Tonnen gesunken. Damit konnten im Sektor GHD im Zeitraum 1990 bis 2017 insgesamt 18 % der THG-Emissionen eingespart werden. Dies konnte trotz des massiven Ausbaus der Rechenzentren erreicht werden, durch welchen im Jahr 2017 ca. 575.000 t CO₂ eq emittiert wurden. Der Sektor GHD profitierte aufgrund des hohen Stromanteils insbesondere von der positiven Entwicklung des Bundesstrommixes (siehe oben). Gleichzeitig weist der Sektor auch vielfach Einsparungen durch Effizienzgewinne (siehe oben) aus.

Betrachtet man die Entwicklung der einzelnen Sektoren wird deutlich, dass im Sektor Industrie die meisten THG-Emissionen eingespart werden konnten. Im Zeitraum zwischen 1990 und 2017 konnten insgesamt rund 33 % eingespart werden. Dies entspricht einer THG-Einsparung von rund 3,4 Mio. t CO₂ eq im Jahr 1990 auf rund 2,3 Mio. t CO₂ eq in 2017 um insgesamt 1,1 Mio. Tonnen. Gründe für diese Entwicklung sind zum einen die wirtschaftliche Krise des produzierenden Gewerbes Anfang der 1990er Jahre (siehe oben), der verbesserte Strommix sowie die Nutzung klimafreundlicherer Energieträger zur Prozesswärmeerzeugung.

Die THG-Emissionen im Sektor Verkehr stiegen seit 1990 von rund 1,5 Mio. t CO₂ eq auf rund 1,7 Mio. t CO₂ eq im Jahr 2017 um insgesamt 170.000 Tonnen. Dies entspricht einem Anstieg von 11 %. Die Erhöhung der THG-Emissionen ist u. a. aufgrund des beim Endenergieverbrauchs beschriebenen Verkehrszunahmen zurückzuführen. Auch die Nutzung klimafreundlicherer Kraftstoffe hat noch keine größeren Auswirkungen auf die mit dem Energieverbrauch verbundenen THG-Emissionen. Einerseits konnte der Anteil von erneuerbaren Energien bei den fossilen Kraftstoffen nur bedingt gesteigert werden (u.a. durch E10-Kraftstoffe), andererseits ist der Anteil der Elektromobilität am Gesamtverkehr noch sehr gering. Die THG-Emissionen im Flugverkehr steigerten sich ebenfalls aufgrund des erhöhten Flugaufkommens. Zwischen 1990 und 2017 erhöhten sich die mit Flugverkehr verbundenen THG-Emissionen um 44 % (vgl. Abbildung 3-8).

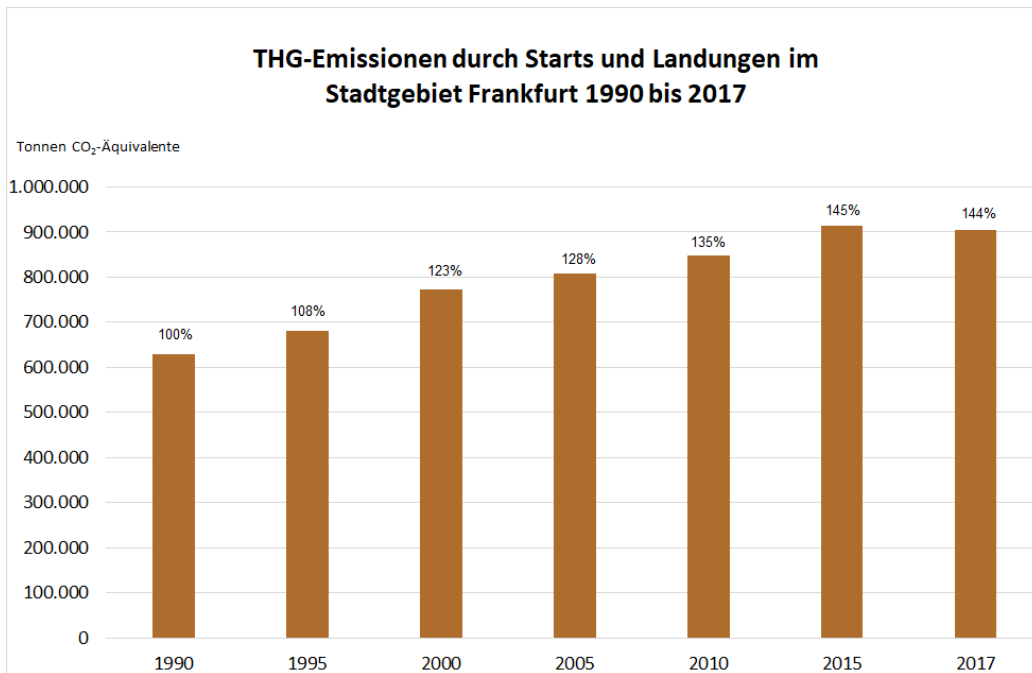


Abbildung 3-9: Entwicklungen der THG-Emissionen aus Flugverkehr im Stadtgebiet Frankfurt

3.4 Entwicklung der klimafreundlichen Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien

Erneuerbare Energien haben teilweise (z.B. Freiflächen-PV, Biomassenerzeugung, Windenergie) hohe Flächeninanspruchnahme. Großstädte wie Frankfurt stehen aufgrund der knappen Flächen deswegen vor der Herausforderung, den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen. Hier gilt es, die mit dem städtischen Energiesystem verbundenen Vorteile (Fernwärme, Bebauungsdichte, Dachflächen) effizient zu nutzen.

Im Jahr 2017 wurden in Frankfurt 820 GWh aus erneuerbarer Energie erzeugt. Damit lag der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Endenergieverbrauch im stationären Bereich (ohne Verkehr) bei 4,6 %. Seit dem Jahr 2005 (2,3 %) konnte dieser kontinuierlich gesteigert werden (vgl. Abbildung 3-9).

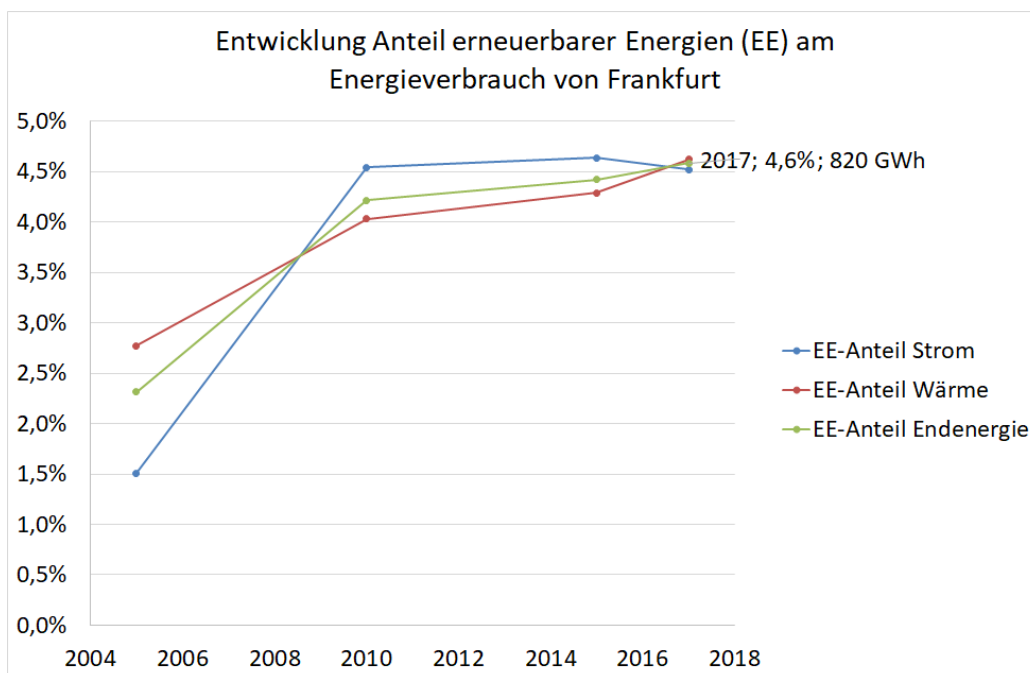


Abbildung 3-10: Anteile erneuerbarer Energien im Stadtgebiet Frankfurt (Gesamt, Strom und Wärme)

Der in Frankfurt erzeugte erneuerbaren Stromes hatte mit 309 GWh einen Anteil von 4,5 % am Stromverbrauch im Stadtgebiet. Den größten Beitrag davon stellte die Stromerzeugung mittels Abfalls (biogener Anteil) im Müllheizkraftwerk (38 %) und die Stromerzeugung im Biomasseheizkraftwerk Fechenheim (27 %). Daneben spielte noch die Stromerzeugung von aus PV-Anlagen (9 %), Wasserkraft (8 %) und Biomethan (7 %) eine größere Rolle.

Der Anteil des erneuerbaren Stromverbrauchs konnte seit 2005 (Anteil 1,5 %) immer weiter ausgebaut werden (vgl. Abbildung 3-9). Dies ist v.a. auf den Ausbau von PV-Anlagen (2005 bis 2017: +1861%) und der Fernwärmeerzeugung aus Müllverbrennung (+137%) sowie der Inbetriebnahmen des Biomasseheizkraftwerks Fechenheim zurückzuführen.

Die Mainova hat als städtisches Unternehmen darüber hinaus außerhalb des Stadtgebiets Beteiligungen an erneuerbare Energien-Anlagen. In diesen Anlagen werden 188 GWh Strom erzeugt (Windkraft 83 %; PV 17 %). Würden diese Anlagen zu den lokal erzeugten Strom hinzugerechnet werden, läge der Anteil erneuerbaren Stroms bei 7 %.

Die in Frankfurt erzeugte erneuerbare Wärme hatte mit 511 GWh einen Anteil von 4,6 % am Wärmeverbrauch im Stadtgebiet. Den größten Beitrag davon stellte die Fernwärmeerzeugung mittels Abfalls (biogener Anteil) im Müllheizkraftwerk (45 %) sowie die Wärme aus der Klärschlammverbrennung der Anlagen von SEVA und Infra-serv (42 %).

Auch der Anteil der erneuerbaren Wärmeerzeugung konnte seit 2005 (Anteil 2,8 %) immer weiter ausgebaut werden (vgl. Abbildung 3-9). Dies ist absolut v.a. auf den Ausbau der Fernwärmeauskopplung aus Müllverbrennung (+148%) zurückzuführen.

Daneben haben insbesondere erneuerbare Wärmeerzeugung aus dezentralen Anlagen deutlich zugenommen. So konnte die dezentrale Wärmeerzeugung aus Biomasse um 413 % und Solarthermie um 209 % gesteigert werden. Auch die Fernwärmeauskopplung aus dem Biomasseheizkraftwerk Fechenheim hat 2017 einen Anteil von 2 %)

3.5 Städtische Maßnahmen zur Verbesserung der THG-Bilanz

Die Stadtverwaltung selbst hat nur begrenzte Möglichkeiten, die oben beschriebenen THG-Emissionen zu beeinflussen.

Innerhalb ihrer Möglichkeiten war sie jedoch in vielen Bereichen aktiv. Beispielsweise müssen bei allen Neubauten in Frankfurt die gesetzlichen Vorgaben bezüglich des Energiestandards eingehalten werden. Dieser Standard wurde stets ambitionierter, hat aber ca. einen dreifach höheren Energieverbrauch pro Quadratmeter als der Passivhausstandard. Frankfurt beschloss bereits 2007 neue Gebäude nur noch im Passivhausstandard zu errichten und auch bei Erbpachtverträgen diesen Standard vorzuschreiben. Dadurch wurde die Stadt Frankfurt so zum städtischen Passivhausvorreiter in Deutschland.

Die Energieeffizienz von Rechenzentren wird ebenfalls auf Bundes- und EU-Ebene entschieden. Die Stadt Frankfurt versucht auf lokaler Ebene die Abwärmepotenziale der Rechenzentren zu nutzen und hat dafür ein Abwärmekataster entwickelt.

Städtische Maßnahmen für verschiedene Zielgruppen haben zwischen 1990 und dem Jahr 2017 knapp 270.000 Tonnen CO₂ eq eingespart (vgl. Abbildung 3-6). Bei den privaten Haushalten hat die Stadt beispielsweise durch Förderprogramme („Frankfurt spart Strom“, Energieberatungen („Energiepunkt – Energieberatungszentrum“), Stromsparchecks für einkommensschwache Haushalte und Informationskampagnen für Bürger*innen den Haushaltssektor unterstützt, THG-Emissionen einzusparen. Im GHD-Sektor hat die Stadt beispielsweise Ökoprofit, das Förderprogramme „Frankfurt spart Strom“ und den Passivhausbeschluss der Stadt entwickelt. Im Industriesektor wurden von der Stadt Klimaschutzmaßnahmen beispielsweise „Energieeffizienznetzwerke (LEEN)“ oder in einem Projekt ein „Nachhaltiges Gewerbegebiet“ entwickelt. Im Verkehrssektor versucht die Stadt durch Maßnahmen, wie dem Ausbau des ÖPNV, der Förderung des Radverkehrs und dem Ausbau von Elektro- und Wasserstoffbussen einen Beitrag zur Minderung der THG-Emissionen beizutragen.

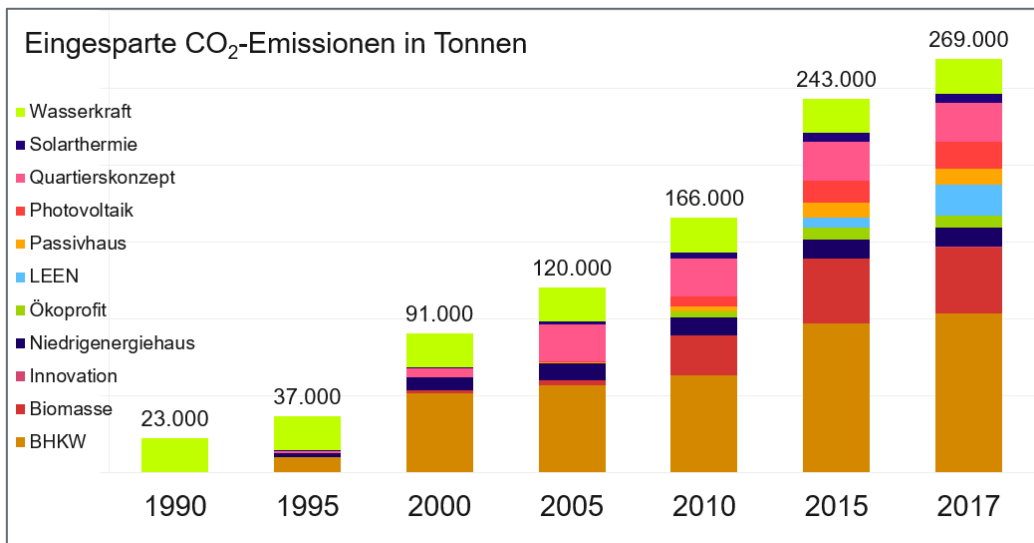


Abbildung 3-11: Eingesparte THG-Emissionen durch Klimaschutzmaßnahmen 1990 – 2017 (Quelle: städtische Berechnungen)

4 Literaturverzeichnis

- Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.) (2011): 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. (2014): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2013. Im Auftrag der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung (HEA).
- The University of Manchester et al. (2009): Greenhouse gas emissions inventories for 18 European regions.

5 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 des Bilanzierungspapers des ifeu 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.

Bei großindustriellen Prozessen und bei der Energieerzeugung in großen Kraftwerken weichen die Emissionsfaktoren in der Regel von den oben dargestellten Faktoren ab. Zumindest bei der Berechnung der Sekundärenergie (z.B. Strom, Dampf, Wärme) aus Kraftwerken können daher die Emissionsfaktoren der Tabelle 3-4 herangezogen werden.

Tabelle 3-1: Emissionsfaktoren für Erzeugung (t/MWh) in CO₂-Äquivalenten

Zeiträume	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	Quelle	Genaue Prozessbezeichnung
Erdgas	0,235	0,237	0,235	0,233	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Gas Kessel DE (Endenergie)
Heizöl	0,313	0,314	0,311	0,311	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Öl leicht Kessel DE (Endenergie)
Steinkohle	0,448	0,440	0,436	0,431	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Kohle Kessel WSF DE (Endenergie)
Braunkohle	0,469	0,487	0,465	0,473	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Braunkohle WSK Kessel DE rheinisch (Endenergie) Ab 2015: Braunkohlekessel-WSF-DE-rheinisch (Endenergie)
Abfall	0,121	0,121	0,121	0,121	ifeu Berechnungen	Angepasst von 0,111 auf 0,121
Biomasse	0,029	0,034	0,024	0,022	Gemis 4.94, Gemis 5.0	Holz HS Waldholz Heizung 50 kW (Endenergie)
Sonstige erneuerbare Energieträger	0,050	0,050	0,050	0,050	ifeu (Annahme)	individuell veränderbar
Sonstige konventionelle Energieträger	0,330	0,330	0,330	0,330	ifeu (Annahme)	individuell veränderbar

Im Folgenden werden die Emissionsfaktoren für verschiedene Anlagen zur Stromerzeugung dargestellt.

Tabelle 3-2: Stromerzeugung ohne Brennstoff(input) (t/MWh) in CO₂-Äquivalenten zur Berechnung des Territorialmixes

Zeiträume	2000-2004	2005-2009	2010-2014	Quelle	Genaue Prozessbezeichnung
Windenergie	0,019	0,019	0,011	Gemis 4.94	Wind KW DE 2010 Binnenland und Wind KW-Park klein DE 2000
Geothermie	0,228	0,228	0,228	Gemis 4.94	Geothermie-KWK-SMB-DE
Wasserkraft	0,003	0,003	0,003	Gemis 4.94	Wasser KW groß DE 2010 (update)
PV-Anlagen	0,129	0,129	0,063	Gemis 4.94	Solar PV multi Rahmen mit Rack DE
Deponiegas, Klär- gas, Grubengas	0,051	0,051	0,026	UBA 2009, UBA 2013	Deponiegas-BHKW-GM 1 MW-2010/brutto, (angepasst an UBA 2013)
Feste Biomasse (KWK)	0,021	0,021	0,025	UBA 2009, UBA 2013	Altholz-DT-KW
Flüssige Biomasse	0,274	0,274	0,316	UBA 2009, UBA 2013	Palmöl-BHKW-gross-DE-2010 (IST) (angepasst an UBA-2013)

Biogas	0,323	0,323	0,216	UBA 2009, UBA 2013	Biogas-Gülle-BHKW-500kW 2010 (IST) (angepasst an UBA-ZSE 2013)
--------	-------	-------	-------	-----------------------	--

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).

Hintergrund des Harmonisierungsprozesses (BISKO-Entwicklung)

Das bis Frühjahr 2016 laufende vom BMUB geförderte Vorhaben „Klimaschutz-Planer – Kommunalen Planungsassistent für Energie und Klimaschutz“ hatte die Entwicklung eines standardisierten Instrumentensatzes für Klimaschutzkommunen zum Ziel. Dazu wurde eine Methodik entwickelt, mit der eine einheitliche Berechnung kommunaler THG-Emissionen ermöglicht wird. Im Vordergrund standen dabei neben einer methodischen Konsistenz auch die Vergleichbarkeit der Bilanzen sowie die Transparenz der Berechnung und der verwendeten Daten. Auf Basis der genannten Punkte leiten sich die Empfehlungen für zukünftige Regeln der kommunalen Treibhausgasbilanzierung ab.

Das vorliegende Methodenpapier ist die Kurzfassung des Berichts, der im Rahmen des Klimaschutz-Planers entwickelt wurde²⁶. Die methodischen Grundlagen für das Bilanzierungstool des Klimaschutz-Planers wurden u.a. in drei Workshops mit Teilnehmern aus der Wissenschaft sowie zwei Workshops mit Teilnehmern aus der kommunalen Praxis besprochen. Zudem wurden die Empfehlungen von mehreren wissenschaftlichen Instituten im Rahmen von Kurz-Reviews überprüft. Die hier vorliegende Veröffentlichung zeigt die Anwendung der Bilanzierungssystematik auf das Stadtgebiet von Frankfurt am Main.

Kriterien bei der Entwicklung der BISKO-Methodik

In verschiedenen Workshops wurde deutlich, dass unterschiedliche Interessengruppen verschiedene Ziele mit einer kommunalen Energie- und THG-Bilanz verfolgen. Der Anspruch des Projektes war, eine einheitliche Methode einzuführen und trotzdem auf diese Zielkonflikte einzugehen.

Eine oder mehrere Bilanzen für die Kommune?

²⁶ https://www.ifeu.de/energie/pdf/Bilanzierungsmethodik_IFEU_April_2014.pdf

Um zu vermeiden, dass mehrere kommunale Bilanzen unterschiedlicher Methodik berechnet und veröffentlicht werden, wurde der Begriff der **Basisbilanz** eingeführt. Diese Basisbilanz bildet die offizielle Bilanz einer Kommune ab. Welche Elemente diese Bilanz beinhaltet wird im Folgenden erläutert.

Darüber hinaus haben Kommunen die Möglichkeit, die Ergebnisse der Basisbilanz mit den Ergebnissen aus anderen methodischen Vorgaben zu vergleichen und die Unterschiede z.B. aufgrund von Witterung oder lokaler Stromerzeugung darstellen zu können. Bei der Darstellungsform sollte klar dargestellt sein, was die Basisbilanz ist und welche methodischen Änderungen beim Vergleich vorgenommen wurden.

Vor diesem Hintergrund sind folgende drei Entscheidungskriterien für die Entwicklung der Berechnungsmethoden wesentlich, die einen ausgewogenen Kompromiss zwischen den verschiedenen Ansprüchen darstellen und so im Harmonisierungsprozess herausgearbeitet wurden:

- **Vergleichbarkeit der Bilanzierung zwischen den Kommunen**

Ein wichtiges Ziel des Harmonisierungsprozesses war es, Bilanzen von Kommunen einheitlich bewerten zu können. Dazu müssen die Ergebnisse der Bilanzen miteinander vergleichbar sein.

- **Konsistenz innerhalb der Methodik**

Im Harmonisierungsprozess wurde versucht, unter Berücksichtigung der anderen beiden Kriterien eine Konsistenz innerhalb der Methodik zu entwickeln, so dass keine Doppelbilanzierung erfolgt und lokale Akteure nicht aufgrund der Methodik falsche Schlüsse für ihr Klimaschutzhandeln ziehen.

- **Darstellung der Prioritäten im Klimaschutz in der Bilanz: Lokale Energieeinsparung und Energieeffizienz vor lokaler Erzeugung**

Eine Energie- und THG-Bilanz als Klimaschutz-Monitoring Instrument soll über die Jahre den Erfolg im Klimaschutz einer Kommune dokumentieren. Grundsätzlich gilt, dass möglichst alle Aktivitäten gleichermaßen abgebildet werden sollen. Ist dies nicht möglich oder entstehen Konflikte in der Darstellung der Aktivitäten, so haben die Aktivitäten Priorität, die für den Klimaschutz relevanter sind.

Neben den drei Hauptentscheidungskriterien spielten bei der Harmonisierung der Methodik weitere Punkte eine Rolle:

- Vergleichbarkeit der kommunalen Bilanzen über mehrere Jahre
- Konsistenz zu anderen Vorgaben/Empfehlungen auf kommunaler Ebene (Sustainable Energy Action Plan (SEAP), Greenhouse Gas Protocol)
- (Weitestgehende) Konsistenz zu anderen Ebenen
- Erfolgskontrolle für umgesetzte Maßnahmen und Abschätzung von Minderungspotenzialen (anhand lokaler Daten)

Die Kriterien für die Festlegung von standardisierten Bilanzierungsregeln für kommunale Treibhausgasbilanzen im Verkehrsbereich wurden neben den oben genannten Kriterien noch weiter definiert. Zentrale Zielstellung ist die Beurteilung der kommunalen Ausgangssituation als Grundlage zur Ableitung und Bewertung von geeigneten Klimaschutzmaßnahmen. Das umfasst insbesondere folgende Anforderungen an die Bilanzierung:

- Abdeckung des kommunalen Handlungsbereichs

Die bilanzierten Verkehrsaktivitäten sollten sich möglichst gut mit dem Handlungsbereich der Kommunen decken. D.h. es sollte ein ursächlicher Zusammenhang des Verkehrs zur Kommune gegeben sein, wichtige Zielgruppen von Maßnahmen sowie weitere Akteure für Maßnahmen sollten unter kommunale Zuständigkeit fallen bzw. für Kooperationen erreichbar sein.

- Identifizierung wichtiger kommunaler Handlungsfelder

Die Bilanzierungsmethode sollte helfen, wichtige Ursachen der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen zu identifizieren, bei denen kommunale Klimaschutzmaßnahmen zuerst ansetzen müssen. Dazu müssen kommunenspezifische Einflüsse möglichst gut in der Bilanz abgebildet und eine möglichst gute Differenzierung nach Ortsbezug und Ursachen der Verkehrsaktivitäten erreicht werden.

- Erfolgskontrolle für umgesetzte Maßnahmen:

Die Erfolge durchgeführter lokaler Maßnahmen sollten sich in Bilanzen zukünftiger Jahre wiederfinden. Dazu muss die Erfassung des Verkehrs in der kommunalen Bilanz weitgehend mit kommunenspezifischen Daten erfolgen, da nationale Kennwerte keine lokalen Maßnahmenwirkungen darstellen können.