



Leipziger Institut
für Energie

BERICHT

Klimabilanz für die Stadt Freiburg bis zum Jahr 2022

Auftraggeber:
Stadt Freiburg

Leipzig, 05.09.2024



Impressum

Auftraggeber

Stadt Freiburg im Breisgau
Umweltschutzamt
Fehrenbachallee 12
79106 Freiburg

Auftragnehmer

Leipziger Institut für Energie GmbH
Lessingstraße 2
04109 Leipzig

Bearbeitung

Christoph Voigtländer (Projektleitung)
Telefon 03 41 / 22 47 62 14
E-Mail christoph.voigtlaender@ie-leipzig.com

Philipp Krause
Robert Kießling
Guillermo Portillo Morales

Laufzeit

März 2024 bis September 2024

Datum

Leipzig, 05.09.2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Entwicklungen von 1992 bis 2022	2
2.1 CO ₂ -Emissionen pro Einwohner*in	2
2.2 CO ₂ -Emissionen und Energieverbräuche absolut	3
2.2.1 CO ₂ -Emissionen insgesamt	3
2.2.2 CO ₂ -Emissionen im Energiebereich	4
2.2.3 Endenergieverbrauch im Energiebereich	5
2.2.4 Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Anwendungsarten	7
2.2.5 CO ₂ -Emissionen absolut im Verkehr	8
2.3 Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung	10
2.4 Strukturdaten	13
3 Ausblick	14
Abbildungsverzeichnis	15
Tabellenverzeichnis	16

1 Einleitung

Die Stadt Freiburg erstellt gemäß dem Gemeinderatsbeschluss vom 9. März 2004 alle zwei Jahre eine Klimaschutzbilanz für die CO₂-Emissionen, die auf dem Stadtgebiet entstehen. Die Bilanzierung wird durch die mit Förderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) entwickelte, bundesweite Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO) erstellt. Als Bilanzierungssoftware wird seit dem Jahr 2015 der Klimaschutz-Planer verwendet. Die Klimabilanz dient als Grundlage für einen Sachstandsbericht für den Gemeinderat in Form einer Beratungsunterlage und wird vom Umweltschutzamt in die städtischen Gremien eingebracht. Im Rahmen dieses Projektes erfolgte die Fortschreibung der Klimabilanz für Freiburg für die Jahre 2021 und 2022 durch die Leipziger Institut für Energie GmbH.

Methodisch erfolgt die die BISKO-Bilanzierung nach folgenden Regeln:

- Grundlage bildet das endenergiebasierte Territorialprinzip, somit werden alle innerhalb des Stadtgebietes anfallenden Energieverbräuche erfasst und mit CO₂-Emissionsfaktoren verknüpft.
- Der bundesweite Strommix wird zur Berechnung der CO₂-Emissionen herangezogen.
- Die CO₂-Emissionen werden inklusive Vorketten in äquivalenten CO₂-Emissionen angegeben und beinhalten die Emissionen von Lachgas und Methan.
- Exergetische Bewertung der lokalen Strom-, Fernwärme- und Nahwärmeproduktion.
- Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in der Regel auf Grundlage von nicht witterungskorrigierten Werten. Daneben kann die Bilanz aber auch witterungskorrigiert, also unabhängig der Temperatureinflüsse, dargestellt werden. In der Vergangenheit erfolgte im Rahmen der Klimabilanzierung für Freiburg jeweils die Darstellung der witterungskorrigierten Werte, diese Vorgehensweise wurde im Rahmen der vorliegenden Bilanzfortschreibung beibehalten.

Wichtig: Durch die Betreiber des Klimaschutz-Planers (Klimabündnis e.V.) werden für die Bilanzierung zahlreiche Daten im Bilanz-Tool bereitgestellt (u. a. Emissionsfaktoren) und vereinfachen und vereinheitlichen so die kommunale Bilanzierung. Daten für das Bilanzjahr 2022 sind seit Mitte August 2024 verfügbar. Durch Verbesserungen der Datengrundlagen im Verkehrsbereich ist das Jahr 2022 gemäß der Toolbetreiber mit den Ergebnissen der Vorjahre nicht direkt vergleichbar. Insbesondere Anpassungen der Emissionsfaktoren im Sektor Verkehr führen zu einem sprunghaften Anstieg der Verkehrs-Emissionen zum Jahr 2022. Um diese Änderungen auch für frühere Bilanzjahre zu berücksichtigen und eine konsistente Zeitreihe zu erzeugen, wurden für die Stadt Freiburg seitens des Klimabündnis Umrechnungsfaktoren für die Energieverbräuche und CO₂-Emissionen für den Verkehrssektor bereitgestellt. Derzeit ist nicht geklärt, inwieweit eine Revision der Bilanzergebnisse für die komplette Zeitreihe auch direkt im Klimaschutz-Planer erfolgt. Vorerst muss diese Revision mittels Umrechnungsfaktoren extern erfolgen. Zwischen AG und AN wurde festgelegt, dass die revidierten Ergebnisse für die Stadt Freiburg im Verkehrsbereich dargestellt werden. Dadurch kommt es zu entsprechenden Abweichungen gegenüber älteren Bilanzberichten.

2 Entwicklungen von 1992 bis 2022

2.1 CO₂-Emissionen pro Einwohner*in

Gegenüber dem Jahr 1992 sind die spezifischen CO₂-Emissionen bezogen auf die Einwohner*innen der Stadt Freiburg sektorübergreifend um 42,9 % von 11,99 Tonnen auf 6,85 Tonnen gesunken. Während sich die Emissionen im Energiebereich nahezu halbiert haben (- 48,6 %), ist der Rückgang im Sektor Verkehr mit rund 22,7 % geringer. Bei Betrachtung der Zeitreihe werden im Jahr 2020 die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie mit kurzfristig deutlich gesunkenen spezifischen Emissionen deutlich (Abbildung 1). Neben den Auswirkungen der Pandemie sorgte ein bundesweit hoher Anteil erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung für gesunkene Emissionen im Jahr 2020. Während der Emissionsfaktor für den bundesweiten Strommix im Jahr 2019 bei 478 g/kWh lag, sank dieser zum Jahr 2020 auf 429 g/kWh. In den Jahren 2021 (472 g/kWh) und 2022 (505 g/kWh) stieg der Emissionsfaktor für Strom wieder deutlich, was für das Jahr 2022 unter anderem auf einen bundesweit höheren Kohleeinsatz zur Stromerzeugung zurückzuführen ist. Im Energiebereich sorgte der höhere Emissionsfaktor zum Jahr 2022 hin für leicht gestiegene spezifische Gesamtemissionen trotz gesunkenem Energieverbrauch und gesteigener Einwohnerzahl gegenüber dem Vorjahr (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 4).

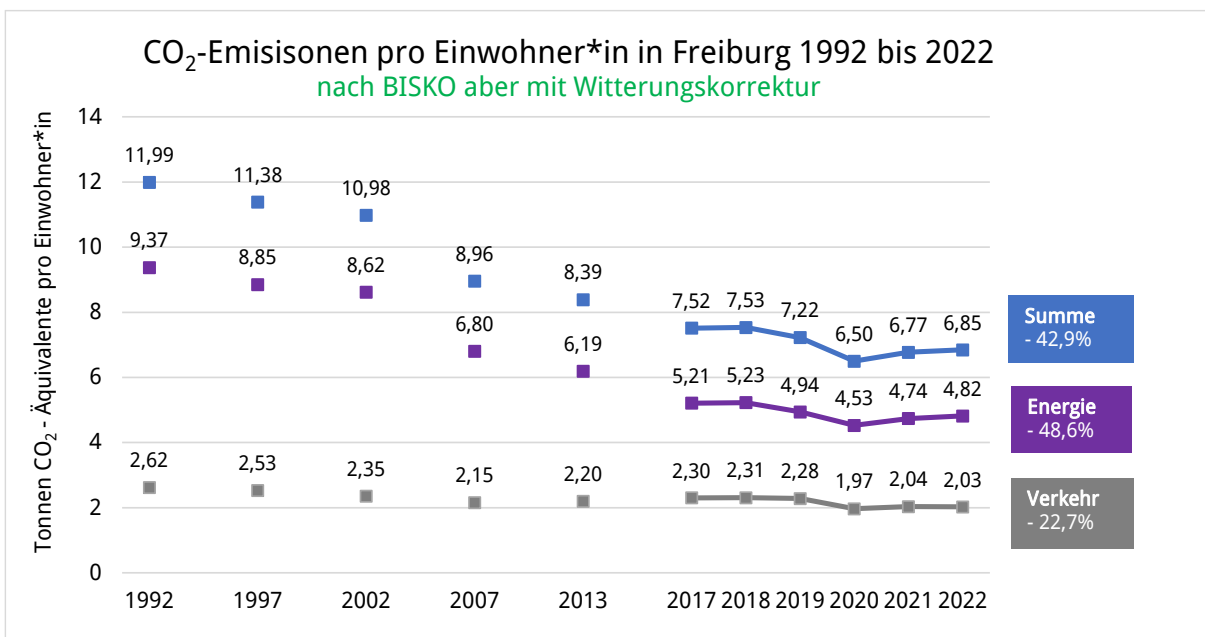


Abbildung 1 CO₂-Emissionen pro Einwohner*in - witterungskorrigiert

In Tabelle 1 sind die Einwohnerentwicklung und die witterungskorrigierten Emissionen dargestellt. Gegenüber dem Jahr 1992 ist die Einwohnerzahl Freiburgs bis zum Jahr 2022 um über 21 % angestiegen. Die Emissionen innerhalb der Stadt verteilen sich entsprechend auf immer mehr Einwohner*innen.

Tabelle 1 Einwohnerentwicklung und Emissionen - witterungskorrigiert

	1992	1997	2002	2007	2013	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Einwohner*innen	193.463	195.858	203.503	210.983	218.244	228.187	228.828	229.749	229.425	230.362	234.442
Entwicklung ggü. 1992		1,2%	5,2%	9,1%	12,8%	17,9%	18,3%	18,8%	18,6%	19,1%	21,2%
Pro-Kopf-Emissionen t/EW	11,99	11,38	10,98	8,96	8,39	7,52	7,53	7,22	6,50	6,77	6,85
Entwicklung ggü. 1992		-5,1%	-8,5%	-25,3%	-30,1%	-37,3%	-37,2%	-39,8%	-45,8%	-43,5%	-42,9%

2.2 CO₂-Emissionen und Energieverbräuche absolut

2.2.1 CO₂-Emissionen insgesamt

In Summe aller Verbrauchssektoren sind die absoluten CO₂-Emissionen von 2,320 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten im Jahr 1992 auf 1,605 Mio. Tonnen im Jahr 2022 gesunken, was einem Rückgang um 715.000 Tonnen bzw. 30,8 % entspricht (vgl. Abbildung 2 und Tabelle 2). In der kurzfristigen Betrachtung sind die absoluten Emissionen nach 1,491 Mio. Tonnen im Pandemiejahr 2020 wieder um rund 114.000 Tonnen bis zum Jahr 2022 gestiegen.

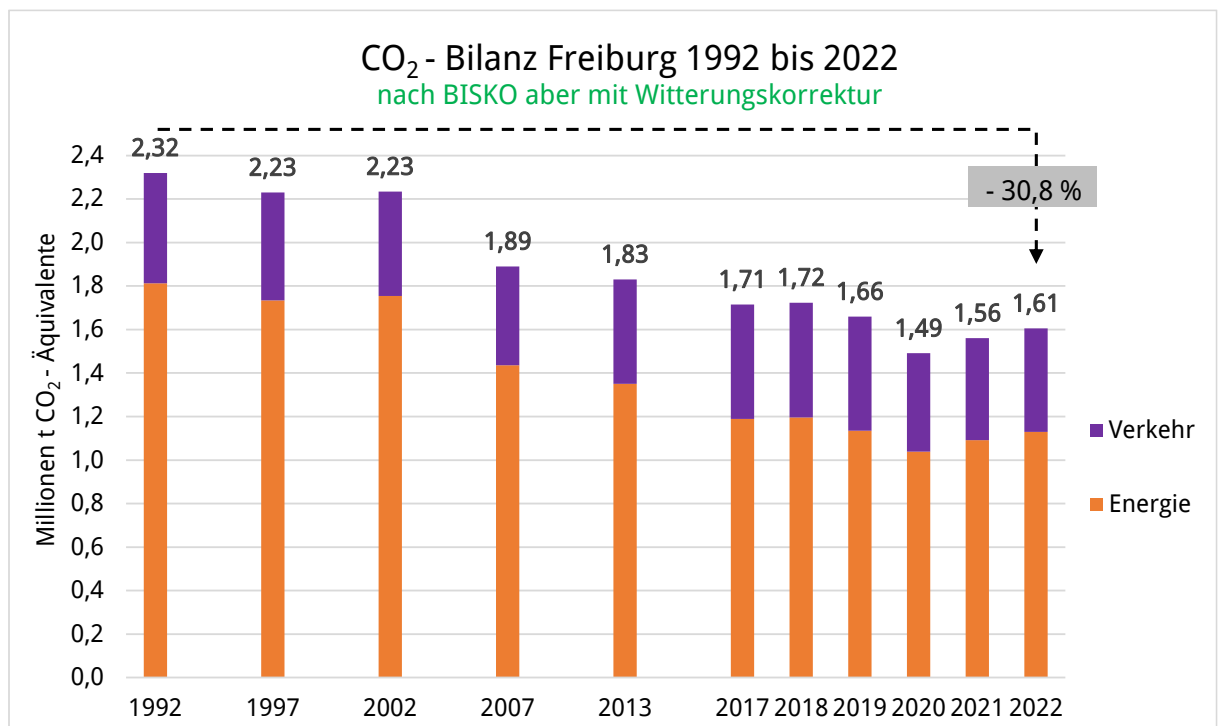


Abbildung 2 CO₂-Bilanz Freiburg 1992 bis 2022 - witterungskorrigiert

Während der Energiebereich seit 1992 für einen Rückgang der absoluten Emissionen (witterungsbereinigt) in Höhe von über 683.000 Tonnen sorgte, sanken die Emissionen im Verkehr um rund 32.000 Tonnen. In Tabelle 2 ist die Entwicklung der absoluten CO₂-Emissionen (witterungsbereinigt) für die Bereiche Energie und Verkehr sowie in Summe dargestellt.

Tabelle 2 Entwicklung der absoluten CO₂-Emissionen - witterungskorrigiert

CO ₂ in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten		1992	1997	2002	2007	2013	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CO ₂ -Emissionen (t)	Verkehr	507.169	495.466	479.062	454.318	480.318	525.868	527.756	524.101	451.867	468.872	475.291
Entwicklung ggü. 1992	Verkehr		-2,3%	-5,5%	-10,4%	-5,3%	3,7%	4,1%	3,3%	-10,9%	-7,6%	-6,3%
CO ₂ -Emissionen (t)	Energie	1.812.794	1.733.954	1.754.390	1.435.543	1.350.278	1.189.025	1.195.916	1.135.241	1.038.929	1.091.295	1.129.739
Entwicklung ggü. 1992	Energie		-4,3%	-3,2%	-20,8%	-25,5%	-34,4%	-34,0%	-37,4%	-42,7%	-39,8%	-37,7%
CO ₂ -Emissionen (t)	Summe	2.319.964	2.229.419	2.233.452	1.889.861	1.830.596	1.714.892	1.723.672	1.659.342	1.490.796	1.560.167	1.605.030
Entwicklung ggü. 1992	Summe		-3,9%	-3,7%	-18,5%	-21,1%	-26,1%	-25,7%	-28,5%	-35,7%	-32,8%	-30,8%

2.2.2 CO₂-Emissionen im Energiebereich

Die witterungskorrigierten CO₂-Emissionen im stationären Bereich (Energiebereich) sind von 1,813 Mio. Tonnen im Jahr 1992 auf 1,130 Mio. Tonnen im Jahr 2022 gesunken, was einem Rückgang um 37,7 % entspricht (Abbildung 3). Zu diesem Emissionsrückgang trugen gesunkene Endenergieverbräuche in den Sektoren Industrie und Haushalte / Gewerbe in etwa zur Hälfte bei. Die andere Hälfte ergibt sich vorwiegend aufgrund geringerer Emissionsfaktoren für die Strom- und Wärmeversorgung, sowohl durch Energieträgerumstellungen hin zu emissionsärmeren Energieträgern (z. B. Erdgas oder Fernwärme statt Heizöl) als auch einem über die Zeitreihe gesunkenen Emissionsfaktor für Strom durch den bundesweiten Ausbau der erneuerbaren Energien. Hin zu den Jahren 2021 und 2022 ist der Emissionsfaktor für Strom gegenüber dem Jahr 2020 aber wieder deutlich von 429 g/kWh auf 505 g/kWh gestiegen (vgl. 2.1.1), wodurch auch die Emissionen im Energiebereich insgesamt, trotz wenig verändertem Energieverbrauch, wieder anstiegen.

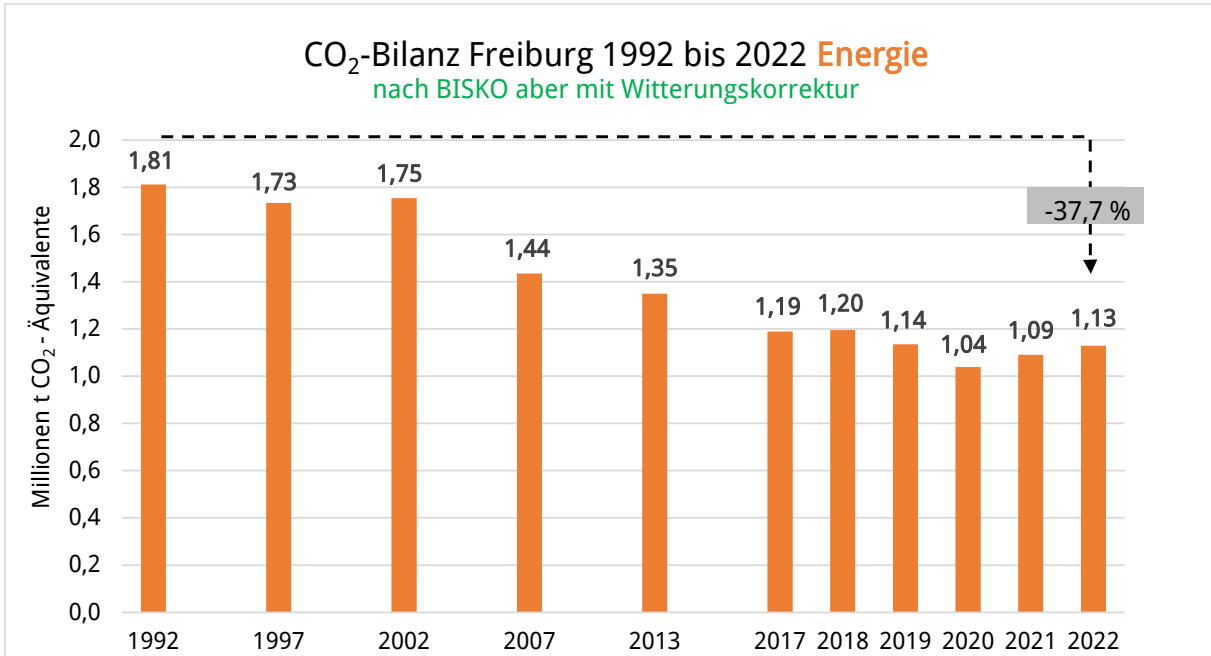


Abbildung 3 CO₂-Emissionen im Energiebereich 1992 bis 2022 - witterungskorrigiert

2.2.3 Endenergieverbrauch im Energiebereich

Der Endenergieverbrauch (witterungskorrigiert) der Stadt Freiburg im stationären Sektor ist im Vergleich der Jahre 2022 und 1992 um insgesamt 19,1% gesunken. Die prozentuale Entwicklung innerhalb der Sektoren Industrie (- 18,5 %) und Haushalte / Gewerbe (- 19,3 %) war dabei im Betrachtungszeitraum ähnlich. Absolut betrachtet trägt der Sektor Haushalte / Gewerbe zu einer Einsparung in Höhe von 634 GWh bei, die Reduktion im Sektor Industrie beträgt rund 249 GWh (Tabelle 3). Während der Endenergieverbrauch (witterungsbereinigt) im Sektor Industrie in den Jahren 2021 und 2022 angestiegen ist, ist im Sektor Haushalte / Gewerbe zum Jahr 2022 ein Rückgang erkennbar. Dieser kann insbesondere durch Einsparungen infolge der Auswirkungen des Ukraine-Krieges (v.a. stark gestiegene Energiepreise) begründet werden.

Tabelle 3 Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Sektoren - witterungskorrigiert

Endenergieverbrauch (EEV)	1992	1997	2002	2007	2013	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Industrie GWh	1.348	1.386	1.266	1.181	1.056	1.014	1.048	1.033	1.057	1.092	1.099
Entwicklung ggü. 1992		2,8%	-6,1%	-12,4%	-21,7%	-24,7%	-22,3%	-23,4%	-21,6%	-19,0%	-18,5%
Gewerbe GWh	1.407	1.382	1.550	1.289	1.241	1.514	1.487	1.525	1.415	1.406	1.386
Entwicklung ggü. 1992		-1,8%	10,2%	-8,4%	-11,8%	7,6%	5,7%	8,4%	0,6%	0,0%	-1,5%
Haushalte GWh	1.875	1.897	2.068	1.593	1.646	1.347	1.370	1.338	1.319	1.339	1.260
Entwicklung ggü. 1992		1,2%	10,3%	-15,0%	-12,2%	-28,1%	-26,9%	-28,6%	-29,6%	-28,6%	-32,8%
Summe GWh	4.629	4.665	4.884	4.063	3.942	3.876	3.904	3.897	3.791	3.837	3.745
Entwicklung ggü. 1992		0,8%	5,5%	-12,2%	-14,8%	-16,3%	-15,7%	-15,8%	-18,1%	-17,1%	-19,1%

Auf Seiten der Energieträger ist in der Entwicklung seit 1992 ein deutlicher Rückgang bei Heizöl erkennbar (Abbildung 4 und Tabelle 4). In der Position Fernwärme ist auch der Ferndampf des Wärmeverbund-

kraftwerkes (WVK) enthalten, dieser war (gemäß Bericht zur Klimabilanz Freiburg bis 2020 des ifeu) vor 2002 noch als Prozessdampf zugeordnet und unter der Position Erdgas bilanziert worden. Zudem sind gemäß ifeu die Stromverbräuche der Jahre 1992 und 1997 nicht mit den Verbräuchen der späteren Bilanzjahre vergleichbar, da der Eigenstromverbrauch des damaligen Dampfturbinenkraftwerks der Firma Rhodia/Cerdia (heute Wärmeverbundkraftwerk) nicht enthalten war, sondern unter der Position Erdgas bilanziert wurde. In der Zeitreihe ab 2002 zeigen sich sowohl bei Fernwärme als auch bei Strom rückläufige Endenergieverbräuche. Für das Bilanzjahr 2002 sei dabei anzumerken, dass die Witterung in diesem Jahr sehr mild war, wodurch es im Rahmen der Witterungskorrektur zu einer enormen Differenz zwischen nicht witterungskorrigierten und witterungskorrigierten Werten kommt (Tabelle 4). Der theoretisch ermittelte, witterungskorrigierte Wert kann bei dieser Vorgehensweise vergleichsweise hoch ausfallen und sollte zumindest kritisch betrachtet werden. In sehr milden Jahren kann davon ausgegangen werden, dass es zu sogenannten Reboundeffekten bei den Verbrauchern kommt und so der witterungskorrigierte Wert rechnerisch überschätzt wird.

Der Erdgaseinsatz ist nach dem Jahr 2007 deutlich gestiegen. Es ist dabei davon auszugehen, dass Heizöl vorwiegend durch Erdgas substituiert wurde. Zum Bilanzjahr 2021 stieg der Erdgasverbrauch aufgrund der wirtschaftlichen Erholung nach dem Pandemiejahr 2020 zunächst an und sank im Jahr 2022 vorwiegend aufgrund der Auswirkungen des Ukraine-Krieges in Form enorm gestiegener Erdgaspreise.

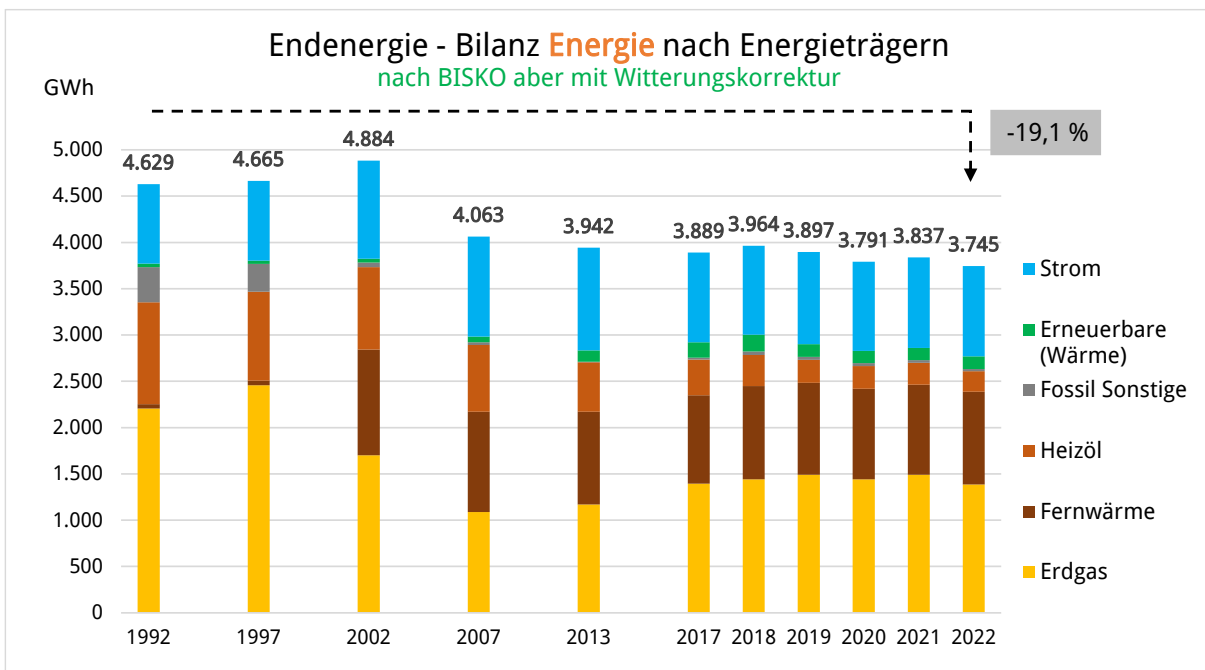


Abbildung 4 Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Energieträgern - witterungskorrigiert
 Neben den absoluten Endenergieverbräuchen der Energieträger (witterungskorrigiert) wird in Tabelle 4 zum Vergleich der nicht witterungskorrigierte Endenergieverbrauch im stationären Sektor aufgeführt.

Tabelle 4 Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Energieträgern - witterungskorrigiert

EEV Energieträger in GWh	1992	1997	2002	2007	2013	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Erdgas	2.207	2.458	1.702	1.088	1.169	1.393	1.442	1.490	1.442	1.489	1.386
Fernwärme	46	48	1.141	1.082	1.001	957	1.007	993	978	974	1.000
Heizöl	1.100	960	889	722	535	383	337	248	243	236	222
Fossil Sonstige	380	302	50	30	7	23	37	33	32	30	24
Erneuerbare (Wärme)	40	36	41	59	123	166	181	136	132	130	138
Strom	857	861	1.061	1.082	1.107	968	961	997	963	977	975
Summe	4.629	4.665	4.884	4.063	3.942	3.889	3.964	3.897	3.791	3.837	3.745
Vergleich Summe nicht witterungskorrigiert	4.268	4.258	4.129	3.791	3.973	3.727	3.575	3.652	3.497	3.769	3.436

2.2.4 Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Anwendungsarten

Um den Endenergieverbrauch nach Anwendungsarten für das Bilanzjahr 2022 abzuschätzen, wurde auf die bundesweiten Anwendungsbilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) zurückgegriffen. Es handelt sich entsprechend in Abbildung 5 um bundesweite Durchschnittswerte, welche die sektoralen Unterschiede der Anwendungsarten verdeutlichen. Während im Industriesektor über 70 % des Endenergieverbrauchs für Prozesswärme eingesetzt wird, ist die Bedeutung der Prozesswärme in den Sektoren Haushalte und Gewerbe deutlich geringer. In den Haushalten dominiert die Bedeutung von Raumwärme und Warmwasser mit in Summe über 80 %. Auch im Gewerbe wird die meiste Energie für Raumwärmezwecke und Warmwasser eingesetzt (in Summe 60 %), gefolgt von Informations- und Kommunikationstechnologie (13 %) und Beleuchtung (12 %).

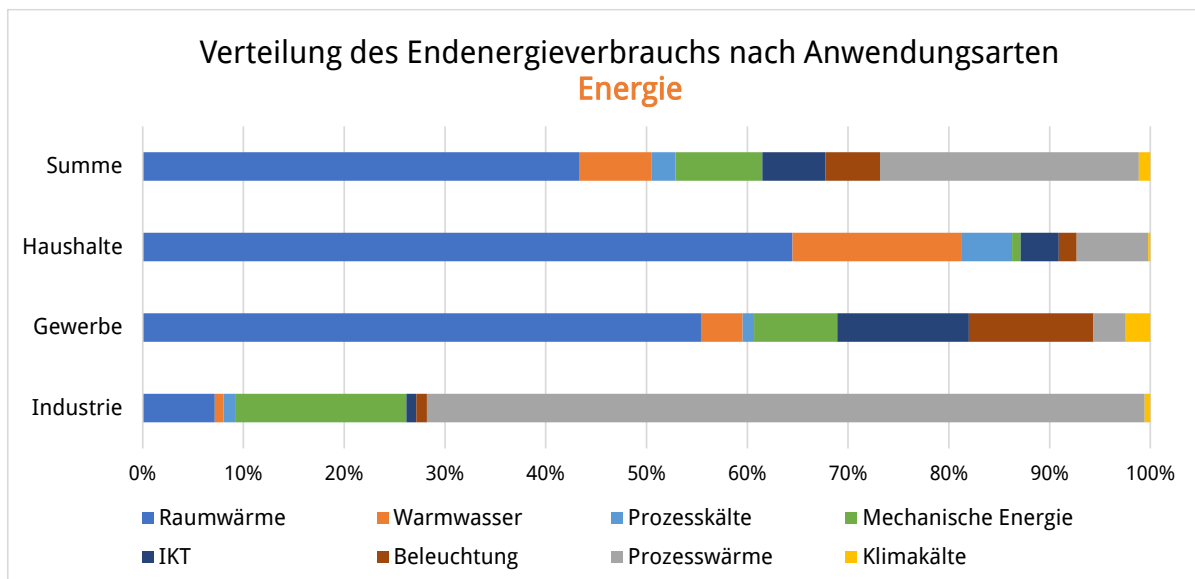


Abbildung 5 Verteilung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungsarten im Energiebereich 2022

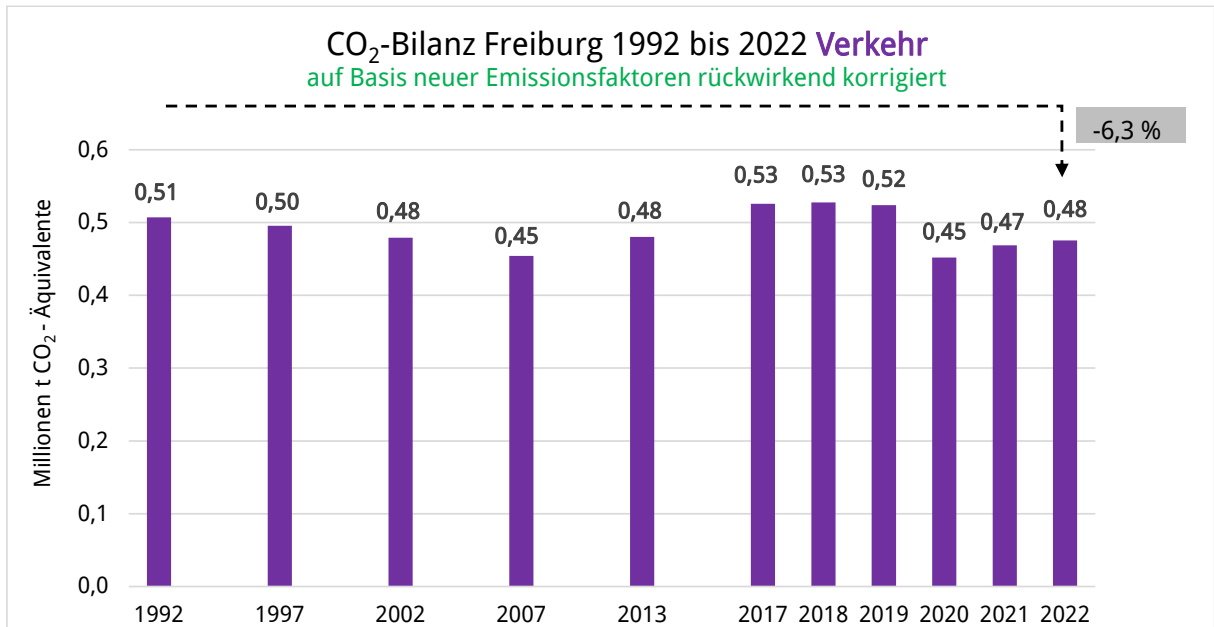
Über alle Verbrauchssektoren hinweg haben Raumwärme und Warmwasser mit einem Anteil von in Summe gut 50 % die höchste Bedeutung, gefolgt von Prozesswärme mit knapp 26 %. Beleuchtung hat gemessen am gesamten Energieverbrauch im stationären Bereich einen Anteil von rund 5 % (Tabelle 5).

Tabelle 5 Sektoraler Endenergieverbrauch nach Anwendungsarten 2022 – nicht witterungskorrigiert

EEV nach Anwendungen Sektor Energie in GWh	Industrie	Industrie prozentual	Gewerbe	Gewerbe prozentual	Haushalte	Haushalte prozentual	Summe	Summe prozentual
Raumwärme	77	7,2%	694	55,4%	717	64,5%	1.488	43,3%
Warmwasser	9	0,9%	52	4,1%	186	16,7%	247	7,2%
Prozesswärme	763	71,2%	40	3,2%	79	7,1%	882	25,7%
Klimakälte	6	0,6%	31	2,4%	2	0,2%	39	1,1%
Prozesskälte	12	1,1%	14	1,2%	56	5,1%	83	2,4%
Mechanische Energie	182	17,0%	103	8,2%	10	0,9%	295	8,6%
IKT	10	1,0%	163	13,0%	42	3,8%	216	6,3%
Beleuchtung	11	1,1%	155	12,4%	20	1,8%	186	5,4%
Summe	1.072	100,0%	1.252	100,0%	1.112	100,0%	3.436	100,0%

2.2.5 CO₂-Emissionen absolut im Verkehr

Im Sektor Verkehr sind die CO₂-Emissionen von 0,507 Mio. Tonnen im Jahr 1992 auf 0,475 Mio. Tonnen im Jahr 2022 gesunken, was einem Rückgang um 6,3 % entspricht (Abbildung 6). Im Rahmen der Berechnungen wurde die Zeitreihe der Emissionen im Sektor Verkehr für den Zeitraum 1992 bis 2021 revidiert (vgl. Ausführungen in der Einleitung). In der dargestellten Zeitreihe werden die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die Emissionen mit deutlich sinkenden Werten zum Jahr 2020 und einem anschließenden Anstieg, bedingt durch ein wieder gestiegenes Verkehrsaufkommen, in den Jahren bis 2022 erkennbar.

Abbildung 6 CO₂ – Bilanz Verkehr Freiburg 1992 bis 2022

Verdeutlicht werden die Entwicklungen der Emissionen bei Betrachtung der Fahrleistungen im Stadtgebiet Freiburg. Diese beruhen auf Veröffentlichungen des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg (StaLa) für Kreise und kreisfreie Städte. Insbesondere auf den PKW-Verkehr, welcher aufgrund der hohen Fahrleistungen auch den größten Anteil im Sektor Verkehr hat, waren die Auswirkungen der Pandemie im Jahr 2020 enorm (Abbildung 7). Zwar gab es zum Jahr 2022 hin wieder einen deutlichen Anstieg, die Gesamtfahrleistung der PKW liegt aber weiterhin unter dem Niveau des Vor-Corona-Jahres 2019. Bei den Fahrleistungen der leichten Nutzfahrzeuge (LNF) sorgten die Auswirkungen der Pandemie aufgrund eines gestiegenen Lieferverkehrsaufkommens für steigende Fahrleistungen. Beim LKW-Verkehr gab es einen Rückgang um rund 6 Prozentpunkte zum Jahr 2020, in den Jahren 2021 und 2022 wurde dann nahezu wieder das Niveau aus dem Jahr 2019 erreicht. Die Fahrleistung der motorisierten Zweiräder sank zum Jahr 2020 hin markant ab und stieg anschließend bis 2022 wieder leicht an, die Bedeutung der Zweiräder ist aufgrund der insgesamt geringen Fahrleistung im Sektor Verkehr aber eher gering.

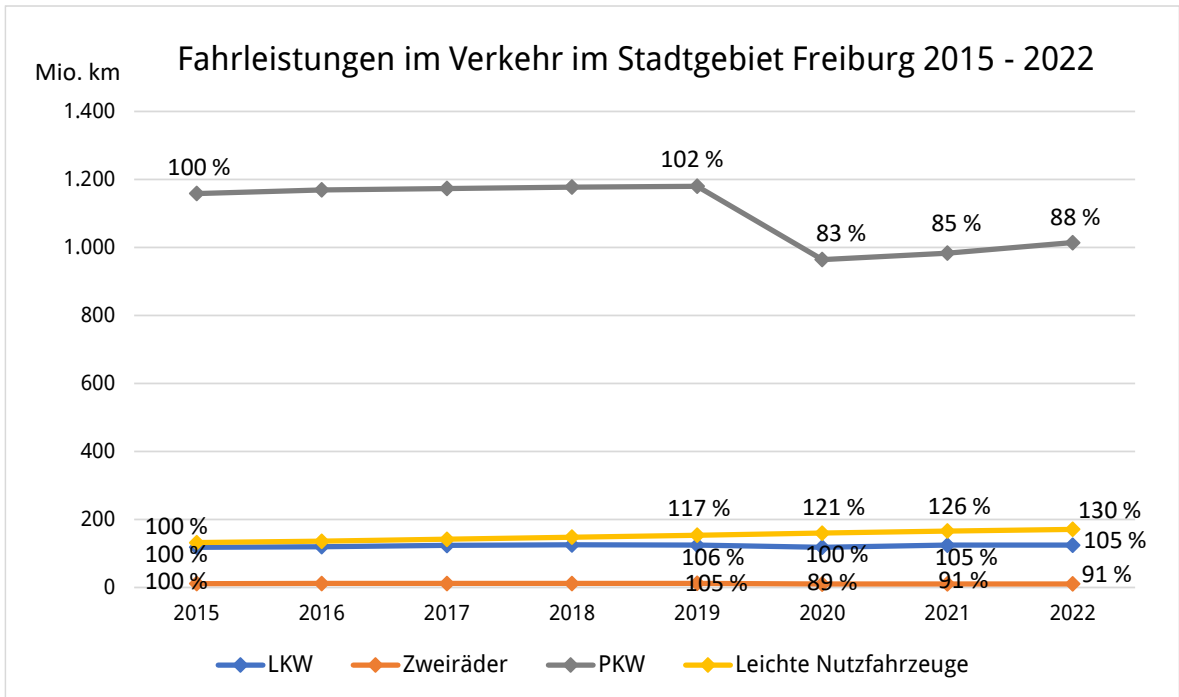


Abbildung 7 Fahrleistungen im Stadtgebiet Freiburg 2015 bis 2022

2.3 Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung

Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (Mengen bereitgestellt durch badenova) ist in Freiburg zwischen den Jahren 2005 und 2015 vor allem aufgrund des Ausbaus von Photovoltaik und Biomasse von rund 22 GWh auf 74 GWh angestiegen (Tabelle 6). Anschließend stieg die Stromerzeugung bis zum Jahr 2020 leicht, aber konstant an, was insbesondere durch den weiteren Ausbau bei Photovoltaikanlagen zu begründen ist. Im Jahr 2020 waren die Witterungsbedingungen (viel Wind, viel Sonne) sehr günstig, wodurch es zu deutlichen Anstiegen bei den Stromerzeugungsmengen aus Photovoltaik und Windenergie kam. Durch geringere Erzeugungsmengen aus Biomasse wurde der Anstieg insgesamt aber gebremst. Im Jahr 2021 waren die Witterungsbedingungen bundesweit gegenüber 2020 deutlich ungünstiger, wodurch die Stromerzeugung erneuerbarer Energien gegenüber dem Vorjahr sank. Zum Jahr 2022 stieg die Stromerzeugung dann wieder deutlich an (Tabelle 6).

Tabelle 6 Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 2005 bis 2022

EE-Strom in GWh	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Photovoltaik	5,1	15,5	35,5	32,5	34,7	35,9	37,8	41,0	37,6	43,6
Windenergie	8,9	10,2	11,1	10,1	10,9	9,1	11,7	13,4	12,0	13,1
Wasserkraft	1,4	2,0	1,3	1,7	1,3	1,1	1,6	1,1	1,7	1,0
Biomasse	6,4	14,2	26,3	30,7	29,0	31,7	31,7	27,5	26,5	38,0
Summe	21,7	42,0	74,2	75,0	75,9	77,8	82,8	82,9	77,9	95,6

Durch den deutlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien ist der Anteil am Stromverbrauch zwischen den Jahren 2005 und 2015 von 1,9 % auf 7,0 % angestiegen. Bis zum Jahr 2020 erhöhte sich dieser auf rund 8,6 %. Durch die ungünstigen Witterungsbedingungen sank der Anteil im Bilanzjahr 2021 auf 8,0 %, im Jahr 2022 wurden durch höhere Stromerzeugungsmengen bei gleichzeitig gesunkenen Stromverbräuchen rund 9,8 % erreicht (Abbildung 8).

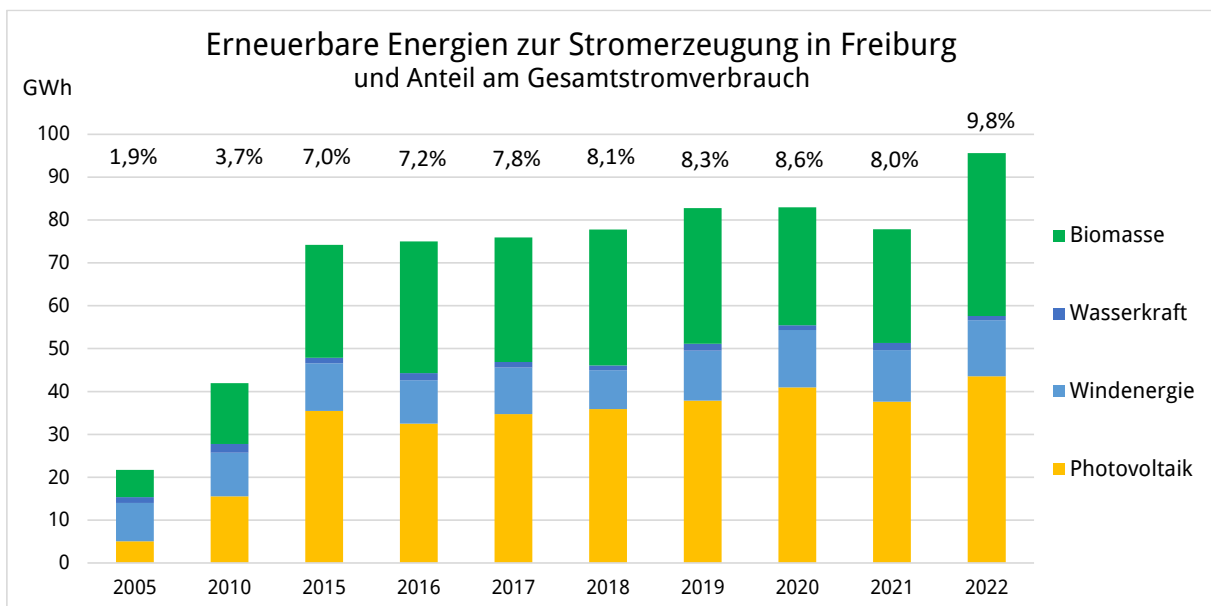


Abbildung 8 Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und Anteil am Stromverbrauch 2005 bis 2022

Um den durch Photovoltaikanlagen direkt vor Ort verbrauchten Strom (Selbstverbrauch) abzuschätzen, wurde vom IE Leipzig auf interne, vorläufige Ergebnisse einer laufenden Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes zurückgegriffen (Veröffentlichung für Herbst 2024 erwartet). Aus den Studienergebnissen können durchschnittliche Selbstverbrauchsquoten für Dachanlagen und Freiflächenanlagen abgeleitet werden. Im Rahmen der Abschätzung für Freiburg wurden die installierten Leistungen auf Dach- und Freiflächen im Stadtgebiet berücksichtigt und mit den durchschnittlichen SV-Quoten multipliziert. Für die Jahre 2021 und 2022 ergeben sich in Summe bei dieser Schätzung PV-Selbstverbrauchsquoten in Höhe von 11,5 % und 11,6 %. Werden diese Mengen sowohl auf Seiten der EE-Stromerzeugung als auch beim Stromverbrauch berücksichtigt, erhöht sich der EE-Anteil am Stromverbrauch in den Jahren 2021 und 2022 auf 8,4 % bzw. 10,3 % (Tabelle 7).

Tabelle 7 Abschätzung PV-Selbstverbrauch

	2021	2022
EE-Stromerzeugung in GWh	77,9	95,6
davon PV-Stromeinspeisung in GWh	37,6	43,6
PV-Selbstverbrauchsquote Freiburg	11,5%	11,6%
PV-Selbstverbrauch (PV-SV) in GWh	4,3	5,1
EE-Stromerzeugung inkl. PV-SV in GWh	82,2	100,6
Stromverbrauch in GWh	977,2	973,5
Stromverbrauch inkl. PV-SV in GWh	981,5	978,6
Anteil EE am Stromverbrauch inkl. PV-SV	8,4%	10,3%

Die Wärmeerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist im Betrachtungszeitraum zwischen den Jahren 2017 und 2022 relativ konstant und deckte in den Bilanzjahren 2021 und 2022 jeweils rund ein Drittel des gesamten Wärmeverbrauchs der Stadt Freiburg (Abbildung 9). Berücksichtigt wurden hierbei jeweils die KWK-Erzeugungsmengen aus dem Wärmebundkraftwerk, der Uniklinik und dezentralen KWK-Anlagen.

Auf Seiten des Stroms konnte im Bilanzjahr 2021 bilanziell fast die Hälfte (49 %) des Freiburger Stromverbrauchs (ohne Verkehr) durch KWK-Stromerzeugung gedeckt werden. Aufgrund geringerer Stromerzeugungsmengen im Wärmeverbundkraftwerk im Jahr 2022 sank der Anteil auf rund 36 % (Abbildung 9).

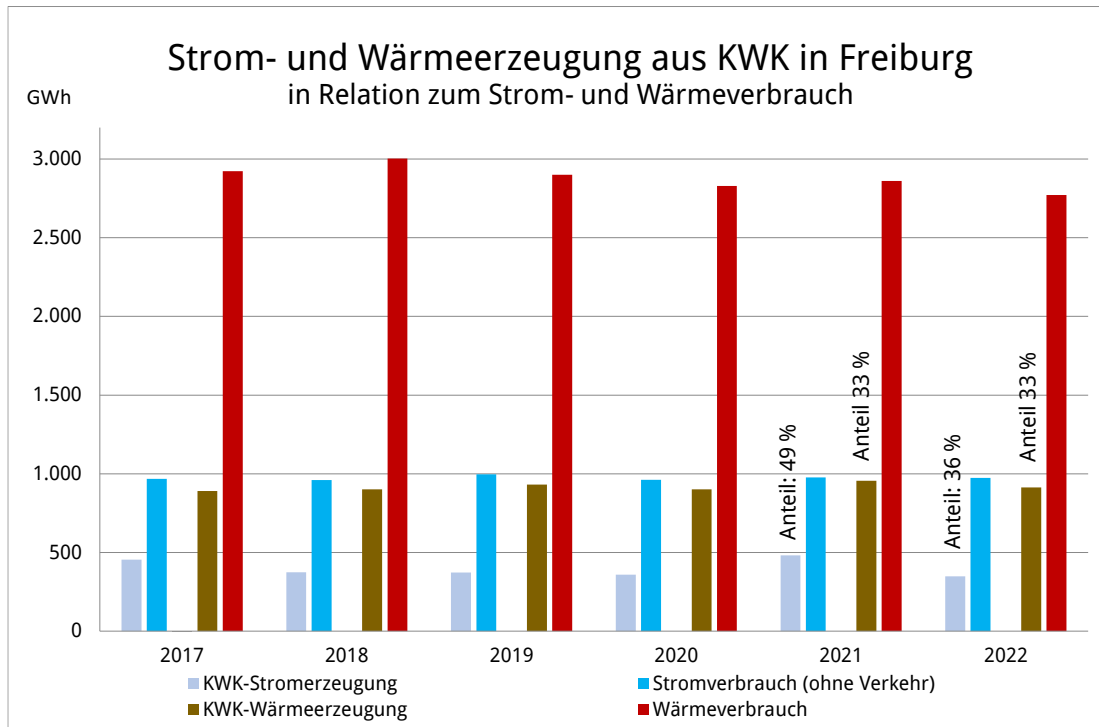


Abbildung 9 Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK in Freiburg

2.4 Strukturdaten

Durch die Entwicklung der Strukturdaten kann der Einfluss dieser auf die Energiebilanz und die Treibhausgasemissionen aufgezeigt werden (Abbildung 10). Aufgrund der seit 1992 deutlich gestiegenen Einwohnerzahl um über 21 % hat sich entsprechend auch die Zahl der Energieverbraucher in Freiburg erhöht. Dies wird auch mit dem Anstieg der Wohnfläche um rund 48 % sichtbar. Im Zeitraum von 1992 bis 2022 ist die Wohnfläche damit gegenüber der Einwohnerzahl deutlicher angestiegen, was durch einen Anstieg der einwohnerbezogenen Wohnfläche begründet werden kann. Im Jahr 1992 betrug diese rund 32,1 m² je Einwohner*in, im Jahr 2022 lag der Wert bei rund 39,2 m², was einem Anstieg um rund 22 % entspricht. Der in Abbildung 10 erkennbare Rückgang der spezifischen Wohnfläche zum Jahr 2022 kann durch einen markanten Anstieg der Einwohner*innen infolge von Flüchtlingsbewegungen (Ukraine-Krieg) begründet werden.

Die Zahl der Erwerbstätigen ist in Freiburg seit dem Jahr 1992 um 49 % angestiegen, was die Attraktivität des Wirtschaftsstandortes verdeutlicht. Auch kurzfristig ist im Zeitraum seit 2017, mit kurzer Unterbrechung im Pandemiejahr 2020, bis 2022 eine stetige Zunahme der Erwerbstätigen erkennbar.

Die Anzahl der Personenkraftwagen hat sich von rund 82.400 PKW im Jahr 1992 auf rund 95.400 im Jahr 2022 erhöht, was einem Anstieg um 16 % entspricht. Hierbei sei allerdings anzumerken, dass bis zum Jahr 2007 statistisch auch die vorübergehend stillgelegten Fahrzeuge mit in die Statistik gingen. Bei Bereinigung dieser Statistik würde sich ein Anstieg der Anzahl der PKW um rund 30 % gegenüber 1992 ergeben.

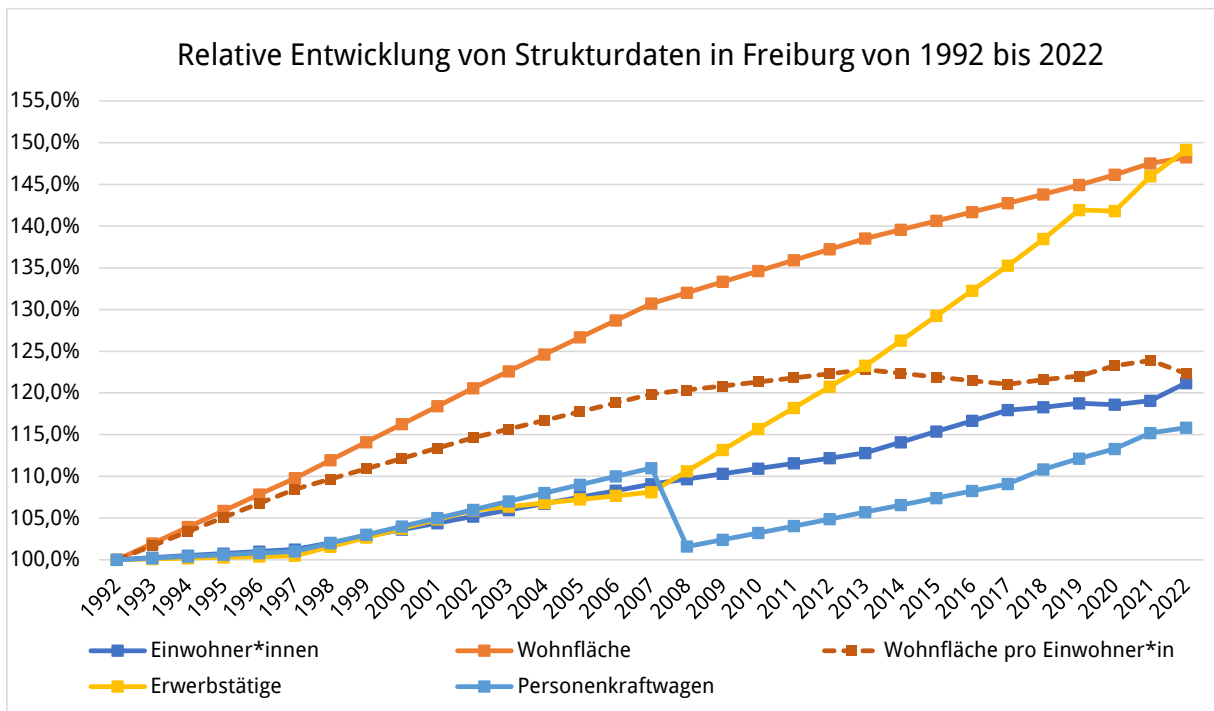


Abbildung 10 Entwicklung von Strukturdaten in Freiburg von 1992 bis 2022

3 Ausblick

Was ist für das Bilanzjahr 2023 zu erwarten?

Bundesweit ist der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung zum Jahr 2023 wieder deutlich gestiegen, gleichzeitig ist der Anteil des Kohleeinsatzes gesunken, in Summe führen diese Effekte zu einem Absinken des Emissionsfaktors des deutschen Strommixes. Für das Jahr 2023 wird dieser nach Logik der BSKO-Methodik voraussichtlich im Bereich zwischen 440 und 450 g/kWh liegen (zum Vergleich im Jahr 2022: 505 g/kWh). Durch diesen Effekt kann entsprechend im Bereich des Stroms für Freiburg von einer deutlichen Reduktion der Emissionen in einer Größenordnung von mindestens 10 % ausgegangen werden, was in Summe etwa 50.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten entspricht.

Bundesweit ist der Bruttostromverbrauch im Jahr 2023 gemäß Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen um rund 5 % gegenüber dem Jahr 2022 gesunken. Maßgeblich dafür war insbesondere ein Rückgang der Industrieproduktion. Auch der Verbrauch von Erdgas ist zum Jahr 2023 bundesweit um rund 5 % gesunken. Einsparungen gab es über die Sektoren hinweg gleichermaßen. Ursächlich dafür waren vorwiegend gestiegene Gaspreise und die Energieeinsparkampagne der Bundesregierung. In der Tendenz sollten in Freiburg die Verbräuche von Strom und Erdgas im Jahr 2023 zumindest leicht rückläufig gewesen sein.

Der Absatz von Ottokraftstoffen ist bundesweit im Jahr 2023 um 2,5 % gegenüber 2022 gestiegen, während bei Diesel ein Rückgang um 3,6 % zu verzeichnen war (Angaben aus BAfA Mineralölinfo Dezember 2023). Aufgrund der höheren Bedeutung des Diesel gemessen am Gesamtabsatz ist der Kraftstoffverbrauch bundesweit gesunken. Ob dies auch auf Freiburg zutrifft, wird sich im Rahmen der Fahrleistungsdaten für das Jahr 2023 zeigen. Tendenziell wird es innerhalb der Stadt Freiburg zum Jahr 2023 bei den Emissionen des Verkehrssektor aber wohl nur leichte Veränderungen geben.

Aufgrund der zuvor beschriebenen Effekte wird für die Stadt Freiburg für das Bilanzjahr 2023 mit einem deutlichen Rückgang der CO₂-Emissionen gerechnet. Bei gleichzeitig leicht gesteigener Zahl der Einwohner*innen werden die spezifischen Emissionen (witterungsbereinigt) im Jahr 2023 schätzungsweise im Bereich um 6,50 Tonnen CO₂-Äquivalenten je Einwohner*in liegen.

Ziel der Klimaneutralität 2035

Freiburg hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu werden. Das bedeutet, dass im Zeitraum von 2023 bis 2035 jährlich über 120.000 Tonnen CO₂-Äquivalente eingespart werden müssen. Im Durchschnitt der letzten 15 Jahre (2007 bis 2022) lag die jährliche Einsparung bei rund 20.000 Tonnen. Hiervon ist rund die Hälfte auf einen bundesweit gesunkenen Emissionsfaktor für Strom aufgrund des Ausbaus erneuerbarer Energien zurückzuführen, die andere Hälfte kann durch Energieeinsparungen und Energieträgerumstellungen innerhalb Freiburgs begründet werden. Dadurch zeigt sich, dass die Stadt Freiburg vor dem Hintergrund der Zielerreichung vor enormen Herausforderungen bei der Dekarbonisierung steht.

Klimafolgekosten

Das Umweltbundesamt weist die Klimafolgekosten für im Jahr 2022 emittierte Treibhausgase mit 237 Euro pro Tonne aus. Entsprechend sind in Freiburg im Jahr 2022 Kosten in Höhe von rund 380 Mio. Euro bzw. rund 1.620 Euro pro Einwohner*in entstanden, die den nachfolgenden Generationen überlassen werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	CO ₂ -Emissionen pro Einwohner*in - witterungskorrigiert	2
Abbildung 2	CO ₂ -Bilanz Freiburg 1992 bis 2022 - witterungskorrigiert	3
Abbildung 3	CO ₂ -Emissionen im Energiebereich 1992 bis 2022 - witterungskorrigiert	5
Abbildung 4	Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Energieträgern - witterungskorrigiert	6
Abbildung 5	Verteilung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungsarten im Energiebereich 2022	7
Abbildung 6	CO ₂ – Bilanz Verkehr Freiburg 1992 bis 2022	9
Abbildung 7	Fahrleistungen im Stadtgebiet Freiburg 2015 bis 2022	10
Abbildung 8	Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und Anteil am Stromverbrauch 2005 bis 2022	11
Abbildung 9	Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK in Freiburg	12
Abbildung 10	Entwicklung von Strukturdaten in Freiburg von 1992 bis 2022	123



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einwohnerentwicklung und Emissionen - witterungskorrigiert seit 1992	3
Tabelle 2	Entwicklung der absoluten CO ₂ -Emissionen - witterungskorrigiert	4
Tabelle 3	Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Sektoren - witterungskorrigiert	5
Tabelle 4	Endenergieverbrauch im Energiebereich nach Energieträgern - witterungskorrigiert	7
Tabelle 5	Endenergieverbrauch nach Anwendungsarten sektoral 2022 – nicht witterungskorrigiert	8
Tabelle 6	Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 2005 bis 2022	10
Tabelle 7	Abschätzung PV-Selbstverbrauch	12