

CLIMATE CHANGE

15/2022

Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021

von

Petra Icha, Dr. Thomas Lauf
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Unter Mitarbeit von
Gunter Kuhs
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Herausgeber:

CLIMATE CHANGE 15/2022

Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021

von

Petra Icha, Dr. Thomas Lauf
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Unter Mitarbeit von

Gunter Kuhs
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Abschlussdatum:

April 2022

Redaktion:

Fachgebiet V 1.5 Energiedaten Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-
Statistik (AGEE-Stat)
Petra Icha

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, April 2022

Kurzbeschreibung

Das Umweltbundesamt veröffentlicht jährlich seine Berechnungsergebnisse zur Entwicklung des Kohlendioxid-Emissionsfaktors des deutschen Strommix in der Zeitreihe ab 1990, der als Indikator für die Klimaverträglichkeit der Stromerzeugung angesehen werden kann. Er darf jedoch nicht losgelöst von der Entwicklung des Stromverbrauchs insgesamt und den gesamten aus der Stromerzeugung entstehenden Kohlendioxidemissionen betrachtet werden. Dargestellt werden daher die Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, der jeweilige Stromverbrauch mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos und der **CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix**, der **CO₂-Emissionsfaktor für den Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix** und der **CO₂-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos**. Die Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos werden zusätzlich ausgewiesen.

In die aktuelle Veröffentlichung wurde erstmalig auch eine Berechnung und Ausweisung der spezifischen Treibhausgasemissionen mit und ohne Vorketten aufgenommen.

Die jährliche Fortschreibung und Aktualisierung der spezifischen CO₂-Emissionen des deutschen Strommixes erfolgt auf Basis der Emissionen entsprechend dem Berichtsstand der Treibhausgasberichterstattung an das Klimasekretariat sowie der Stromerzeugung entsprechend der Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, des statistischen Bundesamtes und der Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien-Statistik (AGEE - Stat) für die Zeitreihe 1990 –2020. Dabei werden im Veröffentlichungsjahr x für das Jahr „x-1“ hochgerechnete Datensätze und für das Jahr „x-2“ vorläufige Basisdatensätze zur Berechnung herangezogen.

Änderungen durch Neuberechnungen der Quellen (Energiebilanzen, Bruttostromerzeugung, Emissionsfaktoren) werden – soweit sie zum Zeitpunkt der Aktualisierung veröffentlicht waren – berücksichtigt. Eine Aktualisierung von Emissionsfaktoren in den Treibhausgasinventaren bedingt Veränderungen im Bereich der Emissionen aus der Stromerzeugung, eine Aktualisierung im Bereich der erneuerbaren Energien verursacht Rückwirkungen auf die Bruttostromerzeugung und eine Neubewertung des Stromhandelssaldos hat Veränderungen im Stromverbrauch für den deutschen Strommix zur Folge (siehe auch Kapitel ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen).

Deutschland weist seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss auf, der im Jahr 2017 mit einem Stromhandelssaldo von 52,5 TWh einen Höchststand erreicht hat und seither bis zum Jahr 2021 auf fast 18 TWh zurück gegangen ist. Der Anteil Stromhandelssaldos an der Bruttostromerzeugung beziffert sich in 2020 und 2021 auf rund 3 % und verursacht 7 Mio t. CO₂ Emissionen. Um diese Menge würden sich die deutschen CO₂-Emissionen aus dem Stromsektor reduzieren, wenn das Stromhandelssaldo ausgeglichen wäre.

Das Jahr 2021 ist als weiteres Ausnahmejahr durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie zu betrachten. Diese sind nicht eindeutig quantifizierbar, wurden aber bei den Schätzungen berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungen.....	7
1 Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix.....	8
2 Methode zur Berechnung.....	13
2.1 CO ₂ -Emissionsfaktor für den deutschen Strommix	13
2.2 CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix	13
2.3 CO ₂ -Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos	13
2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung.....	13
2.5 Kohlendioxidemissionen der inländischen Stromerzeugung.....	14
2.6 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung.....	15
2.7 Inländischer Stromverbrauch.....	15
2.8 THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix	16
2.9 Vorketten für den THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix	17
3 Zeitliche Entwicklung des Indikators	19
3.1 Spezifische CO ₂ -Emissionen des deutschen Strommixes.....	19
3.2 Entwicklung gesamte CO ₂ -Emissionen aus der Stromerzeugung	24
3.2.1 Überblickt zur Entwicklung	24
3.2.2 Die Entwicklung im Einzelnen	25
4 Zusammenfassung.....	26
5 Ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen.....	28
6 Quellenverzeichnis	29
A Anhang 1: CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio. t.....	30
B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch	31
C Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE	33

Abbildungsverzeichnis

Abb 1:	Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromaustauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland	16
Abb. 2:	Spezifische Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelsaldos	19
Abb. 3:	Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“	23
Abb. 4:	Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (unter Beachtung des Stromhandelsaldos)	24
Abb. 5:	Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und der Entwicklung des Stromverbrauchs im Vergleich	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Emissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und Emissionsfaktor des Stroms	10
Tabelle 2:	CO ₂ und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette	18
Tabelle 3:	CO ₂ -Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2020*	20
Tabelle 4:	Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung ¹	21

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V.
AGEE - Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien - Statistik
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
EB	Energiebilanz
EU	Europäischer Union
CO ₂	Kohlendioxid
Destatis	Statistisches Bundesamt
EF	Emissionsfaktor
EM	Emission
g	Gramm
HW	Heizwert
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NIR	Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar
PSE	Pumpstromezeugung, ohne Erzeugung aus natürlichem Zufluss
THG	Treibhausgase
TWh	Terrawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
ZSE	Zentrales System der Emissionen (interne Datenbank des Umweltbundesamtes zur Internationalen Emissionsberichterstattung)

1 Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix

Das Umweltbundesamt berechnet jährlich mehrere Indikatoren, die die Klimaverträglichkeit der Stromerzeugung und die Entwicklung ab dem Jahr 1990 charakterisieren.

„Direkte CO₂-Emissionen je Kilowattstunde Strom“ wird als **„Emissionsfaktor für den deutschen Strommix“** bezeichnet.

Bei der Erzeugung einer Kilowattstunde Strom für den Endverbrauch ohne Berücksichtigung des Stromhandelsaldos wurden in Deutschland im Jahr 2019 durchschnittlich 411 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind 353 g CO₂/kWh oder ca. 46,2 % weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2020 sind dies auf der Basis vorläufiger Daten 375 g CO₂/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2021 ergeben 420 g CO₂/kWh.

Der spezifischen Emissionsfaktor der Treibhausgase beträgt 769 g CO₂-Äquivalente/kWh für das Jahr 1990. Berücksichtigt man darüber hinaus die Emissionen der Vorketten, ergibt sich ein spezifischen Emissionsfaktor der Treibhausgase mit Vorketten von ca. 860 g CO₂-Äquivalente/ kWh für das gleiche Basisjahr 1990.

Bis zum Jahr 2020 ist ein stetiger Rückgang des spezifischen Emissionsfaktors der Treibhausgase ohne Vorketten auf 382 g CO₂-Äquivalente /kWh und mit Vorketten auf 438 g CO₂-Äquivalente /kWh zu verzeichnen. Für das Jahr 2021 betragen die Schätzungen zu den spezifischen Emissionsfaktoren der Treibhausgase ohne Vorkette 428 g CO₂-Äquivalente /kWh und mit Vorkette 485 g CO₂-Äquivalente /kWh.

Ursache für den Rückgang der spezifischen Emissionen in 2020 sind der gestiegene Anteil der Erneuerbaren Energien im Strommix, der gesunkene Anteil der Stromerzeugung aus Kohlen sowie der gestiegene Anteil der Stromerzeugung aus Erdgas, welches im Vergleich zu den Kohlen einen niedrigeren Emissionsfaktor aufweist. Der Trend wird zudem durch die Corona Pandemie und die damit eingehende Reduktion der Stromnachfrage verstärkt.

Die wirtschaftliche Erholung trotz anhaltender Pandemie in 2021 und die geringere Erzeugung der Erneuerbaren Energien im Vergleich zum Vorjahr führt im Jahr 2021 wieder zu höheren Emissionen. Verstärkt wurde diese Entwicklung durch den vermehrten Einsatz von Kohle zur Stromerzeugung aufgrund der gestiegenen Erdgaspreise.

Gemäß internationalen Bilanzierungsvorgaben (1) sind alle Emissionen der Stromerzeugung – also auch Stromhandelsüberschüsse – dem Land zuzurechnen, in dem sie entstehen. Der diese Bilanzierungsvorgaben berücksichtigende CO₂-Faktor erhöht sich damit entsprechend dem Stromhandelsaldo.

In die aktuelle Veröffentlichung wurde erstmalig auch eine Berechnung und Ausweisung der spezifischen Treibhausgasemissionen mit und ohne Vorketten aufgenommen. Für die Emissionen wurden die Treibhausgase Methan und Lachgas neben den bereits bisher betrachteten CO₂-Emissionen berücksichtigt.

Deutschland weist seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss auf, der im Jahr 2017 mit einem Stromhandelsaldo von 52,5 TWh einen Höchststand erreicht hat und seither bis zum Jahr 2021 auf fast 18 TWh zurück gegangen ist.

Zur Berücksichtigung dieser Effekte wird ein CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos – im Folgenden genannt **„Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix“**. Die Entwicklung dieses Faktors ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in Tabelle 1 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmethoden liegt im Jahr 2021 bei 15 g CO₂/kWh bzw. 7 Mio. t CO₂. Um diese Menge würden sich die deutschen CO₂-Emissionen aus dem Stromsektor reduzieren, wenn das Stromhandelssaldo ausgeglichen wäre.

Seit dem Jahr 2020 wird neben den direkten Verbrennungsemissionen die Systemgrenze noch um eine Lebenszyklusbetrachtung erweitert, sodass auch die indirekten Emissionen angegeben werden. Hierzu zählen Emissionen, die außerhalb der Umwandlungsprozesse in den sog. Vorketten entstehen, wie z. B. bei der Herstellung von Anlagen zur Energieumwandlung oder der Gewinnung und Bereitstellung von Primär- und Sekundärenergieträgern. Dieser CO₂-Emissionsfaktor inkl. Vorketten-Emissionen wird im Rahmen der Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (14) verwendet. In diesem Kontext werden auch die THG-Emissionen (in CO₂-Äquivalenten) der deutschen Stromerzeugung ermittelt. (vgl. hierzu Tabelle 2).

Methodenverbesserungen und Datenaktualisierungen entsprechend dem Stand der Energiestatistik und der internationalen Emissionsberichterstattung wurden übernommen (siehe auch Kapitel ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen).

Die Details sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Emissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und Emissionsfaktor des Stroms

Jahr	Kohlendi-oxidemis-sionen der Strom-erzeugung ¹ [Mio. t]	Strom-ver-brauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissions-faktor Strommix ³ [g/kWh]	Strom-verbrauch unter Berücksichtigung des Strom-handels-saldos ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strom-inlands-ver-brauch ⁵ [g/kWh]	Kohlendi-oxidemis-sionen der Strom-erzeugung unter Berücksichtigung Handels-saldo ⁶ [Mio. t]	CO ₂ -Äqui-valente Emissions-faktor ohne Vorketten [g/kWh]	CO ₂ -Äqui-valente Emissions-faktor mit Vorketten [g/kWh]	Emis-sionen Kohlendi-oxid-äqui-valente der Strom-erzeugung [Mio. t] ⁷
1990	366	479	764	480	763	367	769	860	369
1991	361	473	764	473	765	361	769	864	364
1992	345	472	730	467	739	341	735	827	347
1993	335	462	726	462	725	335	731	825	337
1994	335	464	722	467	718	337	727	821	338
1995	335	470	713	475	706	338	718	812	337
1996	336	490	684	485	692	332	689	782	338
1997	325	486	668	483	673	323	673	764	327
1998	329	491	670	490	671	328	675	767	331
1999	318	492	647	493	645	319	652	739	321
2000	327	507	644	510	640	329	649	736	329
2001	335	509	659	512	655	337	664	748	338
2002	338	517	653	524	645	342	658	740	340
2003	340	535	635	532	639	338	640	722	343
2004	333	541	615	539	618	331	620	698	336
2005	333	545	611	540	616	330	616	678	336
2006	339	562	604	545	623	329	609	672	342
2007	351	563	622	547	641	340	628	693	354
2008	328	564	581	544	603	316	587	650	332
2009	299	528	567	515	580	292	573	636	302
2010	313	563	556	548	571	305	562	636	317
2011	310	546	569	542	572	308	575	647	314
2012	321	559	574	539	596	309	581	653	325
2013	326	568	573	536	607	307	580	654	330
2014	312	558	559	525	595	293	566	639	316
2015	304	576	528	528	576	279	536	600	309

Jahr	Kohlendi-oxidemissionen der Stromerzeugung ¹ [Mio. t]	Stromverbrauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix ³ [g/kWh]	Stromverbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch ⁵ [g/kWh]	Kohlendi-oxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelsaldos ⁶ [Mio. t]	CO ₂ -Äquivalente Emissionsfaktor ohne Vorketten [g/kWh]	CO ₂ -Äquivalente Emissionsfaktor mit Vorketten [g/kWh]	Emissionen Kohlendioxid-äquivalente der Stromerzeugung [Mio. t] ⁷
1990	366	479	764	480	763	367	769	860	369
2016	304	579	524	529	574	277	531	595	308
2017	283	582	487	530	535	258	494	553	288
2018	271	572	473	523	518	248	481	538	275
2019	223	542	411	509	438	209	419	474	227
2020*	191	510	375	492	389	184	382	438	195
2021* *	219	522	420	504	435	212	428	485	223

2020 *vorläufig 2021 ** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen Februar 2022

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventares 1990-2021

2 Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung (eigene Berechnung AGEB und AGEE-Stat) - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom-Leitungsverluste

3 UBA-Berechnungen auf der Grundlage der Daten der Emissionsinventare auf Datenbasis der AGEB (Veröffentlichung AGEB 2021 Energiebilanz 2020 unveröff. und des Statistischen Bundesamtes)

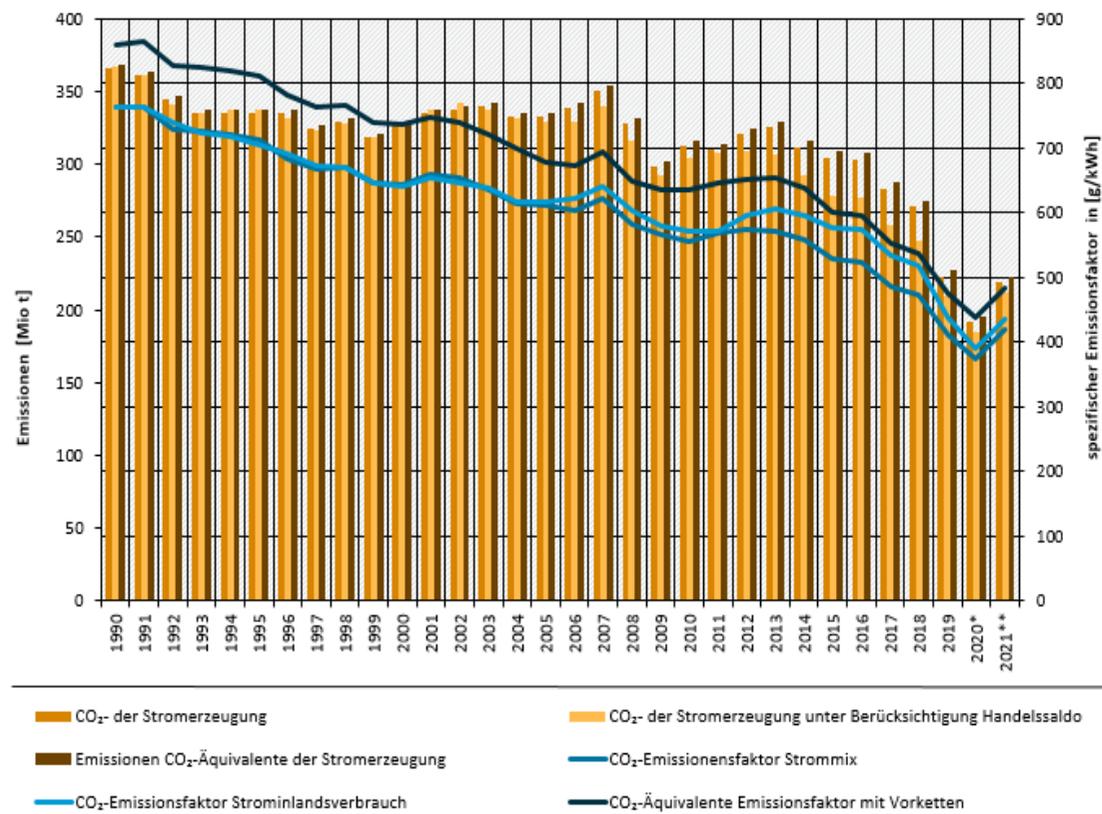
4 Stromverbrauch incl. Stromhandelsaldo = Bruttostromerzeugung (eigene, AGEB + AGEE-Stat) - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom-Leitungsverluste + (Stromhandelsaldo destatis)

5 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos (destatis)

6 Emissionen der Stromerzeugung abzüglich der Emissionen die dem Stromhandelsaldo zugerechnet wurden

7 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung CH₄ und N₂O

Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommix 1990-2020 und erste Schätzungen 2021 im Vergleich zu Emissionen der Stromerzeugung



2020* vorläufig 2021** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2022

Jahr	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung [Mio. t]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo [Mio. t]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch [g/kWh]	Emissionen Kohlendioxid-äquivalente der Stromerzeugung [Mio. t]	CO ₂ -Äquivalente Emissionsfaktor mit Vorketten [g/kWh]
1990	366	764	367	763	369	860
1991	361	764	361	765	364	864
1992	345	730	341	739	347	827
1993	335	726	335	725	337	825
1994	335	722	337	718	338	821
1995	335	713	338	706	337	812
1996	336	684	332	692	338	782
1997	325	668	323	673	327	764
1998	329	670	328	671	331	767
1999	318	647	319	645	321	739
2000	327	644	329	640	329	736
2001	335	659	337	655	338	748
2002	338	653	342	645	340	740
2003	340	635	338	639	343	722
2004	333	615	331	618	336	698
2005	333	611	330	616	336	678
2006	339	604	329	623	342	672
2007	351	622	340	641	354	693
2008	328	581	316	603	332	650
2009	299	567	292	580	302	636
2010	313	556	305	571	317	636
2011	310	569	308	572	314	647
2012	321	574	309	596	325	653
2013	326	573	307	607	330	654
2014	312	559	293	595	316	639
2015	304	528	279	576	309	600
2016	304	524	277	574	308	595
2017	283	487	258	535	288	553
2018	271	473	248	518	275	538
2019	223	411	209	438	227	474
2020*	191	375	184	389	195	438
2021**	219	420	212	435	223	485

2020* vorläufig 2021** geschätzt

2 Methode zur Berechnung

Eine Aktualisierung der Emissionsfaktoren in den Treibhausgasinventaren für „sonstige Gase“ führte zu einer Neubewertung der Emissionen aus der Stromerzeugung und die Aktualisierung der Anteile erneuerbaren Energien sowie des Stromhandelssaldos in der Bruttostromerzeugung hat Veränderungen im Stromverbrauch für den deutschen Strommix zur Folge.

2.1 CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

Der **Emissionsfaktor** für den deutschen Strommix wird berechnet aus den direkten CO₂-Emissionen, die bei der gesamten Stromerzeugung entstehen, und dem für den Endverbrauch netto zur Verfügung stehenden Strom aus der Stromerzeugung in Deutschland.

$$\text{Emissionsfaktor} = \frac{\text{direkte CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Stromverbrauch}}$$

Die für die Berechnung zugrunde gelegten CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung für die einzelnen Brennstoffe sind in Anhang 1 aufgeführt, der aus der Bruttostromerzeugung berechnete Stromverbrauch in Anhang 2. Die zur Berechnung herangezogene Bruttostromerzeugung wird im UBA auf der Grundlage der Daten der AGEB für die konventionellen Brennstoffe und der Erneuerbaren Energien auf der Grundlage von der AGEE-Stat ermittelt.

2.2 CO₂-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix

Der **Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch** für den deutschen Strommix wird berechnet aus den direkten CO₂-Emissionen, die bei der gesamten Stromerzeugung entstehen (I), und einem inländischen Stromverbrauch. Dieser entspricht dem Endverbrauch netto im Inland (IV) abzüglich des Stromhandelssaldos (III). Ab 2019 wurde für die Berechnung auf den Stromhandelssaldo aus der amtlichen Statistik „Monatsbericht der Elektrizitätsversorgung“ des Statistischen Bundesamtes abgestellt.

$$\text{Emissionsfaktor Inlandsverbrauch} = \frac{\text{direkte CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Stromverbrauch} - \text{Stromhandelssaldo}}$$

2.3 CO₂-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

Der Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos wird iterativ berechnet. Die direkten CO₂-Emissionen, die bei der Stromerzeugung entstehen (I), werden korrigiert um den Wert des mit dem Emissionsfaktor für den deutschen Strommix bewerteten Stromhandelssaldos (IV).

$$\begin{aligned} & \text{Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Handelssaldos} \\ & = \frac{\text{direkte CO}_2\text{-Emissionen} - (\text{Stromhandelssaldo} \cdot \text{Emissionsfaktor})}{\text{Stromverbrauch} - \text{Stromhandelssaldo}} \end{aligned}$$

2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung

I. Menge der direkten Kohlendioxidemissionen eines Kalenderjahres aus der Verbrennung fossiler Energieträger zur Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland.

In dieser Angabe sind Kohlendioxidemissionen aus den der Stromerzeugung vorgelagerten Erzeugungsstufen (Vorketten) wie z.B. Brennstoffgewinnung und -transport, die so genannten „indirekten Emissionen“ (Vorketten), nicht enthalten. Die Kohlendioxidemissionen für die

Stromerzeugung werden aus der Datenbank des Umweltbundesamtes (Zentrales System der Emissionen – ZSE) (3) für die Stromerzeugung in Deutschland gefiltert. Anhang 1 weist die für die Berechnung zugrunde gelegten CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung für die einzelnen Brennstoffe aus.

Die Kohlendioxidemissionen werden durch Multiplikation der Brennstoffeinsätze mit den brennstoffbezogenen Kohlendioxidemissionsfaktoren berechnet. Als Brennstoffeinsätze werden die Energiebilanzzeilen „Öffentliche Wärmekraftwerke“ und „Industriewärmekraftwerke“ aus der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland herangezogen. Diese Datenbanksätze weisen ausschließlich den Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung aus, auch wenn es sich dabei um gekoppelte Stromerzeugung in einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage handelt. Die Verteilung von Strom und Wärme aus der Kraft-Wärmekopplung erfolgt mittels der „finnischen Methode“ auf der Ebene der Erstellung der Energiebilanz für Deutschland (2).

Die dem Inventar zugrunde gelegten Emissionsfaktoren wurden aus der Liste der „CO₂-Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen CO₂-Inventare“ abgeleitet. Eine nähere Beschreibung der Methodik zur Ableitung der Emissionsfaktoren findet sich im nationalen Inventarbericht (9). Anhang 3 weist die für die Berechnung zugrunde gelegten Emissionsfaktoren aus (9 sowie 10). In die Berechnung der Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung ist der Einsatz von Abfällen als Brennstoff (Hausmüll/Siedlungsabfall sowie Industriemüll) einbezogen. Berücksichtigt wird nur der fossile Anteil der Abfallmengen. Dieser wird mit 50 % des Energiegehaltes angenommen. Dabei werden die Abfallmengen aus der Fachserie 19 Reihe 1 des Statistischen Bundesamtes (Destatis) (5) mit entsprechenden Heizwerten und Emissionsfaktoren multipliziert und berichtet.

Um die Konsistenz zu den weiteren Treibhausgasemissionen herzustellen wurde im Zuge der Aktualisierung die Kohlendioxid - Emissionen der Rauchgasentschwefelung (REA-) in die Berechnung der CO₂-Emissionen mit aufgenommen.

CO₂-Emissionen aus erneuerbaren Energien werden gemäß Bilanzierungsregeln des UNFCCC zur Treibhausgasberichterstattung unter dem Kyoto-Protokoll als CO₂-neutral bilanziert und gehen in die Berechnung der Emissionen mit dem Wert „0“ ein.

Die Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung aus der Kernkraft werden in die Berechnung mit dem Wert „0“ einbezogen.

Die Berechnungen der Kohlendioxidemissionen sind für Jahr x-2 vorläufig und für das Jahr x-1 geschätzt. Das Jahr X ist definiert als das Vorjahr des Veröffentlichungsjahres.

Anhang 1 weist die Emissionen der Stromerzeugung nach Brennstoffen entsprechend der Emissionsdatenbank „Zentrales System der Emissionen“ (ZSE) aus.

2.5 Kohlendioxidemissionen der inländischen Stromerzeugung

II. Menge der direkten Emissionen (unter 2.1 berechnet) iterativ verringert um die Emissionen, die dem Stromhandelssaldo zugerechnet werden können.

$$\begin{aligned} & \text{Emissionen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos} \\ & = \text{Emissionen laut ZSE} - (\text{Stromhandelssaldo} * \text{Emissionsfaktor}) \end{aligned}$$

Im Ergebnis werden die Emissionen ausgewiesen, welche dem tatsächlich in der Bundesrepublik verbrauchten Strom zugeordnet werden können.

2.6 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung

III. Die gesamte, im jeweiligen Kalenderjahr für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge, welche in der Bundesrepublik Deutschland erzeugt wurde (umfasst fossil, nuklear und regenerativ erzeugten Strom).

Diese berechnet sich durch den Abzug des Kraftwerkseigenverbrauchs, der Leitungsverluste und der Pumpstromarbeit von der gesamten Bruttostromerzeugung. Die Angaben zu Pumpströmen wurden auf die Pumparbeit aktualisiert, welche in der amtlichen Statistik „Monatsbericht der Energieerzeugung“ des Statistischen Bundesamtes ausgewiesen wird. Die Größe gibt in Quantität und Qualität sehr gut den in Haushalt, Gewerbe und Industrie zum Endverbrauch zur Verfügung stehenden Strom wieder, berücksichtigt jedoch nicht Stromimporte und Exporte. Daher ist sie nicht mit dem inländischen Stromverbrauch gleichzusetzen. Die Datenbasis für die konventionellen Brennstoffe für die Bruttostromerzeugung ist die Tabelle „Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2018 nach Energieträgern“ welche im Auftrag des BMWi erarbeitet und auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. veröffentlicht wird (6). Für die Erneuerbaren Energien wurde ab 2018 auf die von der AGEE-Stat berechneten und beim BMWi veröffentlichten Daten zur Stromerzeugung Bezug genommen. Gleiches gilt für den Außenhandelssaldo (12 und 13).

Zur Ermittlung der Leitungsverluste wird die in der Energiebilanzzeile 41 „Fackel- und Leitungsverluste“ unter Strom verbuchte Gesamtmenge den einzelnen Energieträgern ihrem Anteil an der Stromerzeugung entsprechend zugeordnet. Die gleiche Vorgehensweise wird für die Gesamtsumme Strom der Kraftwerkseigenverbräuche aus der Datenquelle Energiebilanzzeile 36 „Kraftwerke“ angewandt (8 und 11).

Die Pumparbeit (Pumpstromverbrauch) der Wasserspeicherkraftwerke ist ab 2018 aus den Monatsberichten des Statistischen Bundesamtes zugrunde gelegt worden (12).

Strommenge Endverbrauch

$$= \text{Bruttostromerzeugung} - \text{Kraftwerkseigenverbrauch} - \text{Leitungsverluste} - \text{Pumparbeit}$$

2.7 Inländischer Stromverbrauch

IV. Der gesamte **inländische Stromverbrauch** berücksichtigt den Stromhandelssaldo im Endenergieverbrauch. (inländischer Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung abzüglich Kraftwerkseigenverbrauch, Pumparbeit, Leitungsverluste und Stromhandelssaldo absolut). Hier liegt die Annahme zugrunde, dass Stromexport und -import im Netz dem gleichen Strommix unterliegen und somit der gleiche Spezifische CO₂-Faktor angewendet werden kann.

inländischer Stromverbrauch

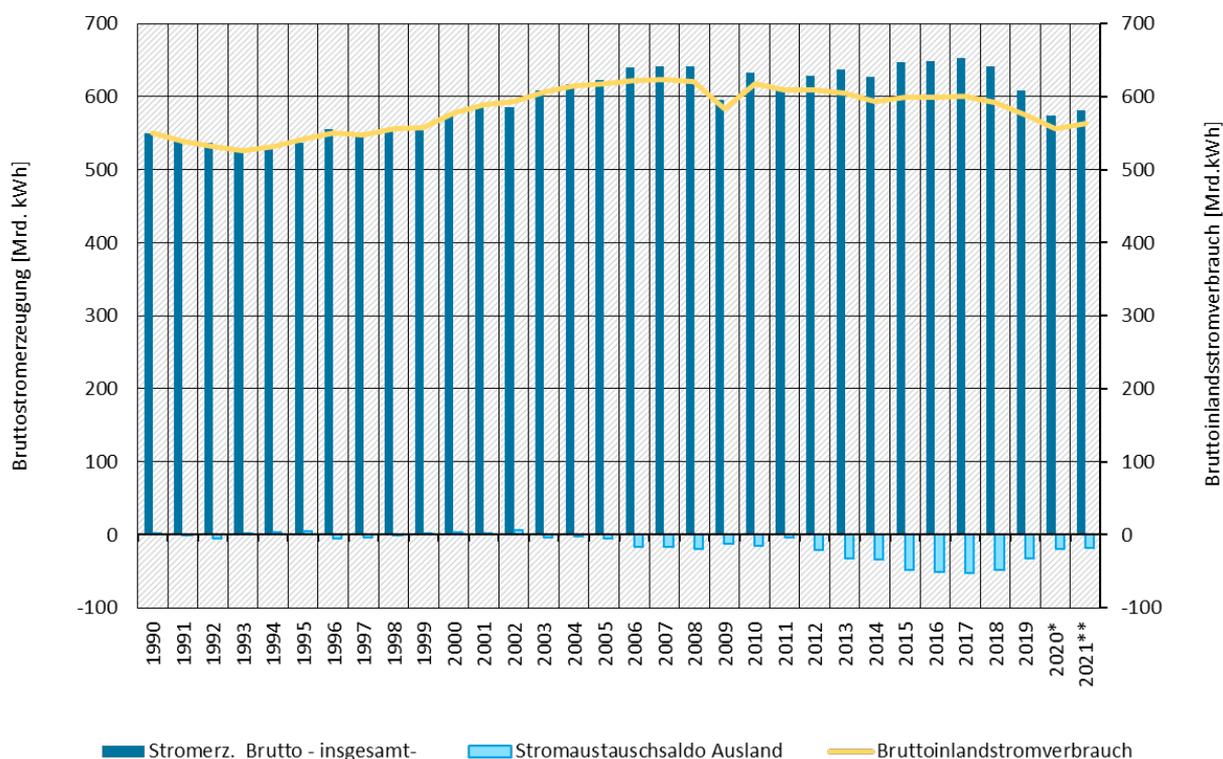
$$= \text{Bruttostromerzeugung} - \text{Kraftwerkseigenverbrauch} - \text{Leitungsverluste} - \text{Pumparbeit} - \text{Stromhandelssaldo (absolut)}$$

Deutschland weist seit dem Jahr 2003 beim Stromhandelssaldo einen Überschuss auf, der im Jahr 2017 mit 53 TWh einen Höchststand erreicht hat und seither zurück gegangen ist. In 2020 beträgt der Stromhandelssaldo 18,9 TWh und in 2021 ca. 18 TWh.

Zur Berücksichtigung dieser Effekte wird ein CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos – im Folgenden genannt **„Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix“**. Die Entwicklung dieses Faktors ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in Tabelle 1 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmethoden liegt im Jahr 2021 bei 15 g CO₂/kWh bzw. 7 Mio. t CO₂. Um diese Menge würden sich die deutschen CO₂-Emissionen aus dem Stromsektor reduzieren, wenn das Stromhandelssaldo ausgeglichen wäre.

Der Anteil der Auswirkungen der Corona Pandemie am Sinken der Stromerzeugung in 2020 und 2021 kann nicht quantifiziert werden. Nach Überwindung der Pandemie ist mit einem Wiederanstieg aufgrund steigender Strommengen zu rechnen (6). Durch den Ukraine-Krieg sind darüber hinaus gleichgerichtete Effekte durch Verschiebungen im Energieträgermix für die Stromerzeugung hin zu CO₂-intensiveren Brennstoffen zu erwarten.

Abb 1: Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromaustauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland



* vorläufige Zahlen z.T. geschätzt ** einschließlich Netzverluste und Eigenverbrauch

Quelle: AGEB Stand Februar 2022; AGEE – Stat 02/2022 UBA eigene Berechnungen

2.8 THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix

Bei der Ermittlung des Treibhausgas (THG)-Emissionsfaktors des deutschen Strommix wird die Berechnung um die Treibhausgase Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (Lachgas, N₂O) erweitert. Die entsprechenden Emissionen für die Stromerzeugung werden aus der Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes abgeleitet.

$$\text{direkter THG – Emissionsfaktor} = \frac{\text{direkte CO}_2 \text{ Äq.-Emissionen}}{\text{Stromverbrauch}}$$

Die betrachteten Treibhausgase tragen in unterschiedlicher Weise zur Erderwärmung bei. Um die Wirkung der einzelnen Gase vergleichen zu können, wird ihnen ein Faktor - das relative Treibhausgaspotenzial (THP) auf Basis des fünften Sachstandsberichts des IPCC zugeordnet, das sich auf die Referenzsubstanzen Kohlenstoffdioxid (CO₂) bezieht. Das Treibhausgaspotential gibt an, welche Menge an CO₂ in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren die gleiche Treibhauswirkung entfalten würde wie das betrachtete Referenzgas. Die Emissionsangaben für die einzelnen Gase können nach Multiplizieren mit dem jeweiligen Äquivalenz-Faktor aufaddiert werden, so dass die Summe der Treibhausgase als CO₂-Äquivalent (CO₂-Äq.) ausgewiesen werden kann.

2.9 Vorketten für den THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix

Bisher wurden nur die direkten Verbrennungsemissionen des deutschen Stromverbrauchs in den Blick genommen. Die Systemgrenze lässt sich jedoch um eine Lebenszyklusbetrachtung erweitern, sodass sowohl die direkten Emissionen, als auch die indirekten Emissionen, die außerhalb der Umwandlungsprozesse in den sog. Vorketten z. B. bei der Herstellung von Anlagen zur Energieumwandlung oder der Gewinnung und Bereitstellung von Primär- und Sekundärenergieträgern entstehen, berücksichtigt werden.

$$\text{THG – Emissionsfaktor der Vorkette} = \frac{\sum \text{Emissionsfaktor der Vorkette} * \text{Stromerzeugung}}{\text{Stromverbrauch}}$$

Grundlage für die Berechnung eines THG-Emissionsfaktors des Strommix, welcher die vorgelagerten Emissionen der jeweiligen Energieträger berücksichtigt, ist die Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (UBA 2021). Um einen Strombezug der Emissionsfaktoren herzustellen werden die im Kapitel 4 aufgeführten primärenergiebezogenen Emissionsfaktoren mit den dazugehörigen Nutzungsgraden verrechnet. Im nächsten Schritt werden diese strombezogenen Emissionsfaktoren der jeweiligen Energieträger mit der energieträgerspezifischen Stromerzeugung multipliziert und aufsummiert. Durch die anschließende Division mit dem gesamten Stromverbrauch ergibt sich der THG – Emissionsfaktor der Vorkette. Danach wird der THG-Emissionsfaktor der Vorkette mit dem direkten THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs addiert, um den THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorketten Emissionen zu erhalten.

Einen Überblick zu den unterschiedlichen Emissionsfaktoren des deutschen Stromverbrauchs für das aktuelle Randjahr bietet Tabelle 2.

Tabelle 2: CO₂ und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette für das Jahr 2021

Indikator	Schadstoff	Einheit	2021
Direkter CO ₂ -Emissionsfaktor des Stromverbrauchs	CO ₂	g/kWh	420
Direkter THG - Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs	CO ₂ -Äquivalente	g/kWh	428
CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen	CO ₂	g/kWh	455
THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen	CO ₂ -Äquivalente	g/kWh	485

Quelle: UBA, Datenstand 02/2022

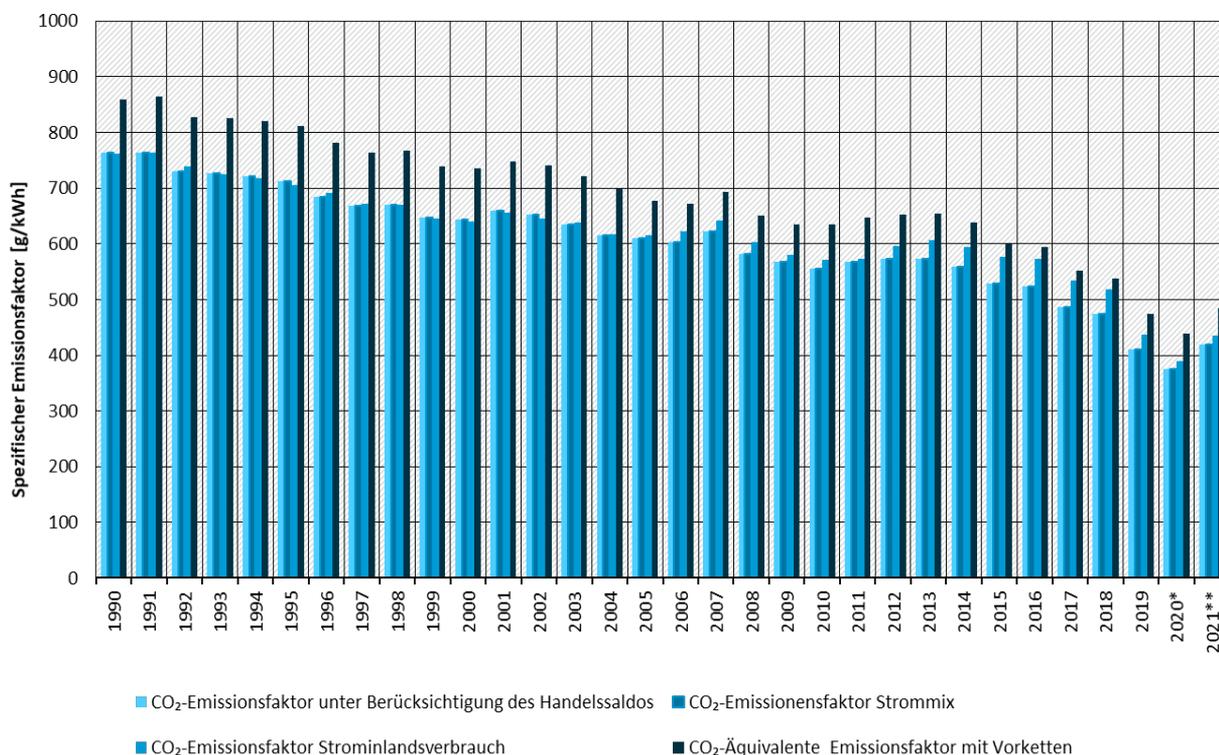
3 Zeitliche Entwicklung des Indikators

3.1 Spezifische CO₂-Emissionen des deutschen Strommixes

Die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen ohne Berücksichtigung des Stromhandelsaldos einer Kilowattstunde Strom (Spezifischer Emissionsfaktor) sinken in den Jahren 1990 bis 2019 von 764 g CO₂/kWh auf 411 g CO₂/kWh (siehe Abbildung 2). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 46 % pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2020 und 2021 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2020 weisen eine deutliche Verringerung auf 375 g CO₂/kWh aus, während für 2021 auf der Grundlage von geschätzten Daten 420 g CO₂/kWh ermittelt wurden. Hier kommt für 2020 die die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung zum Tragen, und die Verringerung des Stromverbrauch .. Für das Jahr 2021 wird in Folge der Erholung und aber auch aufgrund von Atomausstieg, geringerer Stromerzeugung durch Erneuerbare Energien und gestiegener Gaspreise vermehrt Braunkohle und Steinkohle zur Stromerzeugung eingesetzt. Dies führt auch zu einer Erhöhung der spezifischen Emissionsfaktoren.

Der Stromexportüberschuss im Jahr 2017 hatte mit 52,5 Mrd. kWh ein Rekordniveau erreicht und verringerte sich in den Folgejahren in 2019 auf 32,7 Mrd. kWh (vorläufig) um in 2020 weiter auf 18,9 Mrd. kWh zu sinken (siehe Tabelle Bruttostromerzeugung) (6). In 2021 verharrt er mit fast 18 Mrd. kWh auf ähnlichem Niveau.

Abb. 2: Spezifische Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelsaldos



2020* vorläufig 2021** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2022

Zwei wesentliche Einflussgrößen bestimmen die Höhe des Emissionsfaktors im deutschen Strommix:

Die Anteile einzelner Brennstoffe an der Stromerzeugung, dem sogenannten Strommix (Abbildung 3):

Sinkt der Anteil eines Energieträgers mit hohem CO₂-Emissionsfaktor, wie Braun- oder Steinkohle, zu Gunsten eines Energieträgers mit niedrigerem CO₂-Emissionsfaktor, wie eines erneuerbaren Energieträgers (Null angerechnete CO₂-Mengen) oder Erdgas, so sinkt auch der Emissionsfaktor des Strommix. Tabelle 2 zeigt die direkten Emissionsfaktoren der drei wichtigsten fossilen Brennstoffe im Vergleich zum Emissionsfaktor des deutschen Strommix gesamt.

Tabelle 3: CO₂-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2020*

	CO ₂ -Emissionsfaktor bezogen auf den Brennstoffeinsatz [g/kWh]	Brennstoffaus-nutzungsgrad netto bezogen auf den Stromverbrauch [%]	CO ₂ -Emissionsfaktor bezogen auf den Stromverbrauch [g/kWh]	Vergleich CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh]
Erdgas	201	51	397	375
Steinkohle	337	40	852	
Braunkohle	408	36	1.146	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2022

*vorläufig

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor ist der durchschnittliche Wirkungsgrad konventioneller Kraftwerke – also der Kraftwerke, die Strom durch die Verbrennung fossiler Energieträger erzeugen:

Erhöht sich der durchschnittlich realisierte Wirkungsgrad im konventionellen Kraftwerkspark, so wird zur Erzeugung einer Kilowattstunde Strom eine geringere Menge kohlenstoffhaltigen Brennstoffs eingesetzt – der Emissionsfaktor des Strommix sinkt. Da ein durchschnittlicher Wirkungsgrad aller Kraftwerke nur mit hohen Unsicherheiten berechnet werden könnte, nutzt das UBA ersatzweise den Brennstoffnutzungsgrad aus dem Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung und der Bruttostromerzeugung nach Energieträgern (Input/Output-Relation) (Tabelle 4).

In dieser Berechnung wird der Brennstoffeinsatz in KWK-Anlagen durch die „Finnische Methode“ der Strom- und Wärmerzeugung zugeordnet. Diese wird im Vorwort der Energiebilanzen näher erläutert. Diese rechnerische Methode führt zu Verschiebungen, besonders im Bereich der Stromerzeugung durch Erdgas.

Dem gegenüber steht ein durchschnittlicher Nettowirkungsgrad (elektrisch) der sich heute in Betrieb befindlichen Großkraftwerke (Kraftwerke ab 100 MW_{el}) aus UBA-internen Angaben aus der Kraftwerksdatenbank von durchschnittlich 39 % für Steinkohlenkraftwerke, 38 % für Braunkohlenkraftwerke und für Erdgas für Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD) von 52 %, sowie Gasturbinenkraftwerke von 40 % (7).

Die Daten für die Kraftwerksdatenbank sind Betreiberangaben und fußen auf UBA-Recherchen aus Veröffentlichungen.

Tabelle 4: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung¹

Jahr	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas ²	Summe Energieträger
1990	40%	34%	39%	37%
1991	40%	34%	41%	37%
1992	40%	34%	43%	37%
1993	40%	35%	43%	37%
1994	40%	35%	40%	37%
1995	40%	35%	43%	38%
1996	40%	36%	45%	38%
1997	40%	37%	46%	38%
1998	40%	37%	47%	38%
1999	40%	37%	48%	38%
2000	41%	38%	45%	39%
2001	40%	37%	50%	39%
2002	40%	37%	50%	39%
2003	43%	38%	52%	40%
2004	43%	38%	51%	41%
2005	42%	38%	52%	40%
2006	40%	38%	51%	40%
2007	41%	38%	54%	41%
2008	41%	38%	54%	41%
2009	41%	38%	53%	41%
2010	42%	38%	56%	41%
2011	42%	38%	57%	43%
2012	42%	39%	56%	45%
2013	41%	39%	56%	45%
2014	41%	39%	56%	45%
2015	43%	39%	57%	47%
2016	43%	39%	57%	47%
2017	44%	39%	57%	49%
2018	44%	39%	54%	50%
2019*	44%	40%	55%	51%
2020*	44%	39%	56%	54%

* vorläufig

Quellen: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2021

¹ Die Trennung zwischen Strom- und Wärmeerzeugung in KWK -Anlagen erfolgt über die finnische Methode

² Bei der Finnischen Methode wird die Stromerzeugung in gasbetriebenen KWK-Anlagen durch die Referenzwirkungsgrade höher bewertet

Von 1990 bis 2005 sinkt der Emissionsfaktor mit deutlichen Schwankungen in einzelnen Jahren, die auf signifikante Veränderungen im Kraftwerkspark zurückzuführen sind. Es lassen sich verschiedene Phasen in der Entwicklung des Indikators unterscheiden (siehe Abbildung 2). In der ersten Phase von 1990 bis 2000 sinkt der Emissionsfaktor wegen Wirkungsgradverbesserungen im konventionellen Kraftwerkspark, bedingt durch die Abschaltung ineffizienter Altanlagen in den neuen Bundesländern. Der Anstieg zwischen 2000 bis 2001 ist auf die Inbetriebnahme neuer Braunkohlenkraftwerke zurückzuführen. Ab 2003 führt der steigende Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung wieder zu einer Senkung des Emissionsfaktors. Im Jahr 2007 führte der prozentual gestiegene Anteil der konventionellen Brennstoffe zur Stromerzeugung kurzfristig zu einem Anstieg des CO₂-Emissionsfaktors. Ab dem Jahr 2008 setzte sich die Verminderung des CO₂-Emissionsfaktors im deutschen Strommix aufgrund des weiter steigenden Anteils erneuerbarer Energien fort. Diese Wirkung wird im Jahr der Wirtschaftskrise durch geringere Stromverbräuche verstärkt. Mit der Folge, dass der CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix nach der wirtschaftlichen Erholung durch den sich erhöhenden Stromverbrauch und der Änderungen im Strommix durch die Energiewende wieder leicht ansteigt.

Ab 2014 ergibt sich trotz Anstieg des Stromverbrauchs auf Grund der gleichzeitig erhöhten Anteile von CO₂-freier bzw. CO₂-armer Stromerzeugung und einer Verbesserung des Brennstoffausnutzungsgrades bei neu in Betrieb gegangenen fossilen Kraftwerken eine Senkung des spezifischen CO₂-Emissionsfaktors. Ebenfalls positiv auf den spezifischen Kohlendioxidemissionsfaktor des Strommix wirken sich der verminderte Einsatz der Steinkohlen ab 2014 und Braunkohlen ab 2019, sowie die Erhöhung des Gaseinsatzes ab 2016 zur Stromerzeugung aus. Der steigende Anteil der erneuerbaren Energien, der Umbau des Einsatzes der fossilen Brennstoffe und die Verringerung des Einsatzes von Kohle hin zu Gas führt in den weiteren Jahren zu sinkenden Spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Für den „CO₂-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ ist eine gleichverlaufende Entwicklung zu verzeichnen, deren absoluter Verlauf von der Größe des Stromhandelssaldos abhängig ist.

Im Jahr 2021 steigt der spezifische Emissionsfaktor wieder. In Folge der wirtschaftlichen Erholung nach dem ersten Pandemiejahr 2021 und der gleichzeitigen Verteuerung des Gaspreises wurde verstärkt Kohle zur Stromerzeugung verwendet.

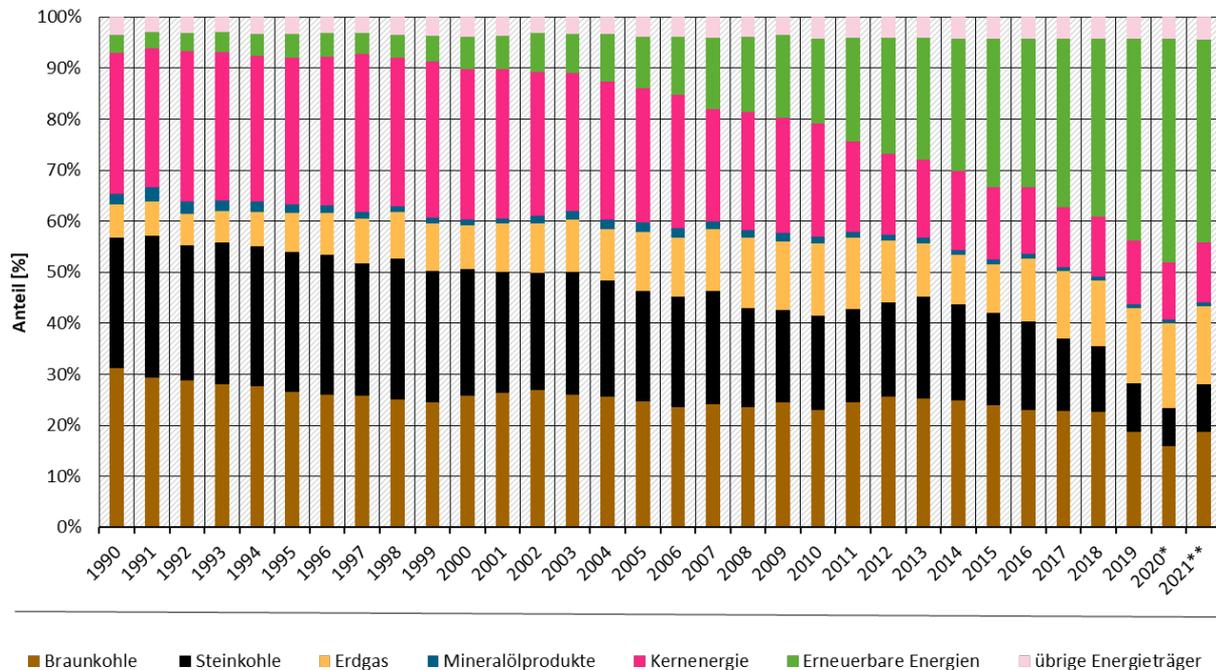
Das Jahr 2020 und auch das Jahr 2021 ist durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie geprägt. Diese Effekte sind nicht eindeutig quantifizierbar, wurden aber bei den Schätzungen berücksichtigt (6).

Entsprechend der Annahme, dass die in Deutschland durch die Stromerzeugung verursachten Emissionen dem deutschen Strommix zuzurechnen sind, werden beim Ansatz des „CO₂-Emissionsfaktors für den Strominlandsverbrauch“ die Emissionen nicht korrigiert. Dies führt zu einer Bewertung des Stromhandelsimports mit den CO₂-Emissionsfaktoren, die für das Inland berechnet wurden. Diese Methode ist im Sinne einer konservativen Berechnung des „Spezifischen Kohlendioxidemissionsfaktors im Inland“ angemessen. Dieses Vorgehen führt im Jahr 1995 mit dem bis dahin größten Stromimportsaldo von 4,8 Mrd. kWh zu einer Überschätzung des „Emissionsfaktors Strominlandsverbrauch“ von 1,1 % zum „Emissionsfaktor“ und ist in der Zeitreihenbetrachtung ab dem Jahr 2003 nicht mehr relevant, da seither ein permanenter Stromhandelsexportüberschuss zu verzeichnen ist.

So kann für die Jahre 1990 bis 2005 von sehr geringen Abweichungen zum CO₂-Emissionsfaktor (ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos) gesprochen werden, da dieser

Stromhandelssaldo sowohl export- als auch importseitig bis zu einem Maximalwert von 5 TWh schwankte und somit ca. 1 % der Bruttostromerzeugung betrug. Ab 2006 überwogen die Stromflüsse ins Ausland gegenüber den Importen und somit stieg der Einfluss des Stromhandelssaldos auf den CO₂-Emissionsfaktor (vgl. 2.7).

Abb. 3: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“



* vorläufig z.T. geschätzt

Quelle: AGEB Stand Februar 2022, eigene Berechnungen UBA, AGEE - Stat 02/2022

Ab dem Jahr 1999 nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung im deutschen Strommix deutlich zu. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms an der Bruttostromerzeugung inklusive der Pumpstromerzeugung zwischen 1998 und 2019 von ca. 4,7 % auf ca. 40 %, um 2020 mit ca. 45 % einen neuen Höchststand zu erreichen. Für das Jahr 2021 ist aufgrund eines schwachen Windjahres demgegenüber ein Rückgang auf ca. 41 % zu verzeichnen.

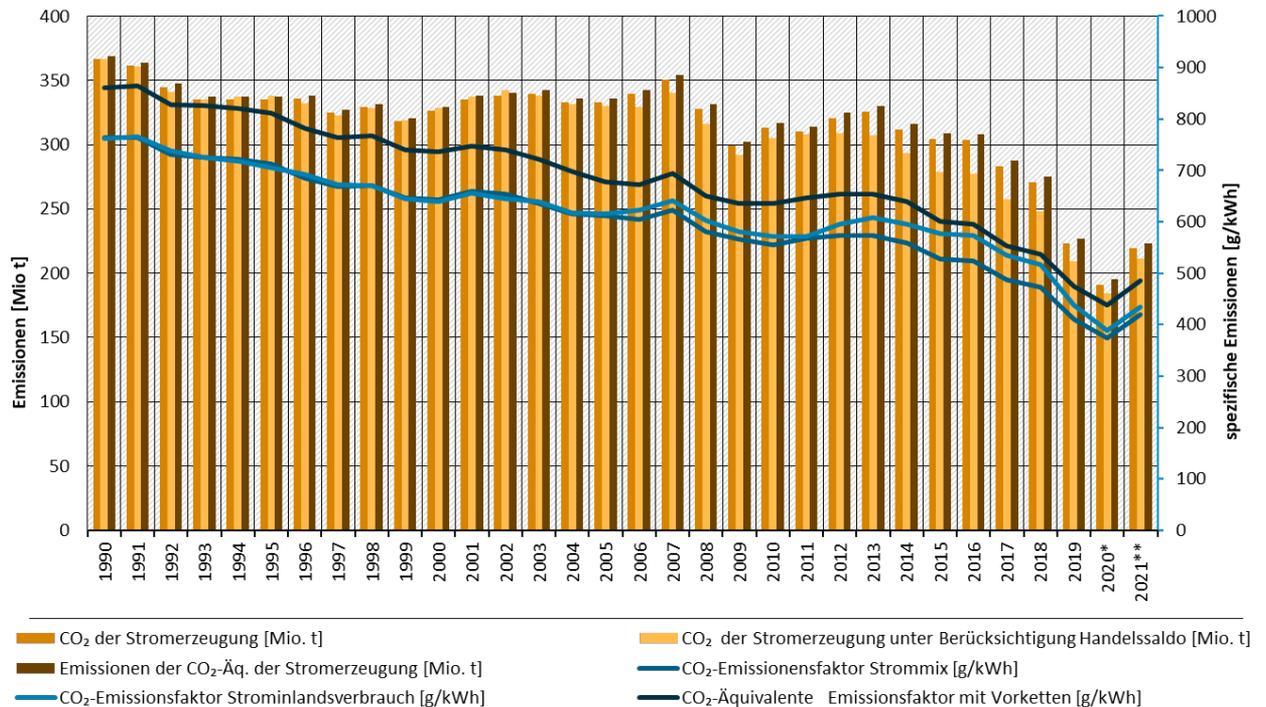
Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen per Definition keine direkten CO₂-Emissionen verursacht, sinkt mit ihrer Zunahme der Emissionsfaktor für den Strommix. Überlagert wird dieser methodenbedingte Effekt anfänglich durch die schon erwähnte Inbetriebnahme neuer fossiler Kraftwerkskapazitäten in den Jahren 1999 bis 2001. Erst ab dem Jahr 2002 wird der steigende Anteil erneuerbarer Energien und der Wechsel zwischen dem Brennstoffeinsatz Kohle und Erdgas zur Stromerzeugung in der Entwicklung des Indikators sichtbar. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung beschleunigt diesen Trend.

In den Jahren 2013 und 2014 haben auch die Änderungen bei den Brennstoffpreisen (höhere Preise für Erdgas) und der damit einhergehende höhere Einsatz von Brennstoffen mit höherem Kohlenstoffgehalt den Strommix beeinflusst. Dieser Trend hat sich 2016 zu Gunsten des Erdgases vorläufig umgekehrt. Insbesondere seit Mitte des Jahres 2021 führten die gestiegenen Erdgaspreise dazu, dass wieder vermehrt Kohle zur Stromerzeugung eingesetzt wurde. (Abbildung 3)

3.2 Entwicklung gesamte CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung

3.2.1 Überblick zur Entwicklung

Abb. 4: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (unter Beachtung des Stromhandelssaldos)



2020* vorläufig 2021** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2022

Sinkenden spezifischen Emissionen zwischen 1990 und 2020 aus der Stromerzeugung stehen in der Summe sinkende Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung gegenüber.

Schwankungen in den absoluten Kohlendioxidemissionen sind bedingt durch:

- ▶ den Brennstoffwechsel in der Stromerzeugung (wachsender Anteil der erneuerbaren Energien und Wechsel zu emissionsärmeren Brennstoffen),
- ▶ fortgesetzter Ausstieg aus der Kohleverstromung
- ▶ den fluktuierenden Strombedarf, entsprechend der wirtschaftlichen Entwicklung,
- ▶ verbesserte elektrische Wirkungsgrade bei in den letzten Jahren neu ans Netz gegangenen Kraftwerken

Wurden im Jahr 1990 noch 366 Mio. Tonnen Kohlendioxid aus der Stromerzeugung emittiert, so waren es 191 Mio. Tonnen im Jahr 2020. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtemissionen der Stromerzeugung um ca. 48 %. Schätzungen lassen für 2021 für die Stromerzeugung 219 Mio. Tonnen Kohlendioxid und somit trotz einem Anstieg gegenüber 2020 auf eine Reduzierung gegenüber 1990 um 147 Mio. Tonnen (40 %) gegenüber 1990 erwarten. Die Jahre 2020 und 2021 sind durch die Corona-Pandemie als Ausnahme zu bewerten. Der Corona-Effekt kann nicht quantifiziert werden. Nach dem Ende der Auswirkungen der Pandemie

auf die Volkswirtschaft wird ohne zusätzliche Maßnahmen ein weiterer Anstieg der Stromerzeugung und somit der daraus resultierenden Kohlendioxidemissionen erwartet.

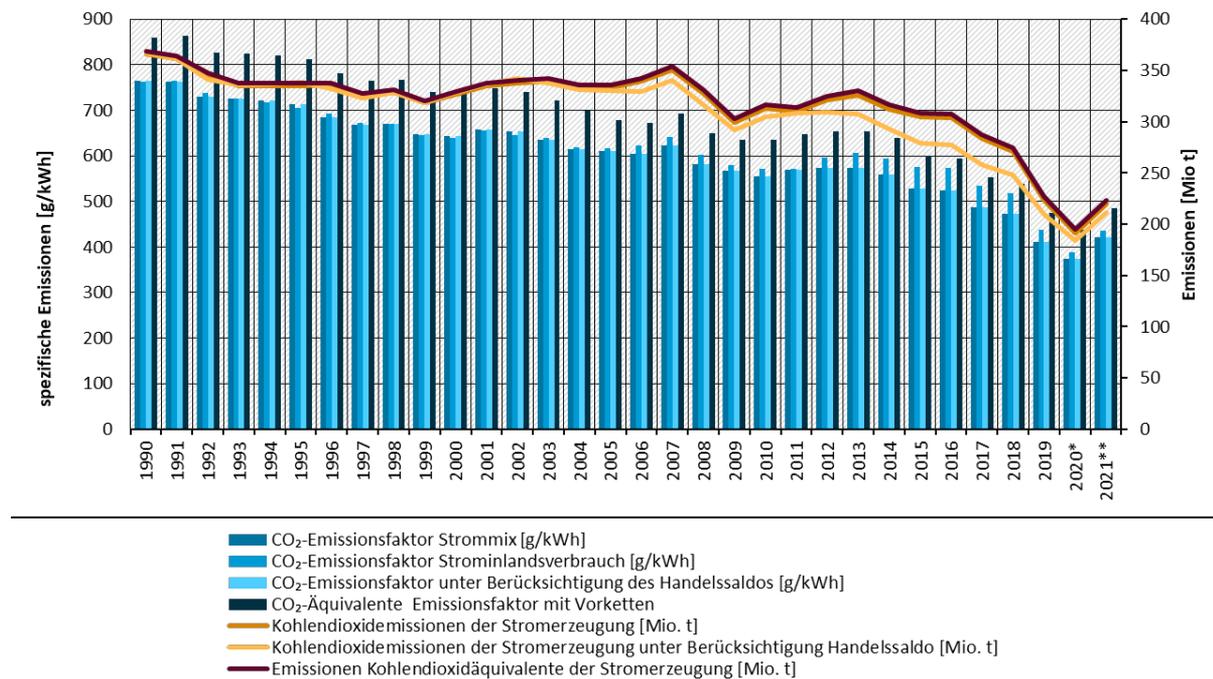
3.2.2 Die Entwicklung im Einzelnen

Im Zusammenspiel von Stromverbrauch und spezifischen Kohlendioxidemissionen ergibt sich ein erstes Minimum der absoluten Kohlendioxidemissionen im Jahr 2009 von ca. 299 Mio. Tonnen. Dies entsprach einer Reduzierung von ca. 18 % gegenüber 1990. Entsprechend dieser Entwicklung weist im Jahr 2019 der „Emissionsfaktor“ 473 g CO₂/kWh und der „Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ 438 g CO₂/kWh aus.

Da das Jahr 2009 das Jahr der Wirtschaftskrise war, ist es als Ausnahmejahr zu betrachten.

Nachdem nach 2009 wieder eine Steigerung der Emissionen aus der Stromerzeugung zu verzeichnen war, weisen die Daten ab dem Jahr 2014 bis 2020 auf sinkende CO₂-Emissionen. Dies bedingt auch sinkende Emissionsfaktoren ab 2013 von 573 g CO₂/kWh auf 375 g CO₂/kWh im Jahr 2020 (vorläufig). Für das Jahr 2021 wird ein spezifischer CO₂-Emissionsfaktor von 420 g/kWh geschätzt - wobei auch das Jahr der Corona Pandemie (2020) als Ausnahmejahr eingeschätzt wird. Unter Schwankungen ist ein deutlich sinkender Trend gegenüber 1990 feststellbar, wobei 2021 gegenüber 2020 ein Anstieg verzeichnet..

Abb. 5: Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und der Entwicklung des Stromverbrauchs im Vergleich



2020* vorläufig 2021** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2022

4 Zusammenfassung

Der Kohlendioxid-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix ist ein Indikator für die Klimaverträglichkeit der Stromerzeugung. Er darf jedoch nicht losgelöst von der Entwicklung des Stromverbrauchs im Inland insgesamt und den gesamten aus der Stromerzeugung entstehenden Kohlendioxidemissionen sowie des Stromhandelsaldos betrachtet werden.

Die bisherige Entwicklung des in Summe sinkenden Trends von 764 g CO₂/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 411 g CO₂/kWh im Jahr 2019 ist positiv zu bewerten. Für 2020 hat das UBA auf der Grundlage vorläufiger Daten „Spezifischen Kohlendioxid -Emissionsfaktor“ von 375 g/kWh errechnet und für 2021 wird ein Wiederanstieg auf 420 g/kWh geschätzt. Für die Spezifischen Emissionen der Kohlendioxidäquivalente ohne Vorketten für 2020 beträgt der Wert 382 g/kWh und 428 g/kWh für 2021. Berücksichtigt man zusätzlich die Vorketten-Emissionen der Stromerzeugung ergeben sich 438 g/kWh CO₂-Äquivalente für 2020 und für 2021 vorläufig 485 g/kWh.

Der bemerkenswerte Ausbau der erneuerbaren Energien hat eine spürbare Senkung des Kohlendioxid-Emissionsfaktors zur Folge. Dieser Effekt wird allerdings für die Jahre 2010 bis 2013 stark überlagert durch den Umbau des fossilen Kraftwerksparks. Eine verstärkte Verstromung von Kohle durch den Zubau neuer Kohlenkraftwerke führte sowohl zu steigenden absoluten, als auch spezifischen Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung. Ab dem Jahr 2014 führten der wieder gesunkene Stromverbrauch und der weitere Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu einer Verringerung der absoluten und spezifischen CO₂-Emissionen.

Für 2017 wird trotz leicht gestiegenem Stromverbrauch eine Verringerung der Emissionen der Stromerzeugung und der spezifischen CO₂-Emissionen ausgewiesen. Ab 2018 ist ein Sinken der Bruttostromerzeugung zu verzeichnen. Dies ist auf den weiter stark gestiegenen Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung, die Steigerung der elektrischen Wirkungsgrade bei neu gebauten Kraftwerken und den erhöhten Anteil von Erdgas bei der Stromerzeugung zurück zu führen.

Ursache für den Rückgang der spezifischen Emissionen in 2020 sind der weiterhin gestiegene Anteil der Erneuerbaren Energien im Strommix, der gesunkene Anteil der Stromerzeugung aus Kohlen sowie der gestiegene Anteil der Stromerzeugung aus Erdgas. Der Trend wird zudem durch die Corona Pandemie und die damit eingehende Reduktion der Stromnachfrage verstärkt. Eine präzise Quantifizierung der coronabedingten Einflüsse ist jedoch mit den verfügbaren Daten nicht möglich.

Die wirtschaftliche Erholung trotz Weiterbestehen der Pandemie in 2021 und die geringe Erzeugung der Erneuerbaren Energien im Vergleich zum Vorjahr führt im Jahr 2021 wieder zu höheren Emissionen. Verstärkt wurde diese Entwicklung durch die gestiegenen Erdgaspreise, wodurch vermehrt Kohle zur Stromerzeugung eingesetzt wurde.

Der stetig von 2004 bis 2017, mit Ausnahme des Jahres 2011, wachsende Stromhandelsexport-Überschuss führt zu einem steigenden Anteil der CO₂-Emissionen, welche nicht dem im Inland verbrauchten Strom zuzuordnen sind. Entsprechend der internationalen Berichts konventionen sind Emissionen in dem Land zu bilanzieren, wo sie entstehen (Verursacher-/Quellenprinzip). Dies führt zu einer methodenbedingten Verzerrung des spezifischen CO₂-Faktors für den in Deutschland verbrauchten Strom.

Seit 2018 ist ein Rückgang des Stromhandelsexportüberschusses zu verzeichnen. Dieser wird für 2021 mit fast 18 Mrd. kWh ausgewiesen. Dies sind 33,2 Mrd. kWh weniger als im Jahr 2017 mit dem bisher höchsten zu verzeichnenden Stromhandelsexportüberschuss von 52,5 Mrd. kWh.

Für das Erreichen der Klimaziele ist es notwendig, dass die absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung weiter stark sinken. Weitere Anstrengungen zur Reduzierung der Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung sind dringend notwendig.

Dazu gehört vor allem der weitere Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die weitere Reduzierung des Stromhandelsexportüberschusses, die Fortsetzung des Ausstiegs aus der Kohleverstromung, der Umstieg auf CO₂-arme Brennstoffe und der Ausbau der Kraft-Wärmekopplung sowie die Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung. Aber auch der sparsame Umgang mit Strom ist ein wichtiges Mittel für die Kohlendioxidreduzierung.

5 Ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen

Die Berechnungen zu den spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix unterliegen kontinuierlichen Methodenverbesserungen und Datenaktualisierungen entsprechend dem Stand der Energiestatistik und der internationalen Emissionsberichterstattung. Diese wurden vorwiegend in den Kapiteln 2 und 3 dargelegt, und sollen an dieser Stelle wie folgt ergänzt werden:

Überarbeitungen im Bereich der Abfall- und Ersatzbrennstoffe und Aktualisierungen der Datenquellen für die Emissionsberechnungen, zum Beispiel der Energiebilanzen und der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien, führten zu Korrekturen im Bereich der absoluten Kohlendioxidemissionen gegenüber der Erstveröffentlichung.

Die Aktualisierung der Energiebilanzen seitens der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) wurde im Bericht „Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009“ mit Stand vom 08.10.2012 dokumentiert und ist auf der Internetseite der AGEB abrufbar (8).

Die Aktualisierungen zu Berechnungen der Emissionen aus Abfällen und Sekundärbrennstoffen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR) dokumentiert (9).

Die Daten zur Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sind auf der Internetseite der AGEE – Stat veröffentlicht. (13)

Ab 2018 wurden für die Berechnung des Stromverbrauches die Daten für die konventionellen Brennstoffe die Veröffentlichung der Bruttostromerzeugung der AGEB und für die Brennstoffe der Erneuerbaren Energien die Daten der AGEE-Stat in der Zeitreihe ab 1990 zugrunde gelegt.

Die Daten für den Stromhandelssaldo entsprechen den Meldungen an das Statistische Bundesamt (12).

Im Jahr 2019 erfolgte die Umstellung der Datengrundlage für den Stromhandelssaldo von der Tabelle der Bruttostromerzeugung der AGEB auf die amtliche Statistik „Monatsbericht der Elektrizitätsversorgung“ des Statistischen Bundesamtes.

Im Jahr 2019 erfolgte eine Überarbeitung der Berechnungen im Bereich der Energieerzeugung aus sonstigen Brennstoffen.

Im Jahr 2021 wurden die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt. Zudem wurden die spezifischen Treibhausgas-Emissionsfaktoren sowohl ohne als auch unter Berücksichtigung der vorgelagerten Emissionen des Strommix in die Publikation mit aufgenommen.

6 Quellenverzeichnis

- (1) IPCC-Guidelines 2006
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (aufgerufen am 20.04.2015)
- (2) AGEb; Stand April 2010 "Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland" Seite 10
<http://www.ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf> (aufgerufen am 20.04.2015)
- (3) UBA; Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) Stand 02/2022(4) Umweltbundesamt: Eigene Berechnungen auf Grundlage der Tabelle „Stromerzeugung nach Energieträgern 1990-2021“ der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEb) unveröffentlicht
- (5) Destatis, 2019, Stand Februar 2022, Fachserie 19 Reihe 1
- (6) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2021 nach Energieträgern Stand Februar 2022.
https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausdruck_strenz_abgabe_feb2021_a10.pdf (zum Stand der Berechnung unveröffentlicht)
- (7) Kraftwerksdatenbank des UBAs-UBA-interne Angaben zu Wirkungsgraden
<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland> (aufgerufen im März 2022)
- (8) AGEb, Stand 08.10.2012 Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009
<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=63> (aufgerufen am 01.02.2013)
- (9) Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2019, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020, Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2020,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/eu-nir_germany_2022.pdf (aufgerufen 015.02.2022)
- (10) ÖKO-INSTITUT, 2004c CO₂ Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen Inventare. Teilbereich für den nationalen Inventarbericht 2004 Veröffentlichung in
http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/deu_2004_nir_30apr.zip, Kapitel 13.8
- (11) AGEb, Stand Februar 2022, Energiebilanzen 20119 (Stand Februar 2022),
<https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/11/bilanz19d.xlsx> (aufgerufen 15.02.2022)
- (12) Destatis; 2019; Stand Februar-2022, Monatsenerhebung der Elektrizitätsversorgung;–Code 43311-0003
<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/logon?language=de&sequenz=tabelleErgebnis&selectio nname=43311-0003> (aufgerufen am 15.02.2022)
- (13) AGE - Stat; Stand Februar 2022, Tabelle 3 „Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990-2021“
https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html (aufgerufen am 15.02.2022)
- (14) UBA; "Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger – Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020", Stand November 2021; <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2020>

A Anhang 1: CO₂-Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio. t

	Braunkohlen	Steinkohlen	Erdgas	Mineralöle	Müll (fossil)	sonstige	gesamt
1990	200	118	18	9	4	17	366
1991	187	126	18	11	4	17	361
1992	180	120	15	10	4	16	345
1993	171	123	15	8	3	14	335
1994	168	122	18	8	4	16	335
1995	162	124	19	7	6	17	335
1996	159	128	21	7	6	15	336
1997	155	120	21	6	6	17	325
1998	149	127	22	6	7	18	329
1999	148	119	22	6	6	17	318
2000	157	118	22	6	6	17	327
2001	166	115	22	7	7	18	335
2002	170	113	23	7	6	20	338
2003	167	115	24	8	8	17	340
2004	165	111	25	9	7	17	333
2005	162	109	28	9	8	17	333
2006	159	116	29	8	9	18	339
2007	164	118	29	7	10	22	351
2008	158	102	33	7	8	20	328
2009	153	89	30	7	8	12	299
2010	151	95	32	6	8	20	313
2011	156	91	30	5	9	19	310
2012	166	94	27	5	9	19	321
2013	163	104	24	5	9	21	326
2014	159	97	22	5	10	19	312
2015	157	92	22	4	9	20	304
2016	153	88	29	4	10	20	304
2017	149	70	30	4	9	20	283
2018	146	62	30	4	9	19	271
2019	115	44	33	4	9	18	223
2020*	94	32	34	3	9	18	191
2021**	113	41	33	3	9	21	219

* vorläufige Daten

** geschätzte Daten

Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt, ZSE; Februar 2022

B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

Jahr	Kern- energie	Stein- kohle	Braun- kohle	Erdgas	Min- eralöl- pro- dukte	Wasser kraft Lauf- wasser	Wind- energie	Bio- masse	Photo- voltaik	Müll	übrige Energie träger	Wasser kraft (ab- züglich Pump- strom)	Strom- ver- brauch ins- gesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom- handels saldo
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]
1990	135	124	151	32	10	15	0	0	0	1	17	5	479	32	31	1
1991	131	133	140	32	13	13	0	0	0	1	14	5	473	30	31	-1
1992	141	126	137	29	12	15	0	0	0	1	14	5	472	28	34	-5
1993	136	130	131	29	9	16	1	0	0	1	14	5	462	34	33	1
1994	134	128	130	32	9	18	1	1	0	1	15	5	464	36	34	3
1995	137	130	126	36	8	19	1	1	0	1	16	6	470	40	35	5
1996	144	136	129	41	7	20	2	1	0	1	15	6	490	37	43	-5
1997	152	128	127	43	7	16	3	1	0	1	16	6	486	38	40	-3
1998	144	137	124	45	6	15	4	1	0	1	17	5	491	38	39	-1
1999	152	128	122	46	6	18	5	2	0	2	18	5	492	41	40	1
2000	151	128	132	44	5	19	9	3	0	2	20	6	507	45	42	3
2001	151	122	136	49	5	20	9	3	0	2	19	6	509	43	45	3
2002	147	120	141	50	8	21	14	4	0	2	16	6	517	46	46	7
2003	147	131	141	56	9	16	17	6	0	2	17	8	535	49	52	-3
2004	149	126	141	56	10	19	23	7	1	2	18	9	541	48	51	-3
2005	145	119	137	64	11	17	25	10	1	3	21	10	545	57	61	-5

Jahr	Kern- energie	Stein- kohle	Braun- kohle	Erdgas	Min- eralöl- pro- dukte	Wasser kraft Lauf- wasser	Wind- energie	Bio- masse	Photo- voltaik	Müll	übrige Energie träger	Wasser kraft (ab- züglich Pump- strom)	Strom- ver- brauch ins- gesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom- handels saldo
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]
2006	149	123	135	67	10	18	28	13	2	3	22	9	562	48	65	-17
2007	126	127	139	69	9	19	36	18	3	4	23	9	563	46	63	-17
2008	133	111	135	79	8	18	37	21	4	4	22	8	564	42	62	-20
2009	121	97	131	72	9	17	35	24	6	4	19	8	528	42	54	-12
2010	127	106	132	80	8	19	35	26	11	4	24	9	563	43	58	-15
2011	97	101	135	77	6	16	45	29	18	4	23	8	546	51	55	-4
2012	90	105	145	69	7	20	47	35	24	4	23	8	559	46	67	-21
2013	88	115	145	61	6	21	48	36	28	5	24	8	568	39	71	-32
2014	88	107	141	55	5	18	53	38	32	5	24	8	558	40	74	-34
2015	83	106	140	56	5	17	73	40	34	5	25	8	576	37	85	-48
2016	77	101	135	73	5	19	72	41	34	5	25	7	579	28	79	-51
2017	69	84	134	78	5	18	96	41	35	5	25	8	582	28	80	-52
2018	69	75	132	74	5	16	100	40	40	6	25	8	572	32	80	-49
2019	68	52	103	81	4	18	114	40	41	5	23	8	542	40	73	-33
2020*	58	39	83	86	4	17	119	41	45	5	22	9	510	48	67	-19
2021**	62	49	99	81	4	17	102	40	45	5	23	7	522	51	70	-18

* vorläufige Daten ** geschätzte Daten Rundungen können zu abweichenden Summen führen. Der Stromverbrauch errechnet sich aus der Bruttostromerzeugung abzüglich der anteiligen Verluste durch Kraftwerkseigenbedarf, Leitungsverluste (Anteils an der Bruttostromerzeugung) und Pumparbeit (nur Wasserkraft Pumpspeicher!). Quellen: Umweltbundesamt, eigene Berechnungen, Februar 2022

C Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material	[kg CO ₂ /TJ]
Andere Mineralölprodukte	80403
Braunkohlenbriketts	99212
Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle	97521
Deponiegas	111396
Dieselmotoren	74027
Erdgas	55826
Flüssiggas	66333
Gicht- u. Konvertergas	256388
Grubengas	68118
Hartbraunkohle	94420
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91510
Heizöl, leicht	74020
Heizöl, schwer	79671
Industriemüll fossil	71133
Klärgas	104894
Kokerei-/Stadtgas	40997
Petrolkoks	103429
Raffineriegas	58032
Rohbraunkohle Helmstedt	97920
Rohbraunkohle Hessen	102472
Rohbraunkohle Lausitz	110213
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	103586
Rohbraunkohle Rheinland	113321
Rückstände Papierindustrie, fossil	86222
Sonderabfall	82989
Sonstige hergestellte Gase	1770 kg/1000m ³
Steinkohle	93572
Steinkohlenbriketts	95913
Steinkohlenkoks	108317

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE aktuell Stand 02/2022