

CLIMATE CHANGE

45/2021

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid- Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2020

CLIMATE CHANGE 45/2021

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2020

von

Petra Icha
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Unter Mitarbeit von

Dr. Thomas Lauf, 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

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

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

Abschlussdatum:

Mai 2021

Redaktion:

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

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2021

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.

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 für die Zeitreihe 1990 –2020 und der Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien-Statistik (AGEE - Stat). 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 und eine Aktualisierung im Bereich der erneuerbaren Energien in der 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 über die letzten Jahre erheblich an Bedeutung gewonnen und im Jahr 2017 mit einem Stromhandelssaldo von 52 TWh Exportüberschuss einen neuen Höchststand erreicht hat, der danach kontinuierlich zurückgegangen ist und 2020 eine Größenordnung von 20 TWh erreicht. Der gleichzeitige Anstieg der Importe als auch der Rückgang der Exporte ergibt sich aus Merit-Order-Effekten im europäischen Strommarkt, nach denen europäische Gaskraftwerke gegenüber Kohlekraftwerken an Konkurrenzfähigkeit stark gewonnen haben.

Der Überschuss an exportiertem Strom gegenüber den importierten (Stromhandelssaldo) kann in 2019 mit 13 Mio t CO₂ und in 2020 mit 7 Mio. t CO₂ bewertet werden.

Der Anteil Stromhandelssaldos an der Bruttostromerzeugung beziffert sich 2019 auf rund 5 % und 2020 auf rund 4%.

Das Jahr 2020 ist als 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 Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix	8
2 Methode zur Berechnung.....	11
2.1 Emissionsfaktor für den deutschen Strommix	11
2.2 Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix	11
2.3 Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos.....	11
2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung.....	11
2.5 Kohlendioxidemissionen der inländischen Stromerzeugung.....	12
2.6 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung.....	13
2.7 Inländischer Stromverbrauch.....	13
3 Zeitliche Entwicklung des Indikators	15
3.1 Spezifische CO ₂ -Emissionen des deutschen Strommixes.....	15
3.2 Entwicklung gesamte CO ₂ -Emissionen aus der Stromerzeugung	21
3.2.1 Überblickt zur Entwicklung	21
3.2.2 Die Entwicklung im Einzelnen	22
4 Zusammenfassung.....	23
5 Ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen.....	24
6 Quellenverzeichnis	25
A Anhang 1: CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio. t.....	26
B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch	27
C Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE	29

Abbildungsverzeichnis

Abb 1:	Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromaustauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland	14
Abb. 2:	Spezifische Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos	15
Abb. 3:	Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“	20
Abb. 4:	Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (unter Beachtung des Stromhandelssaldos)	21
Abb. 5:	Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und der Entwicklung des Stromverbrauchs im Vergleich	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und CO ₂ -Emissionsfaktor des Stroms	9
Tabelle 2:	CO ₂ -Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2019*	16
Tabelle 3:	CO ₂ und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette	16
Tabelle 4:	Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung ¹	18

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
TWh	Terrawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
ZSE	Zentrales System der Emissionen (interne Datenbank des Umweltbundesamtes zur internationalen Emissionsberichterstattung)

1 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix

Das Umweltbundesamt berechnet jährlich drei 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 2018 durchschnittlich 471 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind ca. 293 g CO₂/kWh oder ca. 38 % weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2019 sind dies auf der Basis vorläufiger Daten 408 g CO₂/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2020 ergeben 366 g CO₂/kWh.

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.

Deutschland weist seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss auf, der über die letzten Jahre erheblich an Bedeutung gewonnen und im Jahr 2017 mit 53 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat. Daher erfolgte im Jahr 2013 die Einführung eines CO₂-Emissionsfaktors für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos – 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 2020 bei 14 g CO₂/kWh bzw. 7 Mio. t CO₂. Um diese Menge würden sich die deutschen CO₂-Emissionen aus dem Stromsektor reduzieren, wenn das Stromhandelsaldo ausgeglichen wäre.

Ein weiterer Indikator wurde berechnet, um die spezifischen CO₂-Emissionen auszuweisen, bei denen sowohl stromverbrauchsseitig als auch stromemissionsseitig die Anpassung an den Wert des Stromhandelsaldos durchgeführt wurde (Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos).

Im 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 verwendet. In diesem Kontext werden auch die THG-Emissionen (in CO₂-Äquivalenten) der deutschen Stromerzeugung ermittelt. (14) (siehe auch Tabelle 3).

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.

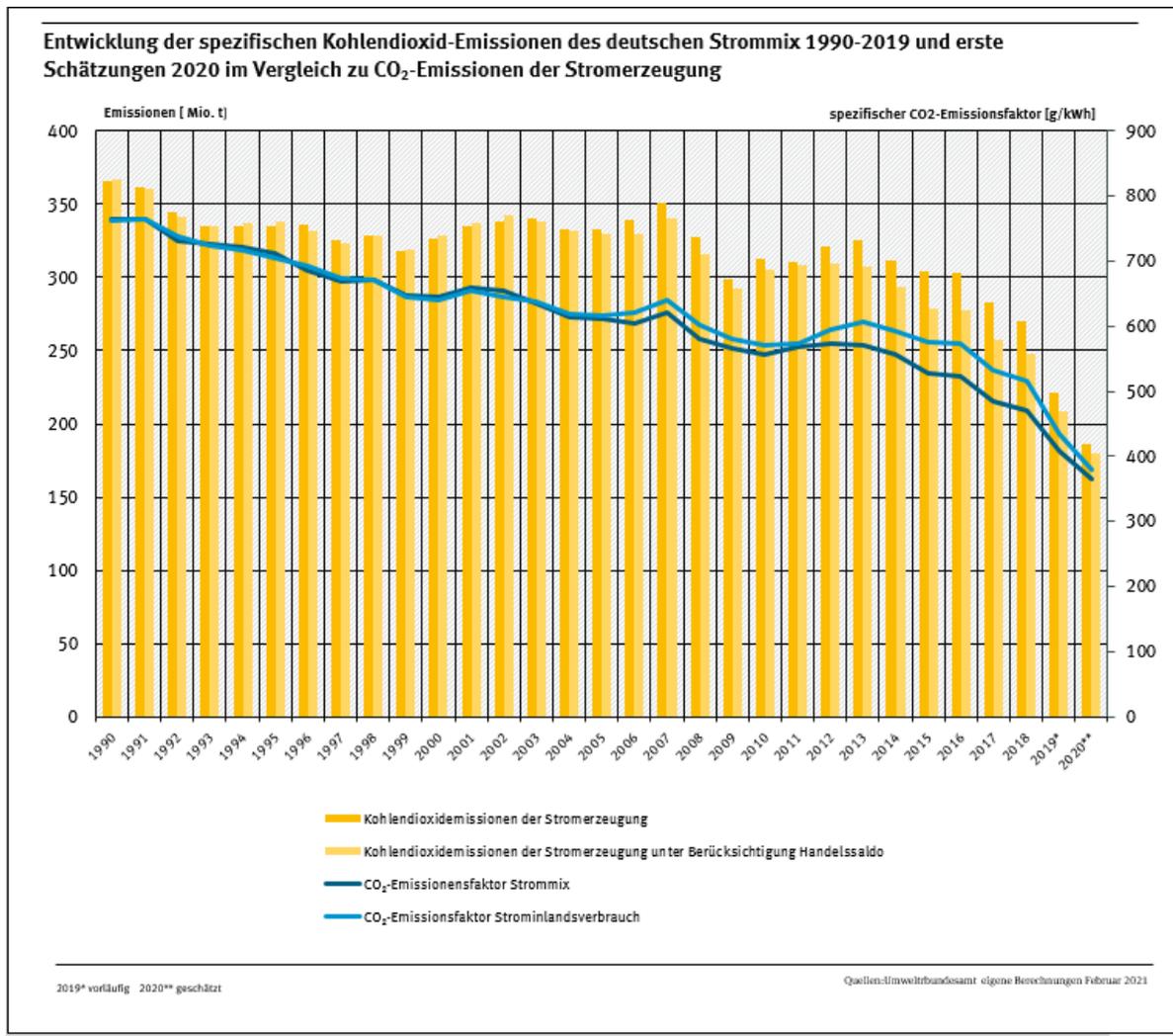
Tabelle 1: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und CO₂-Emissionsfaktor des Stroms

Jahr	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung ¹ [Mio. t]	Stromverbrauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix ³ [g/kWh]	Stromverbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandels-saldos ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsver-brauch ⁵ [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo ⁶	CO ₂ -Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Handelssaldos ⁷ [g/kWh]
1990	366	479	764	480	763	367	764
1991	361	473	764	473	765	361	764
1992	345	472	730	467	739	341	730
1993	335	462	726	462	725	335	726
1994	335	464	722	467	718	337	722
1995	335	470	713	475	706	338	713
1996	336	490	685	485	692	332	685
1997	325	486	669	483	673	323	669
1998	329	491	671	490	672	329	671
1999	318	492	647	493	646	319	647
2000	327	507	644	510	640	329	644
2001	336	509	659	512	656	337	659
2002	338	517	654	524	646	343	654
2003	340	536	635	532	639	338	635
2004	333	542	615	539	618	331	615
2005	333	545	610	541	616	330	610
2006	339	563	603	546	622	329	603
2007	351	564	621	548	640	340	621
2008	328	565	581	545	602	316	581
2009	299	528	566	516	580	292	566
2010	313	564	555	549	570	305	555
2011	310	546	568	542	572	308	568
2012	321	559	573	539	595	309	573
2013	326	569	572	537	606	307	572
2014	312	560	557	526	593	293	557
2015	304	578	527	529	575	279	527
2016	304	581	523	530	572	277	523
2017	283	584	485	531	533	258	485
2018	270	574	471	525	515	247	471
2019*	222	544	408	511	434	208	408
2020**	187	510	366	492	380	180	366

2019 *vorläufig 2020 ** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen Februar 2021

¹ UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventars 1990-2019 (Quelle 3)² Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung (UBA eigene Berechnung) -Kraftwerkseigenverbrauch -Pumpstrom-Leitungsverluste³ UBA-Berechnungen auf der Grundlage der Quellen 3, 5 und 6⁴ Stromverbrauch inklusive Stromhandels-saldo =Bruttostromerzeugung (UBA eigene Berechnung) -Kraftwerkseigenverbrauch - Pumparbeit-Leitungsverluste + Stromzufuhr - Stromabfuhr⁵ UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandels-saldos⁶ Emissionen der Stromerzeugung abzüglich der Emissionen die dem Stromhandels-saldo zugerechnet wurden⁷ UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandels-saldos in Stromverbrauch und Stromemissionen



Jahr	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung [Mio. t]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch [g/kWh]	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo [Mio. t]
1990	366	764	763	367
1991	361	764	765	361
1992	345	730	739	341
1993	335	726	725	335
1994	335	722	718	337
1995	335	713	706	338
1996	336	685	692	332
1997	325	669	673	323
1998	329	671	672	329
1999	318	647	646	319
2000	327	644	640	329
2001	336	659	656	337
2002	338	654	646	343
2003	340	635	639	338
2004	333	615	618	331
2005	333	610	616	330
2006	339	603	622	329
2007	351	621	640	340
2008	328	581	602	316
2009	299	566	580	292
2010	313	555	570	305
2011	310	568	572	308
2012	321	573	595	309
2013	326	572	606	307
2014	312	557	593	293
2015	304	527	575	279
2016	304	523	572	277
2017	283	485	533	258
2018	270	471	515	247
2019*	222	408	434	208
2020**	187	366	380	180

2019* vorläufig 2020** 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 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 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 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.

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.

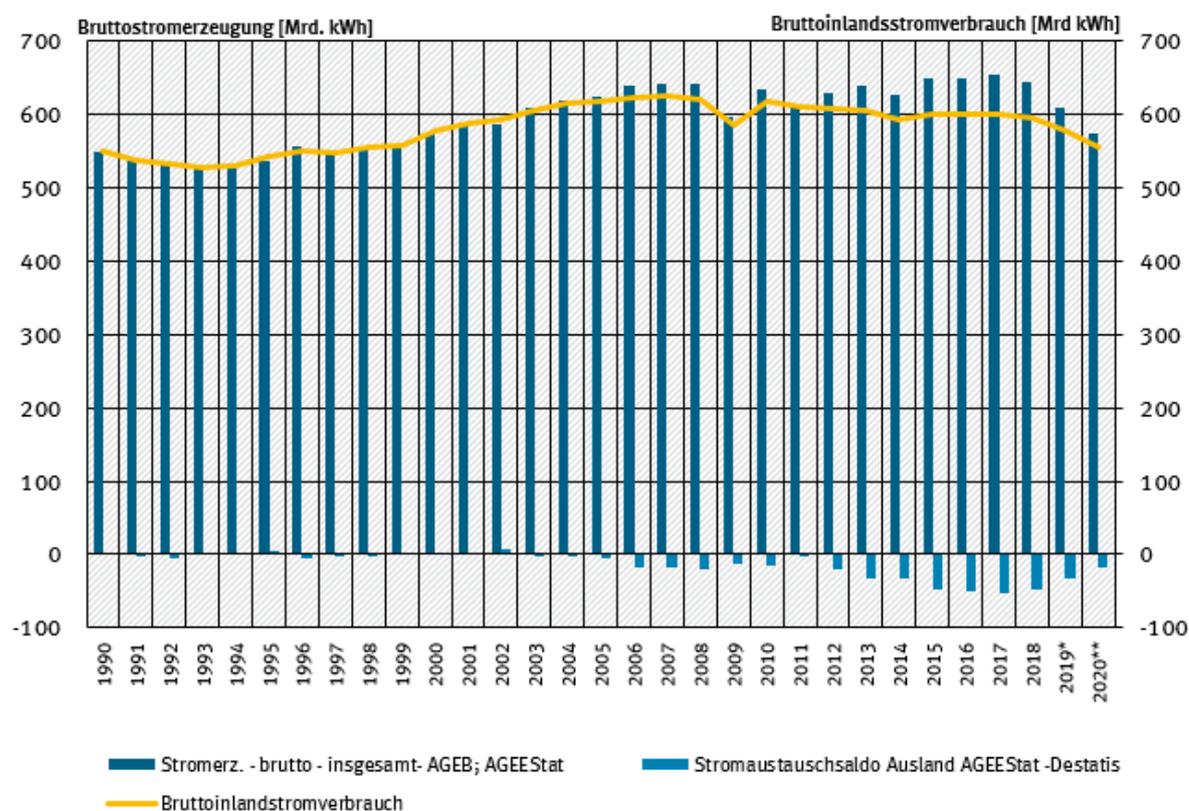
inländischer Stromverbrauch

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

Der Stromhandelssaldo weist seit 2003 durchweg einem Stromexportüberschuss auf und stieg bis 2017 auf ca. 8,0 %. Für 2019 wurde auf Basis vorläufiger Daten ein Rückgang auf

32,7 Mrd. kWh berechnet und für 2020 auf 20,0 Mrd. kWh geschätzt. Gleichzeitig ist die Bruttostromerzeugung von 2014 (627,2 Mrd. kWh) auf 2018 (652,9 Mrd. kWh) gestiegen um ab 2018 auf 642,9 Mrd. kWh zu fallen. Dieser sinkende Trend setzt sich mit Daten für 2019 von 609,4 (vorläufig) und 2020 mit geschätzte 571,9 Mrd. kWh fort. Mit dem Datenstand 2019 konnte das Niveau der Bruttostromerzeugung von 2011 (613,1 Mrd. kWh) wieder unterschritten werden. Der Anteil der Auswirkungen der Corona Pandemie am Sinken der Stromerzeugung in 2020 kann nicht quantifiziert werden. Nach Überwindung der Pandemie ist mit einem Wiederanstieg zu rechnen (6).

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



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

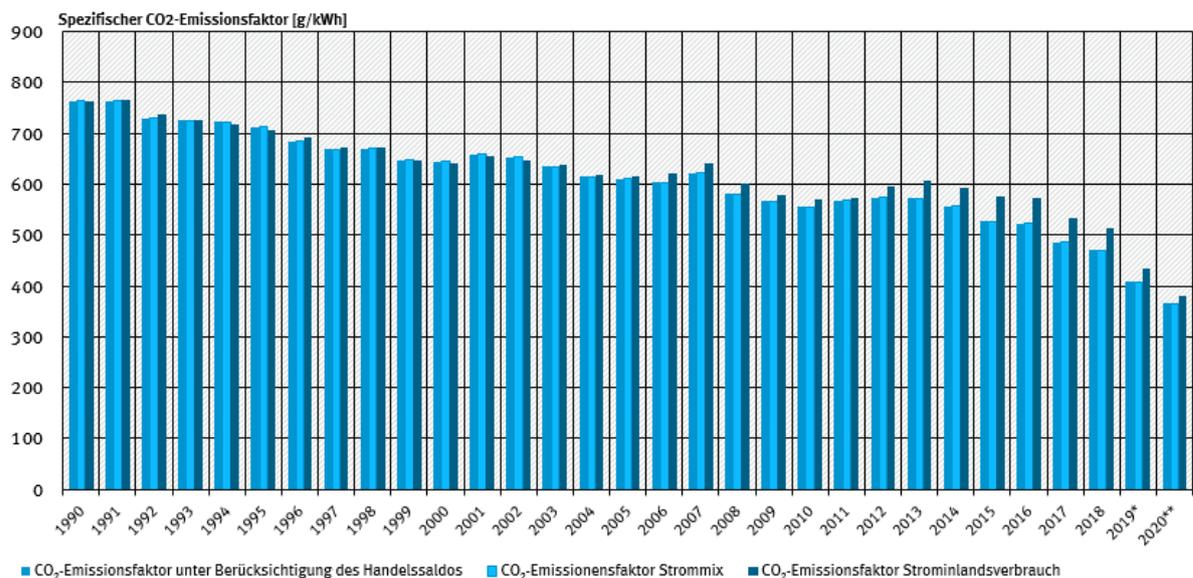
Quelle: AGEB Stand Februar 2021; AGEE – Stat 02/2021 UBA eigene Berechnungen

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 2018 von 764 g CO₂/kWh auf 471 g CO₂/kWh (siehe Abbildung 2). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 38 % pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2019 und 2020 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2019 weisen eine deutliche Verringerung auf 488 g CO₂/kWh aus, während für 2020 auf der Grundlage von geschätzten Daten 366 g CO₂/kWh ermittelt wurden. Hier kommt signifikant die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung zum Tragen, der bei ca. 44 % lag. Weitere Ursachen liegen in der Verringerung des Einsatzes an Stein- und Braunkohle zur Stromerzeugung bei gleichzeitiger Zunahme des emissionsärmeren Erdgases. Der Stromexportüberschuss im Jahr 2017 mit 52,5 Mrd. kWh hatte ein neues Rekordniveau gegenüber 33,9 Mrd. kWh aus 2014 erreicht und sank in 2019 auf 32,7 Mrd. kWh (vorläufig) um in 2020 weiter auf geschätzte 20 Mrd. kWh zu sinken (siehe Tabelle Bruttostromerzeugung) (6). Der Anteil der Corona-Pandemie im Jahr 2020 kann mit den verfügbaren Daten nicht quantifiziert werden.

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



2019* vorläufig 2020** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2020

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 2: CO₂-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2019*

	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	49	409	408
Steinkohle	337	40	852	
Braunkohle	406	36	1.135	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2021 *vorläufig

Eine umfassende Betrachtung der Schadgas-Emissionen für den Strommix berücksichtigt neben den direkten Emissionen auch die indirekten Emissionen aus der Vorkette. Einen Vergleich der entsprechenden Emissionsfaktoren für den Strommix zeigt Tabelle 3 für die CO₂ und THG-Emissionen.

Tabelle 3: CO₂ und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette

Indikator	Schadstoff	Einheit	2019
Direkter CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs	CO ₂	g/kWh	408
Direkter THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs	CO ₂ -Äquivalent	g/kWh	416
CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorketten-Emissionen	CO ₂	g/kWh	444
THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorketten-Emissionen	CO ₂ -Äquivalent	g/kWh	470

Quelle: UBA, Datenstand 02/2021

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 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	Sämtliche 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%	53%	40%
2004	43%	38%	51%	41%
2005	42%	38%	53%	41%
2006	40%	38%	52%	40%
2007	41%	38%	54%	41%
2008	41%	38%	54%	41%
2009	41%	38%	54%	41%
2010	42%	38%	56%	41%
2011	42%	38%	58%	43%
2012	42%	39%	56%	45%
2013	41%	39%	57%	45%
2014	41%	39%	57%	45%
2015	43%	39%	57%	47%
2016	43%	39%	57%	47%
2017	44%	39%	57%	49%
2018*	44%	39%	54%	50%
2019*	44%	40%	54%	51%

2019* 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.

Der Überschuss an exportierten Strom gegenüber den importierten (Stromhandelssaldo) kann in 2019 mit 13 Mio t. CO₂ und in 2020 mit 7 Mio. t CO₂ bewertet werden.

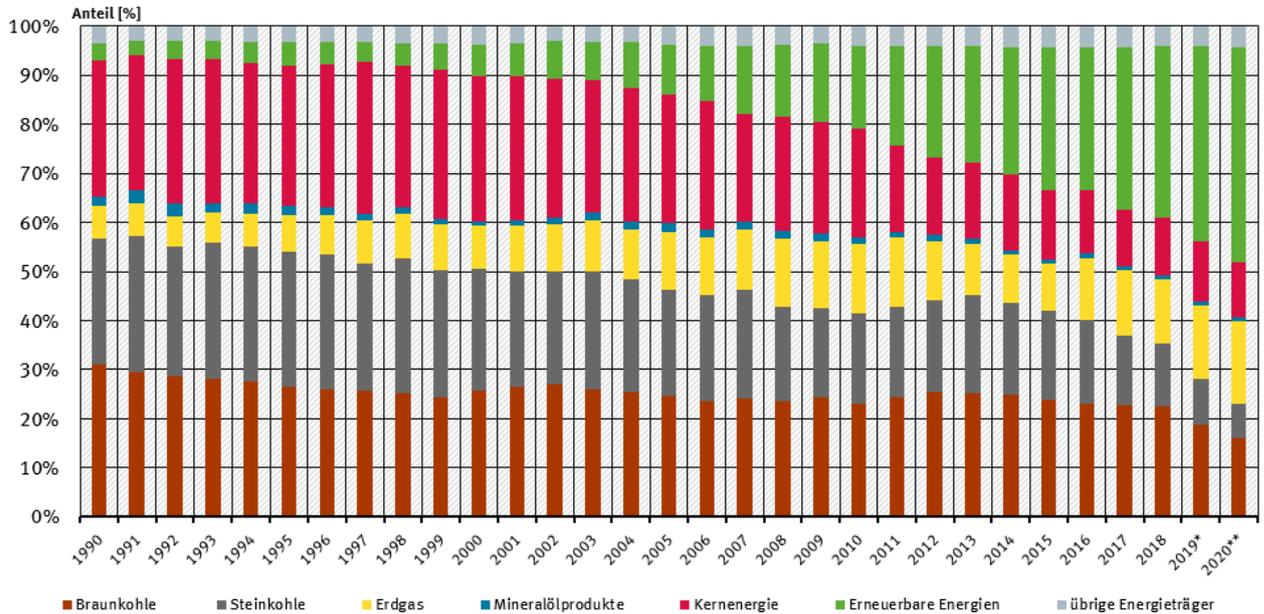
Der Anteil Stromhandelssaldos an der Bruttostromerzeugung beziffert sich 2019 auf rund 5 % und 2020 auf rund 4%.

Das Jahr 2020 ist als Ausnahmejahr durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie zu betrachten. Diese 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 2021, eigene Berechnungen UBA, AGEE - Stat 02/2021

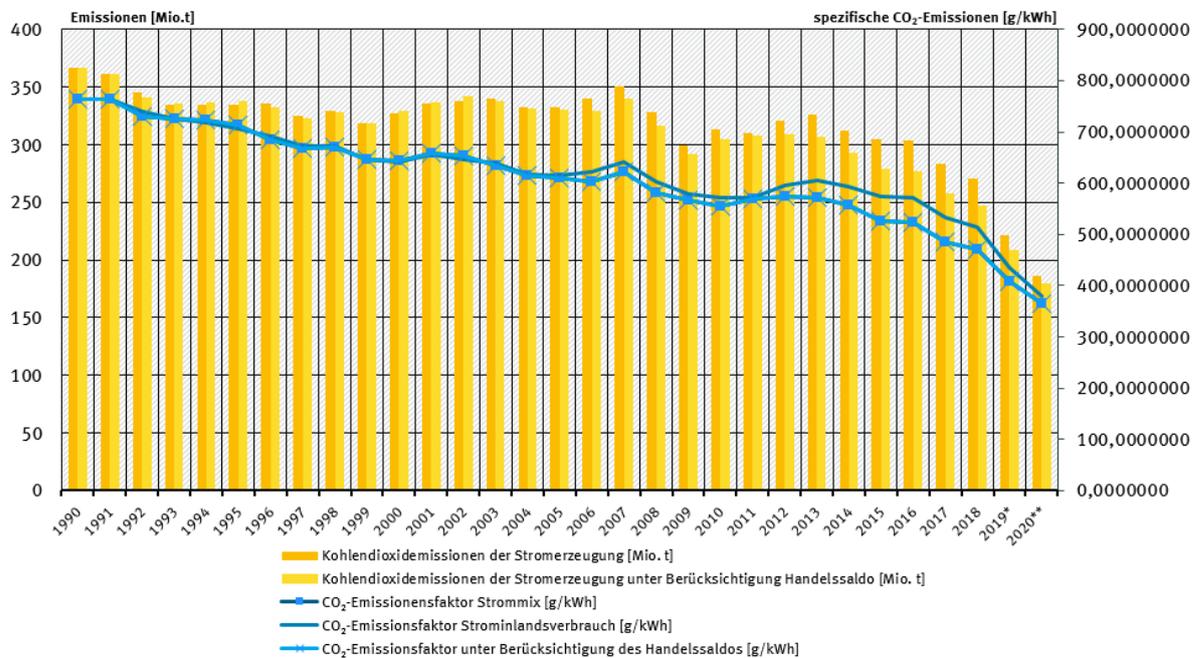
Ab dem Jahr 1999 nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung im deutschen Strommix deutlich zu. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms an der Bruttostromerzeugung inklusive der Pumpstromerzeugung zwischen 1998 und 2018 von ca. 4,7 % auf ca. 35 %, um 2019 mit 40 % einen neuen Höchststand zu erreichen. Für 2020 werden ca. 44 % erwartet. Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen per Definition keine direkten CO₂-Emissionen verursacht, sinkt mit ihrer Zunahme der Emissionsfaktor für den Strommix. Deutlich überlagert wird dieser positive Effekt jedoch 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. Dies erklärt die Entwicklung absoluter und spezifischer Emissionen. 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 wieder umgekehrt. (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)



2019* vorläufig 2020** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2021

Sinkenden spezifischen Emissionen zwischen 1990 und 2018 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 (wachsener 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 222 Mio. Tonnen im Jahr 2019. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtemissionen der Stromerzeugung um ca. 39 %. Schätzungen lassen für 2020 für die Stromerzeugung 187 Mio. Tonnen Kohlendioxid und somit eine Verringerung von 179 Mio. Tonnen (49 %) gegenüber 1990 erwarten. Das Jahr 2020 ist 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

Wiederanstieg der Stromerzeugung und somit der daraus resultierenden Kohlendioxidemissionen erwartet.

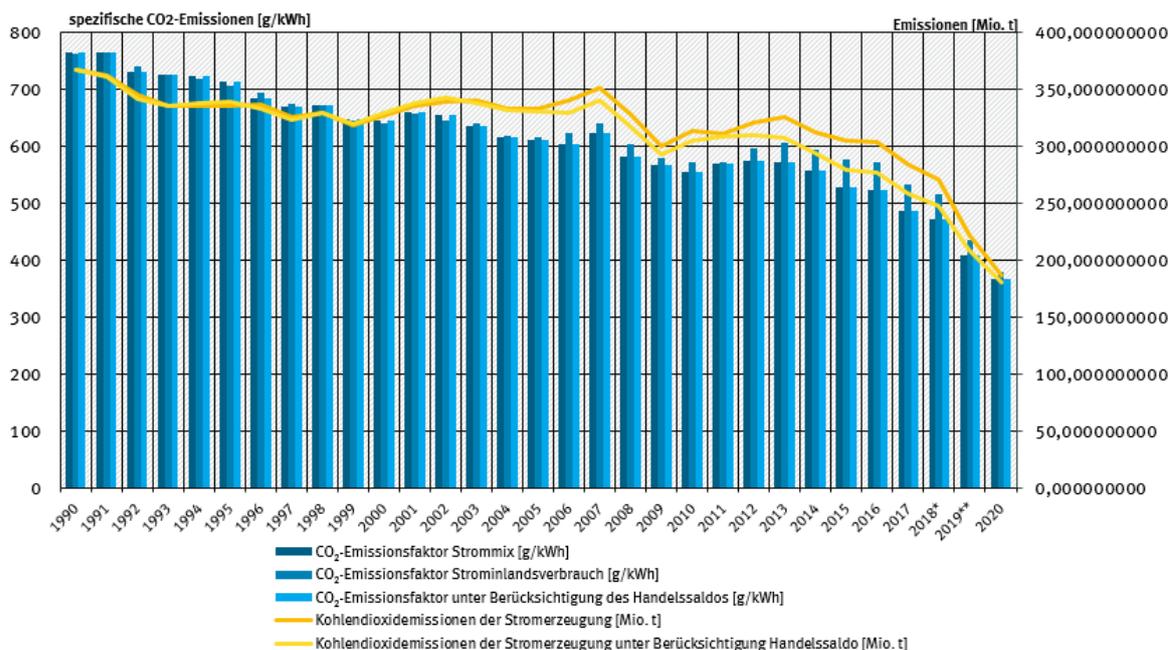
3.2.2 Die Entwicklung im Einzelnen

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 2018 der „Emissionsfaktor“ 471 g CO₂/kWh und der „Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ 515 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 auf sinkende CO₂-Emissionen. Dies bedingt auch sinkende Emissionsfaktoren ab 2013 von 569 g CO₂/kWh auf 488 g CO₂ /kWh im Jahr 2019 (vorläufig). Für das Jahr 2020 wird ein spezifischer CO₂-Emissionsfaktor von 366 g/kWh geschätzt - wobei auch das Jahr der Corona Pandemie (2020) als Ausnahmejahr eingeschätzt wird. Unter Schwankungen ist ein deutlich sinkender Trend feststellbar.

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



2019* vorläufig 2020** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2021

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 Stromhandelssaldos betrachtet werden.

Die bisherige Entwicklung des in Summe sinkenden Trends von 764 g CO₂/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 471 g CO₂/kWh im Jahr 2018 ist positiv zu bewerten.

Auch der für 2019 hochgerechnete CO₂-Emissionsfaktor in Höhe von 408 g CO₂/kWh und der für 2020 geschätzte Wert von 366 g CO₂/kWh bestätigen den sinkenden Trend.

Der Einfluss des gesunkenen Stromverbrauchs infolge der Corona Pandemie in 2020 ist sichtbar, kann aber nicht qualifiziert abgebildet werden.

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, da Kohlenkraftwerke einen deutlich höheren Emissionsfaktor als der deutsche Strommix haben. 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.

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung verstärkt die sinkende Tendenz der spezifischen Kohlendioxidemissionen im Strommix.

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 2020 mit 20 Mrd. kWh ausgewiesen. Dies sind 62% (absolut 32,5 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.

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) Umweltbundesamt, FG V 1.6; Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) Stand 02/2021
- (4) Umweltbundesamt; FG V 1.5: Eigene Berechnungen auf Grundlage der Tabelle „Stromerzeugung nach Energieträgern 1990-2019“ der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEb)
- (5) Destatis, 2018, Stand Februar 2021, Fachserie 19 Reihe 1
- (6) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2020 nach Energieträgern Stand Februar 2021.
[https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausdruck_strenz_abgabe_feb2021_a10 .pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausdruck_strenz_abgabe_feb2021_a10.pdf)
(aufgerufen am 07.02.2021)
- (7) Kraftwerksdatenbank des UBAs-UBA-interne Angaben zu Wirkungsgraden
<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland> (aufgerufen am 7.02.2021)
- (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 2019, Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2019, 15.03.2019. Veröffentlichung unter <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021> (aufgerufen am 07.02.2021)
- (10) ÖKO-INSTITUT, 2004c CO₂ Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen Inventare. Teilbereich für den nationalen Inventarbericht 2004Veröffentlichung 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 April 2019, Energiebilanzen 2018 (Stand Februar 2020),
https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz15d.xlsx (aufgerufen am 07.02.2021)
- (12) Destatis; 2018; Stand März-2020, Monaterhebung der Elektrizitätsversorgung; –Code 43311-0003
<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/logon?language=de&sequenz=tabelleErgebnis&selectio nname=43311-0003> (aufgerufen am 7.03.2021)
- (13) AGEE – Stat; Stand Februar 2021, Tabelle 3 „Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990-2020“
https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html
(aufgerufen am 07.02.2021)
- (14)UBA_FG V1.5_ eigene Berechnungen ;"Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger), Stand unveröffentlichte Aktualisierung Februar 2021;
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2018,2019>
unveröffentlicht

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	16	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	336
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	19	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	270
2019**	113	44	34	4	9	18	222
2020**	91	32	35	4	9	16	187

* vorläufige Daten

** geschätzte Daten

Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt, ZSE; Februar 2021

B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

Jahr	Kernenergie	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	Mineralölprodukte	Wasserkraft Laufwasser	Windenergie	Biomasse	Photovoltaik	Müll	übrige Energieträger	Wasserkraft Pumpstrom (abzüglich)	Stromverbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Stromh andelss aldo
	[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	536	49	52	-3
2004	149	126	141	56	10	19	23	7	0	2	18	9	542	48	51	-3
2005	145	119	137	65	11	17	25	10	1	3	21	10	545	57	61	-5

Jahr	Kernenergie	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	Mineralölprodukte	Wasserkraft Laufwasser	Windenergie	Biomasse	Photovoltaik	Müll	übrige Energieträger	Wasserkraft Pumpstrom (abzüglich)	Stromverbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Stromhändelsaldo
	[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	23	9	563	48	65	-17
2007	126	127	139	70	9	19	36	18	3	4	24	9	564	46	63	-17
2008	133	111	135	80	9	18	37	21	4	4	22	8	565	42	62	-20
2009	121	97	131	73	9	17	35	24	6	4	19	8	528	42	54	-12
2010	127	106	132	81	8	19	35	26	11	4	24	9	564	43	58	-15
2011	97	101	135	78	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	7	21	48	36	28	5	24	8	569	39	71	-32
2014	88	107	141	55	5	18	53	38	33	5	24	8	560	40	74	-34
2015	83	106	140	56	6	17	73	40	35	5	25	8	578	37	85	-48
2016	77	102	135	74	5	19	72	41	34	5	25	7	581	28	79	-51
2017	69	84	134	79	5	18	96	41	36	5	25	8	584	28	80	-52
2018	69	75	132	75	5	16	100	41	41	6	24	8	574	32	80	-49
2019*	68	52	103	82	4	18	114	40	42	5	23	8	544	40	73	-33
2020**	58	37	83	87	4	17	119	41	46	5	22	9	510	47	67	-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 2021

C Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material	[kg CO ₂ /TJ]
Andere Mineralölprodukte	80102
Braunkohlenbriketts	98991
Braunkohlenstaub- /Wirbelschichtkohle	97488
Deponiegas	111396
Dieselmkraftstoff	74027
Erdgas	55749
Flüssiggas	66333
Gicht- u. Konvertergas	259200
Grubengas	68118
Hartbraunkohle	94700
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91510
Heizöl, leicht	74020
Heizöl, schwer	79400
Industriemüll fossil	71133
Klär gas	104894
Kokerei- /Stadtgas	40792
Petrolkoks	98579
Raffineriegas	58032
Rohbraunkohle Helmstedt	97920
Rohbraunkohle Hessen	102472
Rohbraunkohle Lausitz	109881
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	104164
Rohbraunkohle Rheinland	112851
Rückstände Papierindustrie, fossil	86222
Sonderabfall	82989
Sonstige hergestellte Gase	1770 kg/1000m ³
Steinkohle	93675
Steinkohlenbriketts	95913
Steinkohlenkoks	107530

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE aktuell Stand 02/2021