



INSTITUT FÜR ENERGIE-  
UND UMWELTFORSCHUNG  
HEIDELBERG

---

# CO<sub>2</sub>-Bilanz Energie und Verkehr für die Stadt Freiburg bis 2020

## Bericht

Hans Hertle, Benjamin Gugel

Heidelberg, 6. Oktober 2022

---

# 1 Einleitung

---

Seit der CO<sub>2</sub>-Bilanz 2012 wurde für die Stadt Freiburg der bundesweiten Bilanzierungsstandard „BISKO“<sup>1</sup> eingesetzt. Dieser Standard wurde u.a. vom ifeu – Institut im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) beauftragten Projektes „Klimaschutz-Planer“<sup>2</sup> zusammen mit dem Klima-Bündnis entwickelt. Wesentliche Eckdaten dieser Berechnungsmethode sind:

- Als Grundlage der Berechnung im Energiebereich gilt das „endenergiebasierte Territorialprinzip“. D.h. es werden die jährlichen Energieverbräuche, die innerhalb der Stadtgrenzen angefallen sind, mit Emissionsfaktoren verknüpft.
- Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Strombereich wird dazu der bundesweit aktuelle Strommix herangezogen.
- Die lokale Wärmeauskopplung der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) wird exergetisch, d.h. auf Basis der Arbeitsfähigkeit von Strom und Wärme, bewertet.
- Die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren werden einschließlich Vorkette und den äquivalenten Emissionen von Lachgas und Methan als CO<sub>2</sub>-Äquivalent berechnet.
- Für die Basisbilanz wird zuerst der nicht witterungskorrigierte Verbrauch herangezogen, wie es auch auf Ebene des nationalen Treibhausgasinventars erfolgt. Damit ist ein Vergleich mit der Entwicklung in Deutschland möglich.
- In diesem Bericht werden zusätzlich die witterungskorrigierten Werte herangezogen und dargestellt. Damit ist eine Interpretation der Zeitreihe der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Freiburg ohne Einfluss der Witterung möglich.

Ab dem Jahr 2015 wurde die Software „Klimaschutz-Planer“ eingesetzt, mit der kommunale Bilanzen BISKO-konform berechnet werden können. Damit ist eine Online-Eingabe und -Darstellung der Freiburger Bilanzen möglich.

Im Bereich Verkehr wurden für die letzte Bilanz im Jahr 2018 alle Bilanzjahre von 1992 bis 2018 nochmals komplett neu aufgesetzt. Dies war aufgrund methodischer Anpassungen des statistischen Landesamtes und der Änderung der TREMOD-Emissionsdaten notwendig und gilt deutschlandweit für alle Kommunen, die mit dem BISKO-Standard bilanzieren. Diese Methodik wurde für die Bilanzen 2019 und 2020 fortgeführt<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> BISKO: Bilanzierungs-Standard Kommunal.

Siehe: [https://www.ifeu.de/energie/pdf/Bilanzierungs-Systematik\\_Kommunal\\_Kurzfassung.pdf](https://www.ifeu.de/energie/pdf/Bilanzierungs-Systematik_Kommunal_Kurzfassung.pdf)

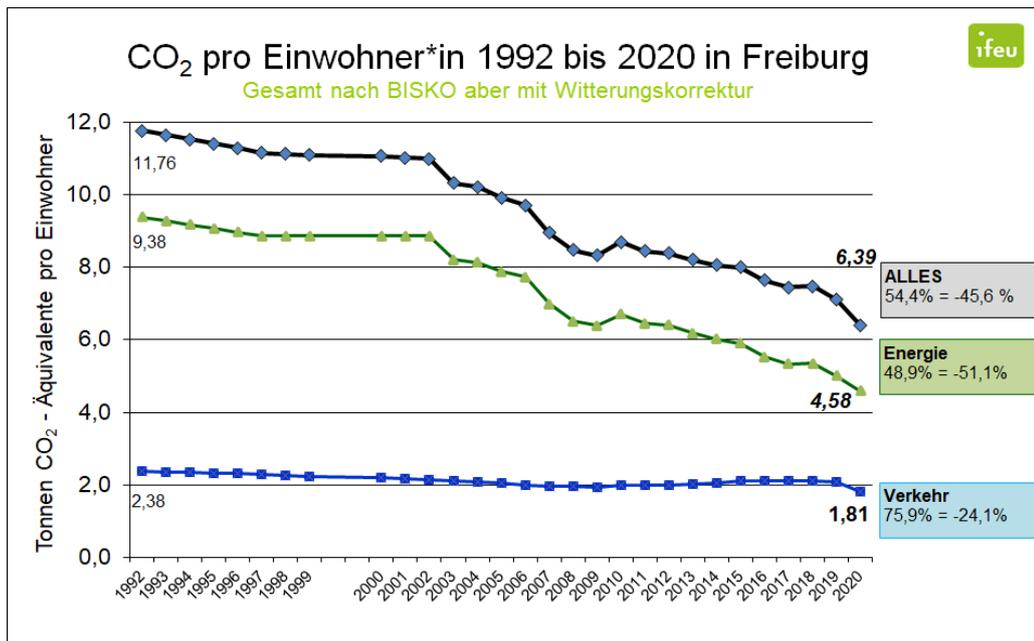
<sup>2</sup> Siehe: [www.klimaschutz-planer.de](http://www.klimaschutz-planer.de)

<sup>3</sup> Gegenüber der letzten Bilanzerstellung für das Bilanzjahr 2018 haben sich bei Fahrleistungen des Statistischen Landesamtes noch einmal die LKW-Verkehr leicht nach oben erhöht. Dies wurde in den Bilanzen ab 2015 berücksichtigt und die Bilanzen entsprechend angepasst.

# 2 Entwicklung von 1992 bis 2020

## 2.1 CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einwohner\*in

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Sektoren bezogen auf die Einwohner\*innen in Freiburg sind von 11,76 Tonnen im Jahr 1992 auf 6,39 Tonnen im Jahr 2020 gesunken. Das entspricht einer Minderung von -45,6%. Bezug ist die witterungskorrigierte Bilanz. Pro Jahr beträgt die durchschnittliche Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf -1,63 Prozentpunkte bezogen auf das Jahr 1992.



Die zugrundeliegende Einwohnerentwicklung zeigt folgende Tabelle (Quelle: Statistisches Jahrbuch Freiburg):

Bezugsjahr	1992	1997	2002	2007	2012	2017	2018	2019	2020
Einwohner*innen	193.463	195.858	203.503	209.599	213.986	225.610	226.207	227.090	226.728
Vergleich zu 1992	100,0%	101,2%	105,2%	108,3%	110,6%	116,6%	116,9%	117,4%	117,2%

Die konkreten Zahlen der einwohnerspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (BISKO-Standard und witterungskorrigiert) zeigt die nächste Tabelle:

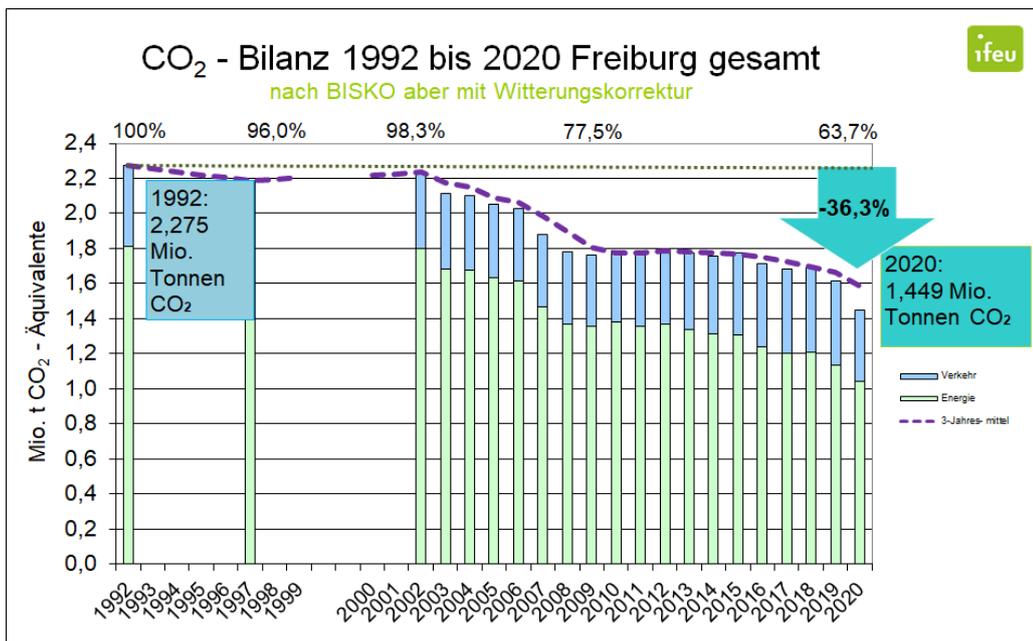
Bezugsjahr	1992	1997	2002	2007	2012	2017	2018	2019	2020
Spezifische CO <sub>2</sub> - Emissionen	11,76	11,16	10,99	8,95	8,39	7,45	7,47	7,10	6,39
Vergleich zu 1992	100,0%	94,9%	93,4%	76,1%	71,3%	63,4%	63,5%	60,4%	54,4%
Minderung seit 1992		-5,1%	-6,6%	-23,9%	-28,7%	-36,6%	-36,5%	-39,6%	-45,6%

Die Minderung der einwohnerspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um insgesamt -45,6% resultiert aus der Minderung um -51,1% im Energiebereich und von -24,1% im Verkehrsbereich (siehe Abbildung). Gut zu erkennen ist in der Grafik die Delle um die Jahre 2008 und 2009 im Energiebereich. Diese zeigt die Auswirkungen der Weltwirtschaftskrise auf die spezifischen Emissionen in Freiburg. Ohne diesen Effekt wäre die Emissionsentwicklung im Energiebereich von 2004 bis 2015 nahezu linear. Es ist absehbar, dass die Bilanz des Jahres 2020 aus zwei Gründen eine ähnliche Delle erzeugen wird. Einerseits sind die Verkehrsemissionen aufgrund der Corona-Pandemie deutlich zurückgegangen, andererseits wurden im Jahr 2020

außergewöhnlich viele erneuerbare Energien in das Netz eingespeist, so dass der bundesdeutsche Strommix sich gegenüber 2018 (544g CO<sub>2eq</sub>/kWh) und 2019 (478 g CO<sub>2eq</sub> /kWh) noch einmal auf 429 g CO<sub>2eq</sub> /kWh deutlich verbesserte.

## 2.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen absolut

**GESAMT:** Die witterungsbereinigten CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Sektoren sind von 2,275 Mio. Tonnen im Jahr 1992 auf 1,449 Mio. Tonnen im Jahr 2020 gesunken. Das entspricht einer Minderung von insgesamt ca. 826.000 Tonnen (-36,3 %) bzw. einer mittleren Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr um etwa 29.500 Tonnen bzw. etwa 1,3 % seit 1992.

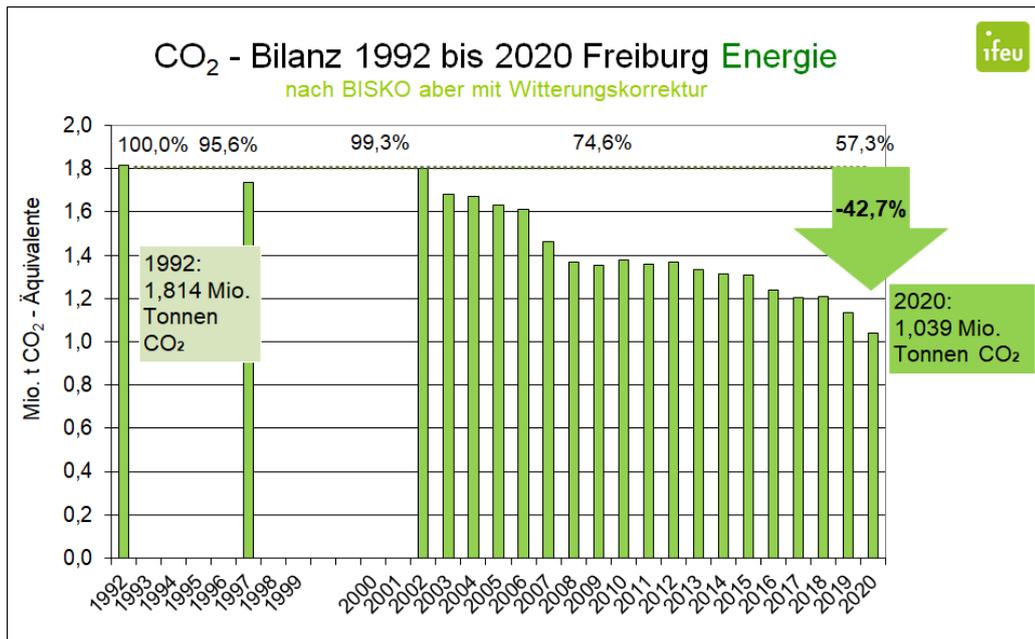


Der Energiebereich hat dazu seit 1992 etwa 775.000 Tonnen zur Minderung beigetragen (das sind pro Jahr ca. 27.700 Tonnen). Im Verkehrsbereich kam es gegenüber 1992 zu einer Minderung von insgesamt etwa 50.600 Tonnen (pro Jahr knapp 1.800 Tonnen).

CO <sub>2</sub> mit Witterungs	Bezugsjahr	1992	1997	2002	2007	2012	2017	2018	2019	2020
CO <sub>2</sub> -Emissionen [t]	Verkehr	460.700	449.400	434.600	412.100	425.100	477.000	478.700	475.900	410.100
CO <sub>2</sub> -Emissionen [t]	ENERGIE	1.814.500	1.735.500	1.801.100	1.464.100	1.369.200	1.204.100	1.210.600	1.136.300	1.039.400
CO <sub>2</sub> -Emissionen [t]	SUMME	2.275.200	2.184.900	2.235.700	1.876.200	1.794.300	1.681.100	1.689.300	1.612.200	1.449.500
bezogen auf 1992	Verkehr	100,0%	97,5%	94,3%	89,5%	92,3%	103,5%	103,9%	103,3%	89,0%
bezogen auf 1992	ENERGIE	100,0%	95,6%	99,3%	80,7%	75,5%	66,4%	66,7%	62,6%	57,3%
bezogen auf 1992	SUMME	100,0%	96,0%	98,3%	82,5%	78,9%	73,9%	74,2%	70,9%	63,7%

### 2.2.1 CO<sub>2</sub>-Emissionen absolut im Energiebereich

Im stationären Bereich sind die witterungsbereinigten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1,814 Mio. Tonnen im Jahr 1992 auf 1,039 Mio. Tonnen im Jahr 2020 gesunken. Das entspricht einer Minderung gegenüber 1992 von -42,7 %.



Etwa 40% dieser Minderung erfolgte durch den geringeren Energieverbrauch gegenüber 1992. Die anderen 60% resultieren aus den verbesserten Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung, sowohl bei der Substitution von Energieträgern (z.B. Fernwärme statt Heizöl) als auch durch die Verbesserung des Strommixes durch Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung.

### 2.2.2 Endenergieverbrauch im Energiebereich

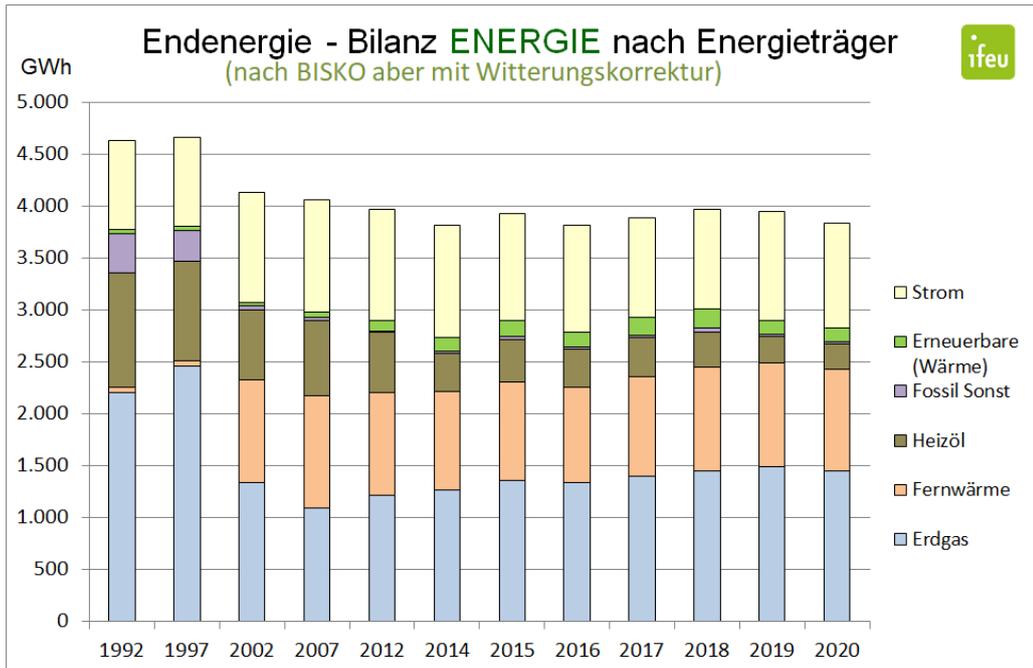
Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiebereich basiert auf dem witterungskorrigierten Endenergieverbrauch in der Stadt Freiburg im stationären Sektor. Dieser ist seit 1992 um -18,1% von 4.630 auf 3.790 GWh im Jahr 2020 gesunken (siehe Tabelle<sup>1</sup>).

Vor allem ging der Energieverbrauch im Industriebereich zurück (um -21,5% von 1.350 GWh auf 1.060 GWh). Im Bereich Haushalt und Gewerbe sank der Energieverbrauch um -16,8% von 3.280 GWh auf 2.730 GWh.

Endenergie in GWh/a	1992	1997	2002	2007	2012	2017	2018	2019	2020
Industrie	1.350	1.390	1.270	1.180	1.030	1.010	1.050	1.030	1.060
Haushalte und Gewerbe	3.280	3.240	3.580	2.880	2.940	2.870	2.920	2.860	2.730
<b>Summe Energie mit Witt.-Korr.</b>	<b>4.630</b>	<b>4.630</b>	<b>4.850</b>	<b>4.060</b>	<b>3.970</b>	<b>3.890</b>	<b>3.960</b>	<b>3.900</b>	<b>3.790</b>
<b>Summe zu 1992</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>104,8%</b>	<b>87,7%</b>	<b>85,7%</b>	<b>84,0%</b>	<b>85,5%</b>	<b>84,2%</b>	<b>81,9%</b>
Industrie zu 1992	100,0%	103,0%	94,1%	87,4%	76,3%	74,8%	77,8%	76,3%	78,5%
Haushalte und Gewerbe zu 1992	100,0%	98,8%	109,1%	87,8%	89,6%	87,5%	89,0%	87,2%	83,2%

Die Aufteilung auf Energieträger zeigt die nächste Grafik. Deutlich ist die Abnahme bei Heizöl seit 1992 bis 2020 zu sehen. In der Fernwärme ist auch der Ferndampf des Wärmeverbundkraftwerkes (WVK) enthalten, der vor 2002 noch als Prozessdampf zugeordnet und daher unter Erdgas bilanziert war. Der Stromverbrauch ist von 2002 bis 2020 um -5,1% gesunken. 1992 und 1997 sind nicht vergleichbar, da der Eigenstromverbrauch des damaligen Dampfturbinenkraftwerkes der Firma Rhodia/Cerdia (heute Wärme-Verbund-Kraftwerk) nicht enthalten war sondern unter „Erdgas“ bilanziert wurde.

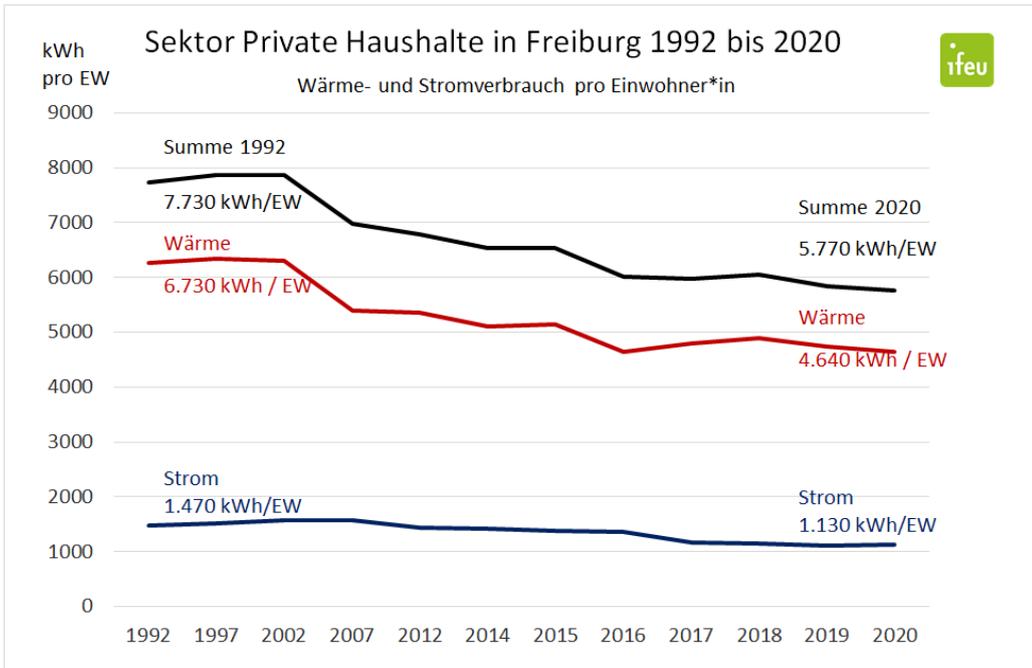
<sup>1</sup> Differenzen bei der Summenbildung entstehen durch Runden der Beträge.



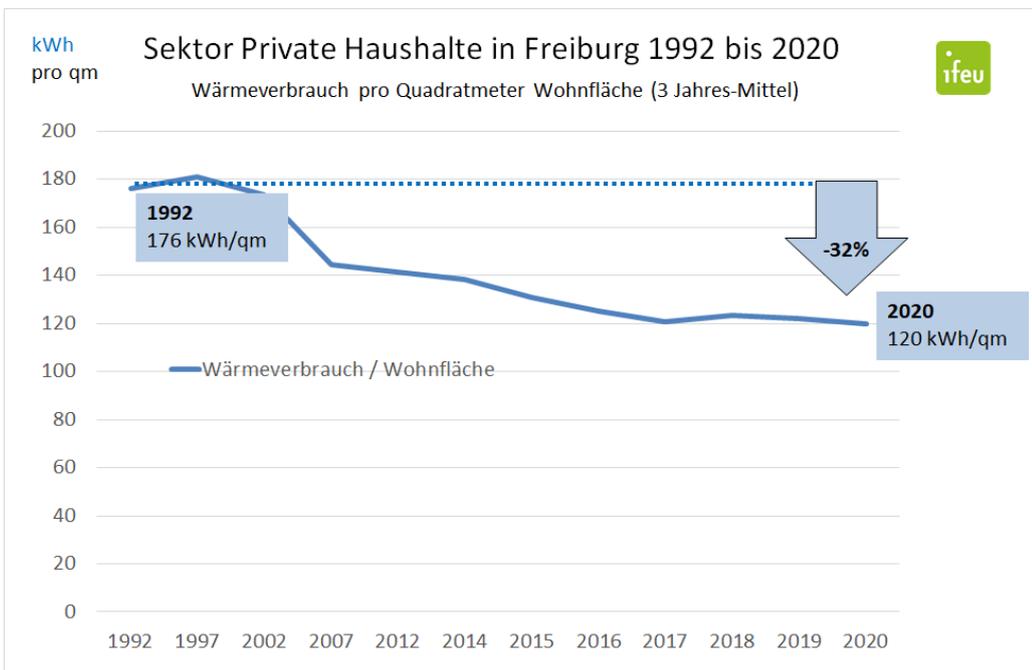
	1992	1997	2002	2007	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Erdgas</b>	2.207	2.458	1.337	1.088	1.214	1.266	1.350	1.337	1.393	1.442	1.490	1.442
<b>Fernwärme</b>	46	48	986	1.082	985	944	955	919	957	1.007	1.002	988
<b>Heizöl</b>	1.100	960	678	722	587	369	412	365	383	337	248	243
<b>Fossil Sonst</b>	380	302	36	30	11	22	21	20	23	37	21	21
<b>Erneuerbare (Wärme)</b>	40	36	31	59	97	135	156	139	166	181	136	132
<b>Strom</b>	857	861	1.061	1.082	1.075	1.080	1.030	1.034	968	961	1.045	1.007
<b>SUMME</b>	4.629	4.665	4.129	4.063	3.969	3.817	3.924	3.815	3.889	3.964	3.943	3.833

### 2.2.3 Spezifischer Endenergieverbrauch Privater Haushalte

Die Abbildung zeigt die deutliche Absenkung des Energieverbrauches pro Einwohner\*in zwischen 1992 und 2020, sowohl insgesamt (-25%) als auch speziell beim Strom- und Wärmeverbrauch (-23% und -26%). Als Wärmeverbrauch wird hier vereinfacht der Gesamtverbrauch im Sektor Private Haushalte abzgl. des Stromverbrauches angenommen.

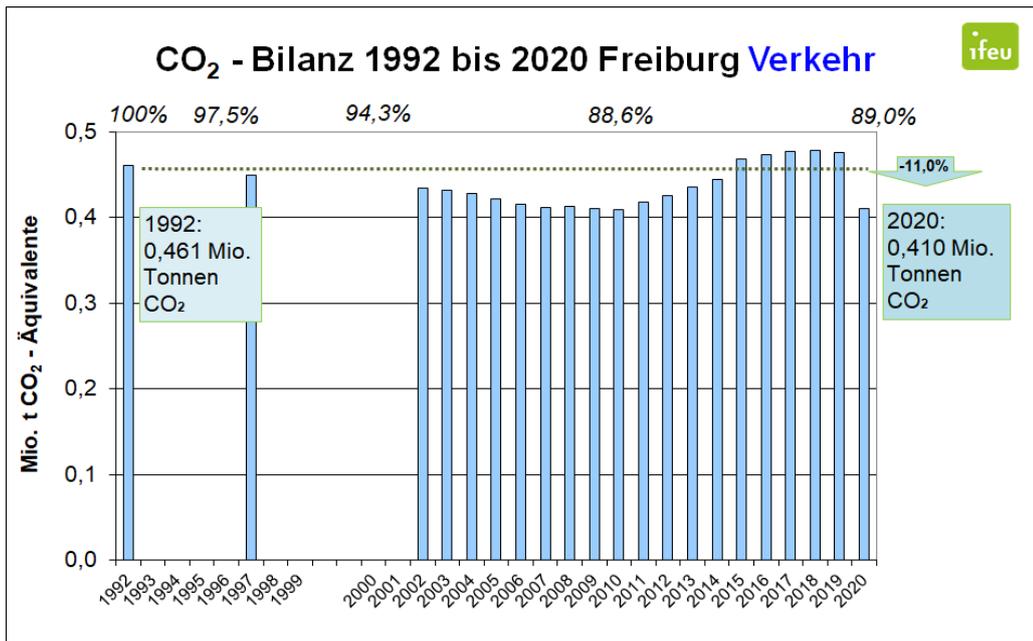


Der Wärmeverbrauch (im wesentlichen Warmwasser und Raumwärme) pro Wohnfläche ist im 3 Jahres-Mittel zwischen 1992 und dem Jahr 2020 um 32% zurückgegangen und liegt 2020 bei 120 kWh/(qm\*a).



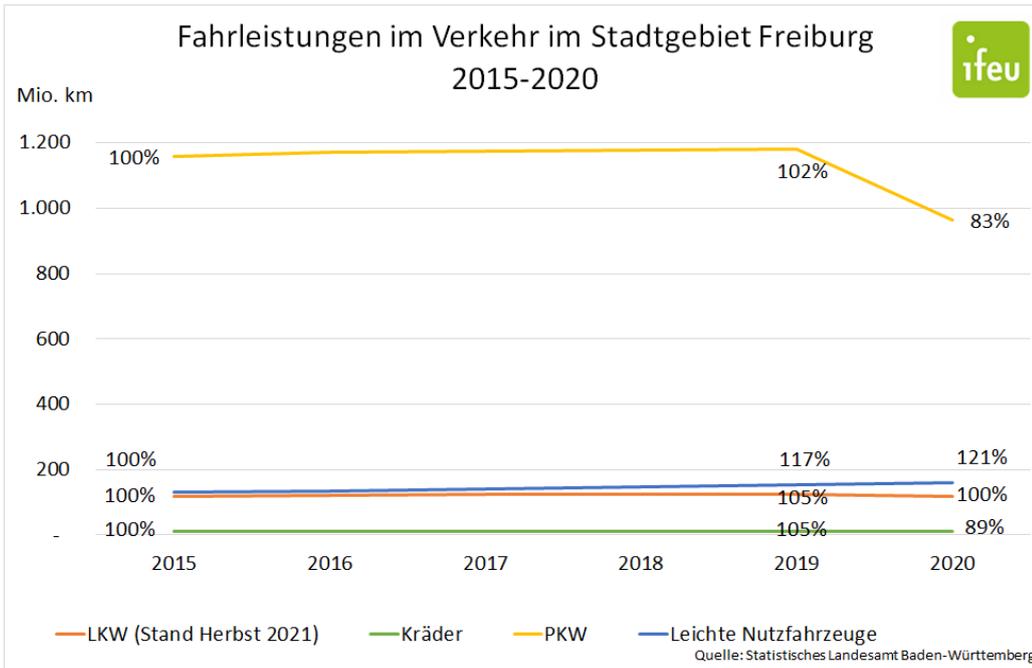
### 2.2.4 CO<sub>2</sub>-Emissionen absolut im Verkehr

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrsbereiches sind von 0,461 Mio. Tonnen im Jahr 1992 auf 0,410 Mio. Tonnen im Jahr 2020 gesunken. Das entspricht einer Reduktion gegenüber 1992 von 11 %. Damit entsprechen die CO<sub>2</sub>-Emissionen dem zwischenzeitlichen Rückgang im Jahr 2010. Es zeigt sich aber auch, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vor-Corona-Jahr 2019 knapp 3% über den Emissionen des Jahres 1992 lagen. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Wert 2021 mit Normalisierung der Verkehre wieder verschlechtern wird.



Grundlage für den Endenergieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrsbereich sind die Fahrleistungen verschiedener Fahrzeugtypen. Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg (StaLa) stellt hier als einziges Landesamt in Deutschland eigene erhobene Fahrleistungen für Landkreise und kreisfreie Städte zur Verfügung. Die Daten sind ab dem Jahr 2015 für alle Einzeljahre durchgehend online verfügbar<sup>1</sup> (darüber hinaus auch die Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010) und wurden zuletzt im Herbst 2021 neu bereitgestellt. Für die Bilanz des Jahres 2018 wurden vom StaLa bereitgestellte Fahrleistungsdaten genutzt, welche den vorläufigen Berechnungsstand von September 2018 berücksichtigt haben. Mit den neuen bereitgestellten Daten aus dem Herbst 2021 kam es zu geringfügigen Veränderungen, welche die Fahrleistungen der LKW-Verkehre betreffen. Entsprechend wurden die Bilanzen bis 2015 rückwirkend noch einmal mit den neuen Daten berechnet. Die Fahrleistungszahlen in der folgenden Grafik zeigen, dass es im Jahr 2020 v.a. im PKW-Verkehr zu deutlichen Reduktionen kam. Bei anderen Verkehren zeigen sich die Corona-bedingten Auswirkungen bei den Fahrleistungen nicht so deutlich bzw. sie stiegen sogar bei leichten Nutzfahrzeugen.

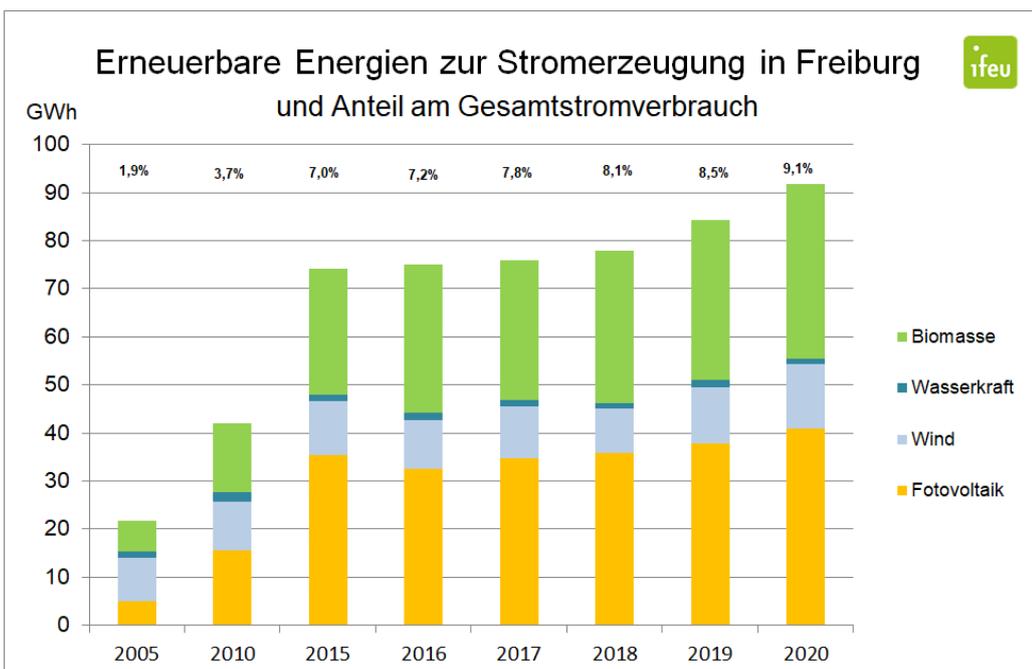
<sup>1</sup> <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/10026017.tab?R=KR311>



## 2.3 Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung

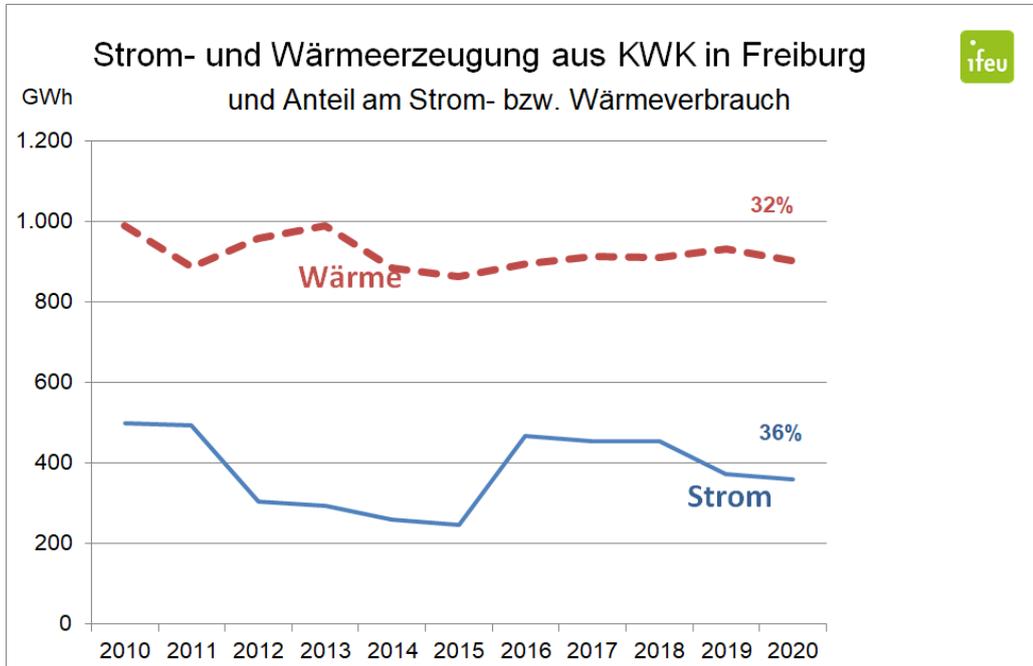
Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Freiburg ist in der Summe erneut angestiegen. 2020 liegt sie inzwischen bei 91,8 GWh im Stadtgebiet Freiburg. Damit liegt der Anteil der Erneuerbaren Energien am Gesamtstromverbrauch 2020 bei 9,1%.

Bezugsjahr		2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>ERNEUERBARE ENERGIEN</b>		<b>GWh</b>							
Fotovoltaik	[GWh]	5,1	15,5	35,5	32,5	34,7	35,9	37,8	41,0
Wind	[GWh]	8,9	10,2	11,1	10,1	10,9	9,1	11,665	13,425
Wasserkraft	[GWh]	1,4	2,0	1,3	1,7	1,3	1,1	1,6	1,1
Biomasse	[GWh]	6,4	14,2	26,3	30,7	29,0	31,7	33,2	36,3
<b>Freiburg gesamt</b>	<b>[GWh]</b>	<b>21,7</b>	<b>42,0</b>	<b>74,2</b>	<b>75,0</b>	<b>75,9</b>	<b>77,8</b>	<b>84,3</b>	<b>91,8</b>



Die Energieerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist bei der Wärmeauskopplung im Vergleich zu 2016 etwa gleichgeblieben (2020: 32% des Wärmeverbrauchs in Freiburg).

Auch im Strombereich sinkt der KWK-Anteil von 2016 bis 2020 auf 36%. Ursache ist, dass in den Jahren 2019 und 2020 im Wärmeverbundkraftwerk weniger Strom erzeugt wurde als in den Vorgängerjahren.



### Anteil Eigenerzeugung bei Erneuerbaren Energien

Der in PV-Modulen erzeugte Strom wird in den letzten Jahren immer mehr für den direkten Eigenverbrauch am Ort der Erzeugung eingesetzt. Dieser erzeugte und direkt verbrauchte Strom findet sich derzeit nicht in den oben beschriebenen Ergebnissen. Dies liegt daran, dass für den Eigenverbrauch derzeit noch keine regelmäßigen Datenerhebungen existieren. Im Rahmen dieses Auftrages wurde erstmals versucht, diesen Eigenverbrauch für das Jahr 2020 zu ermitteln bzw. abzuschätzen.

Basis der Abschätzung bildet eine Analyse der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) für das Jahr 2018, welche für den Energieatlas des Landes erfolgt ist. Dort wurde auf Basis bestehender Anlagen die erzeugte Strommenge abgeschätzt und mit der tatsächlich eingespeisten Menge verglichen. Aus der Differenz kann der ermittelte Eigenverbrauch abgeleitet werden.

Für die Stadt Freiburg würde sich demnach die lokale Stromproduktion inkl. Eigenverbrauchsanteil noch einmal um 9 % erhöhen. Geht man davon aus, dass gerade neu installierte Anlagen wesentlich häufiger für den Eigenverbrauch genutzt werden (und dabei von einer Spanne von 30 % bis 90 % ausgeht), erhält man mit den nach 2018 installierten Anlagen für das Jahr 2020 einen Eigenverbrauchsanteil von 10 % bis 13 %, welcher beim oben dargestellten Endenergieverbrauch und die EE-Erzeugung ergänzt werden müsste.

Bei einer Eigenverbrauchsquote von beispielsweise 12 % liegt die erzeugte Menge Strom durch PV-Anlagen 5 GWh höher (Von 41 GWh auf 46 GWh). Dadurch erhöht sich der Endenergieverbrauch von 3.790 GWh auf 3.795 GWh (hiervon der Anteil Stromverbrauch von 1.009 GWh auf 1.014 GWh). Der Anteil des in Freiburg erzeugten erneuerbaren Stroms am

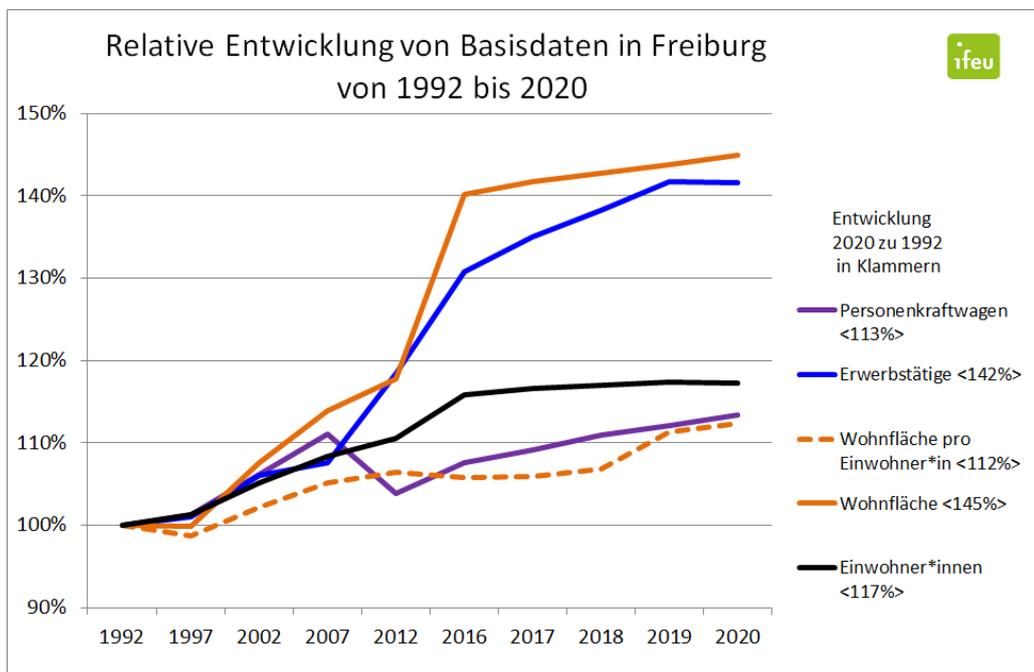
Gesamtstromverbrauch erhöht sich durch die Einbeziehung des Eigenstromverbrauchs von 9,1 % auf 9,6 %.

## 2.4 Strukturdaten

Die nächste Grafik bzw. Tabelle zeigt die Entwicklung ausgewählter Strukturdaten in Freiburg von 1992 bis 2020. Neben dem oben schon gezeigten Einwohnerzuwachs von 17% kam es auch zu einem Wohnflächenzuwachs von 45%. Die Wohnfläche pro Einwohner stieg gegenüber 1992 um 12%. 2020 gab es 42% mehr Erwerbstätige am Arbeitsort Freiburg als 1992.

Die PKW-Dichte pro Einwohner stieg von 1992 bis 2020 um 13%. Allerdings ist das unter anderem auf eine statistische Bereinigung der Daten zurück zu führen. Bis 2007 wurden auch stillgelegte Fahrzeuge dazu gezählt. Würde man die Kurve bereinigen wäre die PKW-Dichte um mehr als 30% gestiegen.

Entwicklung ausgewählter Strukturdaten in Freiburg										ifeu 2022
	1992	1997	2002	2007	2012	2017	2018	2019	2020	
Einwohner*innen	100%	101%	105%	108%	111%	117%	117%	117%	117%	
Wohnfläche	100%	100%	108%	114%	118%	142%	143%	144%	145%	
Wohnfläche pro Einwohner*in	100%	99%	102%	105%	106%	106%	107%	111%	112%	
Erwerbstätige	100%	101%	106%	108%	118%	135%	138%	142%	142%	
Personenkraftwagen	100%	101%	106%	111%	104%	109%	111%	112%	113%	



Unter der Annahme der Klimafolgekosten von 195 Euro pro Tonne Treibhausgas (Quelle: Umweltbundesamt 2020<sup>1</sup>) entstehen jährlich (2020) in Freiburg noch Kosten von etwa 283 Mio. Euro oder 1.250 Euro pro Einwohner\*in<sup>2</sup>, die wir den nachfolgenden Generationen überlassen.

<sup>1</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/konsequenter-umweltschutz-spart-der-gesellschaft>

<sup>2</sup> Nimmt man den Konsum und die Ernährung dazu wären es ca. 2.200 € pro Einwohner\*in.

## 3 Ausblick 2038 (2050)

Insbesondere unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums ist die bisher erreichte Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Freiburg ein positives Ergebnis. 2020 ist jedoch als Sonderfall nicht zuletzt aufgrund der Corona-bedingten Senkungen zu betrachten. So macht die seit 2010 eingetretene Verlangsamung der Reduktion im Energiebereich und der Anstieg der Emissionen im Verkehrsbereich (jeweils bis 2019) deutlich, dass die Bemühungen der Stadt im Klimaschutz auf allen Ebenen weiter verstärkt und intensiviert werden müssen.

Wird die bisherige Entwicklung der einwohnerspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Freiburg (siehe lila TREND-Pfeil in der Abbildung) 2019 (2020 mit Corona als Sonderfall wird im Trend nicht berücksichtigt) fortgeschrieben, so würde das Ziel der Klimaneutralität bis 2038 und auch 2050 verfehlt.

Um das Ziel 2038 zu erreichen, müsste sogar ab dem „Corona“- Bilanzjahr 2020 die jährliche Reduktionsrate bis 2038 auf über 8% angehoben werden.

