CLIMATE CHANGE
23/2024

Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2023

von

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

Herausgeber:
Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

CLIMATE CHANGE 23/2024

Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2023

von

Petra Icha, Dr. Thomas Lauf
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

Abschlussdatum:
Mai 2024

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, Juni 2024

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 CO_2-**Emissionsfaktor für den deutschen Strommix,** der CO_2-**Emissionsfaktor** für den Strom**inlands**verbrauch **für den deutschen Strommix** und der CO_2-**Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos**. Die Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos werden zusätzlich ausgewiesen.

Die jährliche Fortschreibung und Aktualisierung der spezifischen CO_2-Emissionen des deutschen Strommix 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 –2023. Die Daten für die Erneuerbaren Energien werden von 1990 – 2023 von der Arbeitsgemeinschaft AGEE - Stat bereitgestellt. 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 (EnergiebilanzenBruttostromerzeugung, Emissionsfaktoren) werden – soweit sie zum Zeitpunkt der Aktualisierung veröffentlicht waren – berücksichtigt. Die Revisionen der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 bedingen Veränderungen im Bereich der Emissionen aus der Stromerzeugung 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. Im Jahr 2023 wird erstmals wieder ein Importüberschuß im Saldo in Höhe 11,8 TWh ausgewiesen. Damit vollzog sich ein Wechsel vom Stromexporteur zum Stromimporteur in der Jahressumme. Der Anteil des Stromhandelssaldos (Exportüberschuß) an der Bruttostromerzeugung beziffert sich in 2022 auf 4,7 % und verursacht rund 12 Mio t. Kohlendioxid Emissionen, die Deutschland nach den internationalen Bilanzierungsregeln angerechnet werden. Die importierte Strommenge in Höhe von 11,8 TWh im Jahr 2023 entspricht 4,5 Mio t Kohlendioxid, die nicht der deutschen Stromerzeugung zugerechnet werden, da sie in anderen berichtspflichtigem Ländern entstehen.

Das Jahr 2021 ist geprägt durch die konjunkturelle Erholung nach den Folgen des Corona-Pandemie Jahres 2020. Gepaart wird diese Entwicklung mit einer vergleichsweise geringen witterungsbedingten Stromerzeugung aus Wind. Das Jahr 2022 ist wiederrum beeinflusst durch die Auswirkungen des russischen Angriffskrieges in der Ukraine. Zwar kommt es aufgrund der daraus resultierenden Gaskrise zu einer Reduktion des Stromverbrauchs, dieser wird jedoch vermehrt durch die emissionsintensive Kohle und Importen von Flüssiggas gedeckt. In 2023 wurde erstmalig seit 2002 wieder mehr Strom importiert als exportiert. Die Abschaltung der Atomkraftwerke führte zu einem vermehrten Einsatz emissionsintensiverer Brennstoffe.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 6
Tabellenverzeichnis 6
Abkürzungen 7
1 Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix 8
1.1 Treiber für die Entwicklung des CO_2-Emissionsfaktors für den Strommix 9
1.2 Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix 9
1.3 CO_2-Emissionsfaktor inkl. Vorketten-Emissionen für den deutschen Strommix 9
1.4 Gesamtübersicht 9
2 Methode zur Berechnung 14
2.1 CO_2-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix 14
2.2 CO_2-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix 14
2.3 CO_2-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos 14
2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung 14
2.5 Kohlendioxidemissionen der inländischen Stromerzeugung 15
2.6 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung 16
2.7 Inländischer Stromverbrauch 16
2.8 THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 17
2.9 Vorketten für den THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 17
3 Entwicklung der Emissionsfaktoren des deutschen Strommix 19
4 Zusammenfassung 25
5 Ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen 27
6 Quellenverzeichnis 28
A Anhang 1: CO2-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 34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommix 1990-2022 und erste Schätzungen 2023 im Vergleich zu Emissionen der Stromerzeugung 13
Abbildung 2: Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs im Vergleich 19
Abbildung 3: Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromaustauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland 23
Abbildung 4: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“ 23
Abbildung 5: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2023* 24
Abbildung 6: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (unter Beachtung des Stromhandelssaldos) 25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwickung: Emissionsfaktor für den deutschen Strommix 8
Tabelle 2: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Emissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und Emissionsfaktor des Stroms 11
Tabelle 3: CO_2 und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette für das Jahr 2023(geschätzt) 18
Tabelle 4: CO_2-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO_2-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2023* 20
Tabelle 5: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung[1] 21

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V.
AGEE - Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien - Statistik
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
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
NID	Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar
PSE	Pumpstromerzeugung, 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.

Die „direkten CO_2-Emissionen je Kilowattstunde Strom“ werden als **„Emissionsfaktor für den deutschen Strommix“** bezeichnet.

Bei der Erzeugung einer Kilowattstunde Strom für den Endverbrauch ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos wurden in Deutschland im Jahr 2021 durchschnittlich 407 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind 357 g CO_2/kWh oder ca. 46,7 % weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2022 sind dies auf der Basis vorläufiger Daten 429 g CO_2/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2023 ergeben 380 g CO_2/kWh.

Der spezifischen Emissionsfaktor der Treibhausgase ohne Vorketten beträgt 769 g CO_2-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 CO_2-Äquivalente/ kWh für das gleiche Basisjahr 1990.

Bis zum Jahr 2020 ist ein stetiger Rückgang des spezifischen Emissionsfaktors der Treibhausgase ohne Vorketten auf 416 g CO_2-Äquivalente /kWh und mit Vorketten auf 473 g CO_2-Äquivalente /kWh zu verzeichnen. Für das besondere Jahr 2022 stiegen die spezifischen Emissionsfaktoren der Treibhausgase ohne Vorkette wieder auf 439 g CO_2-Äquivalente /kWh und mit Vorkette 498 g CO_2-Äquivalente /kWh. Die Schätzungen weisen für das Jahr 2023 für die CO2-Äquivalente ohne Vorketten wieder einen gesunkenen Wert von 388g/CO_2-Äquivalente und mit Vorketten einen Wert von 445 g/CO_2-Äquivalente aus.

Tabelle 1: Entwicklung: Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

	Einheit	1990	2019	2020	2021	2022	2023
direkte CO_2-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger	g CO2/ kWh	764	408	364	407	429	380
Änderung ggü 1990	g CO2/ kWh		-357	-400	-357	-335	-384
Änderung ggü 1990	%		-46,7	-52	-46,7	-44	-50
direkte THG-Emissionen des Stromverbrauchs ohne Vorketten	g CO2-Äq./ kWh	769	416	373	416	439	388
direkte THG-Emissionen des Stromverbrauchs mit Vorketten	g CO2-Äq./ kWh	860	473	429	473	498	445
THG-Emissionen aus den Vorketten des Stromverbrauchs	g CO2-Äq./ kWh	91	57	56	57	59	57

1.1 Treiber für die Entwicklung des CO_2-Emissionsfaktors für den Strommix

Die wirtschaftliche Erholung nach dem Pandemiejahr 2020 führte gepaart mit einer witterungsbedingten geringeren Windenergieerzeugung zu einer vermehrten Nutzung emissionsintensiver Kohleverstromung, wodurch sich der die spezifischen Emissionsfaktoren im Jahr 2021 wieder erhöhten. Dieser Effekt beschleunigte sich noch einmal im Jahr 2022. Ursache hierfür sind neben der durch den russischen Angriffskrieg in der Ukraine ausgelösten Gaskrise, u.a. der fortschreitende Kernenergieausstieg in Deutschland, sowie die Dürre- und Revisionsbedingte Reduktion der französischen Kernenergieerzeugung, welche zu höheren Stromexporten von Deutschland nach Frankreich führte. In 2023 gab es neben diesen weiterhin bestehenden Effekten die Umkehr von einem Exporthandesssaldo zu einem Importhandelssaldo für Deutschland, was sich emissionsmindernd auswirkt. Weiterhin stagnierte die wirtschaftliche Erholung. So sinken die spezifischen Emissionsfaktoren auf Grundlage vorläufiger und geschätzter Daten in 2023 wieder. Diese Absenkung unter das Niveau 2019 ist nicht generell als nachhaltig anzusehen.

1.2 Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix

Gemäß internationalen Bilanzierungsvorgaben – IPCC Guidelines - 2006 (1) sind alle Emissionen der Stromerzeugung – also auch Stromhandelsüberschüsse – dem Land zuzurechnen, in dem sie entstehen. Der diese Bilanzierungsvorgaben berücksichtigende CO_2-Faktor erhöht sich bei Exportsaldenüberschüssen und verringert sich bei Importüberschüssen.

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 18,6 TWh zurück gegangen und in 2022 wieder auf 27 TWh gestiegen ist. Der Anteil Stromhandelssaldos an der Bruttostromerzeugung beziffert sich in 2022 auf 4,7 %. Im Jahr 2023 wurden 11,8 TWh mehr Strom importiert als exportiert. Dies entspricht 4,5 Mio t Kohlendioxid, die nicht der deutschen Stromerzeugung zugerechnet werden, da sie in anderen berichtspflichtigen Ländern entstehen.

Zur Berücksichtigung dieser Effekte wird ein CO_2-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 2 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmethoden liegt im Jahr 2023 bei 9 g CO_2/kWh.

1.3 CO_2-Emissionsfaktor inkl. Vorketten-Emissionen für den deutschen Strommix

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 CO_2-Emissionsfaktor inkl. Vorketten-Emissionen wird im Rahmen der Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (2) verwendet. In diesem Kontext werden auch die THG-Emissionen (in CO_2-Äquivalenten) der deutschen Stromerzeugung ermittelt. (vgl. hierzu Tabelle 2).

1.4 Gesamtübersicht

Entsprechend dem Stand der Energiestatistik und der internationalen Emissionsberichterstattung wurde der Datensatz zum Strommix aktualisiert -Methodenverbesserungen und

Datenaktualisierungen wurden übernommen (siehe auch Kapitel Ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen).

Die Details sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Emissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und Emissionsfaktor des Stroms

Jahr	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung[1] [Mio. t]	Stromverbrauch[2] [TWh]	CO_2-Emissionsfaktor Strommix[3] [g/kWh]	Stromverbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos[4] [TWh]	CO_2-Emissionsfaktor Stromverbrauch[5] [g/kWh]	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo[6] [Mio. t]	THG-Emissionfaktor ohne Vorketten [g CO_2-Äquivalente /kWh]	THG-Emissionfaktor mit Vorketten [g CO_2-Äquivalente /kWh]	THG-Emissionen der Stromerzeugung [Mio. t CO_2-Äquivalente][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	736	828	347
1993	335	462	726	462	725	335	731	826	338
1994	335	464	722	467	718	337	728	821	338
1995	335	470	713	475	706	338	720	814	338
1996	336	490	685	485	692	332	692	784	339
1997	325	486	669	483	673	323	676	766	329
1998	329	491	671	490	672	329	678	770	333
1999	318	492	647	493	646	319	654	742	322
2000	327	507	644	510	640	329	651	739	330
2001	336	509	659	512	656	337	666	750	339
2002	338	517	654	524	646	343	661	743	342
2003	340	535	636	531	640	338	644	725	344
2004	333	541	616	538	619	332	624	702	337
2005	333	544	612	539	617	330	620	681	337
2006	340	561	606	544	625	330	614	677	344
2007	351	562	625	545	644	341	633	698	356
2008	327	563	581	543	602	316	589	652	332
2009	300	526	569	514	583	293	578	641	304
2010	313	562	557	547	573	305	566	640	318
2011	309	544	568	541	572	307	577	650	314
2012	319	560	571	539	592	308	580	652	325
2013	325	569	571	536	605	306	580	654	330
2014	311	559	557	525	593	292	566	639	316
2015	304	576	528	528	576	279	537	602	310

Jahr	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung[1] [Mio. t]	Stromverbrauch[2] [TWh]	CO_2-Emissionsfaktor Strommix[3] [g/kWh]	Stromverbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos[4] [TWh]	CO_2-Emissionsfaktor Stromverbrauch[5] [g/kWh]	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo[6] [Mio. t]	THG-Emissionfaktor ohne Vorketten [g CO_2-Äquivalente /kWh]	THG-Emissionfaktor mit Vorketten [g CO_2-Äquivalente /kWh]	THG-Emissionen der Stromerzeugung [Mio. t CO_2-Äquivalente][7]
1990	366	479	764	480	763	367	769	860	369
2016	303	581	522	530	572	277	531	595	309
2017	285	584	488	531	537	259	498	557	290
2018	271	573	472	525	516	248	481	538	276
2019	222	543	408	511	434	208	416	473	226
2020	187	513	364	494	378	180	373	429	191
2021	214	526	407	508	422	207	416	473	219
2022*	221	515	429	488	453	209	439	498	226
2023**	173	454	380	465	371	177	388	445	176

*vorläufig, ** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnung April 2024

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventares 1990-2023

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 Energiebilanz 2022. und des Statistischen Bundesamtes

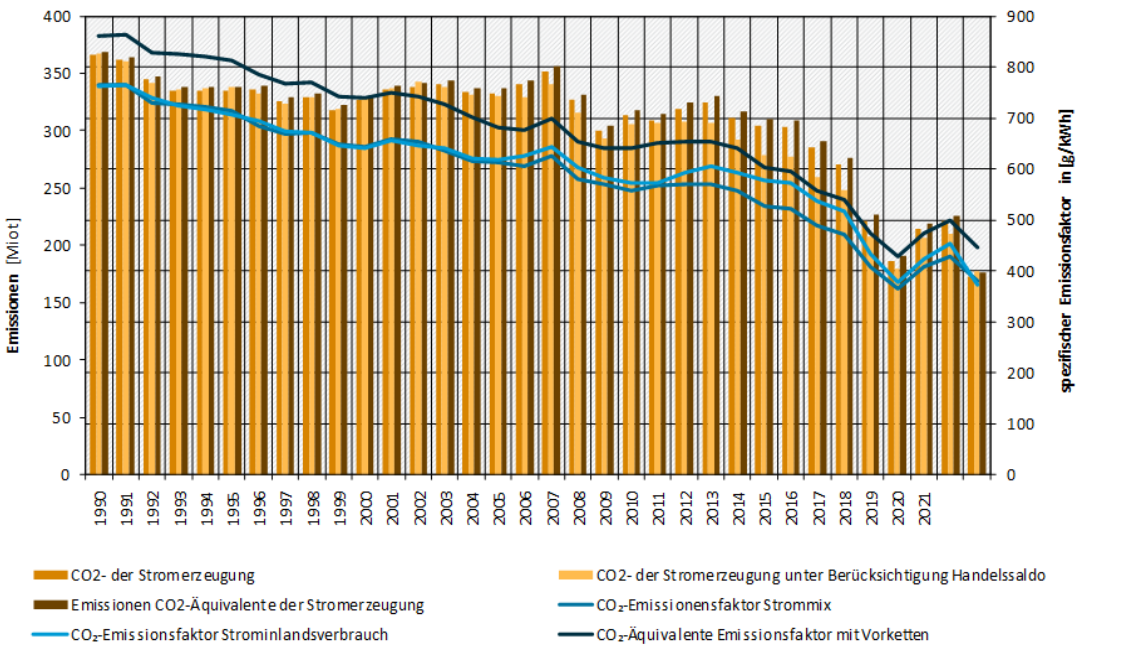
4 Stromverbrauch incl. Stromhandelssaldo =Bruttostromerzeugung (AGEB + AGEE-Stat) -Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom-Leitungsverluste + (Stromhandelssaldo Destatis)

5 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos (Destatis)

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

7 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung CH_4 und N_2O

Abbildung 1: Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommix 1990-2022 und erste Schätzungen 2023 im Vergleich zu Emissionen der Stromerzeugung



Jahr	Kohlendioxid-emissionen der Strom-erzeugung [Mio. t]	CO_2-Emissions-faktor Strommix [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeug-ung unter Berück-sichtigung Handelssaldo [Mio. t]	CO_2-Emissions-faktor Strominlands-verbrauch [g/kWh]	Emissionen Kohlendioxid-äquivalente der Strom-erzeugung [Mio. t]	CO_2-Äquivalente Emissions-faktor mit Vorketten [g/kWh]
1990	366	764	367	763	369	860
1991	361	764	361	765	364	864
1992	345	730	341	739	347	828
1993	335	726	335	725	338	826
1994	335	722	337	718	338	821
1995	335	713	338	706	338	814
1996	336	685	332	692	339	784
1997	325	669	323	673	329	766
1998	329	671	329	672	333	770
1999	318	647	319	646	322	742
2000	327	644	329	640	330	739
2001	336	659	337	656	339	750
2002	338	654	343	646	342	743
2003	340	636	338	640	344	725
2004	333	616	332	619	337	702
2005	333	612	330	617	337	681
2006	340	606	330	625	344	677
2007	351	625	341	644	356	698
2008	327	581	316	602	332	652
2009	300	569	293	583	304	641
2010	313	557	305	573	318	640
2011	309	568	307	572	314	650
2012	319	571	308	592	325	652
2013	325	571	306	605	330	654
2014	311	557	292	593	316	639
2015	304	528	279	576	310	602
2016	303	522	277	572	309	595
2017	285	488	259	537	290	557
2018	271	472	248	516	276	538
2019	222	408	208	434	226	473
2020	187	364	180	378	191	429
2021	214	407	207	422	219	473
2022*	221	429	209	453	226	498
2023**	173	380	177	371	176	445

* vorläufig ** geschätzt

2 Methode zur Berechnung

Eine Aktualisierung der Emissionsfaktoren in den Treibhausgasinventaren für „sonstige Gase“ führt 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 CO_2-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

Der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix wird berechnet aus den direkten CO_2-Emissionen, die bei der gesamten Stromerzeugung entstehen, und dem für den Endverbrauch netto zur Verfügung stehenden Strom aus der Stromerzeugung in Deutschland.

$$Emissionsfaktor = \frac{\text{direkte CO2-Emissionen}}{\text{Stromverbrauch}}$$

Die für die Berechnung zugrunde gelegten CO_2-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 der Erneuerbaren Energien auf der Grundlage von der AGEE-Stat ermittelt.

2.2 CO_2-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix

Der Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix wird berechnet aus den direkten CO_2-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.

$$Emissionsfaktor\ Inlandsverbrauch = \frac{\text{direkte CO2-Emissionen}}{\text{Stromverbrauch} - \text{Stromhandelssaldo}}$$

2.3 CO_2-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

Der Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos wird iterativ berechnet. Die direkten CO_2-Emissionen, die bei der Stromerzeugung entstehen (I), werden korrigiert um den Wert des mit dem Emissionsfaktor für den deutschen Strommix bewerteten Stromhandelssaldos (IV).

$$Emissionsfaktor\ unter\ Berücksichtigung\ des\ Handelssaldos = \frac{\text{direkte CO2-Emissionen} - (\text{Stromhandelssaldo*Emissionsfaktor})}{\text{Stromverbrauch} - \text{Stromhandelssaldo}}$$

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 CO_2-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 (4) .

Die dem Inventar zugrunde gelegten Emissionsfaktoren wurden aus der Liste der „CO_2-Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen CO_2-Inventare“ abgeleitet. Eine nähere Beschreibung der Methodik zur Ableitung der Emissionsfaktoren findet sich im nationalen Inventarbericht (5) Anhang 3 weist die für die Berechnung zugrunde gelegten Emissionsfaktoren aus (5) und (6). 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) (7) 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.

Direkte CO_2-Emissionen (ohne Vorketten) aus erneuerbaren Energien werden gemäß Bilanzierungsregeln des UNFCCC zur Treibhausgasberichterstattung unter dem Kyoto-Protokoll als CO_2-neutral bilanziert und gehen in die Berechnung der Emissionen mit dem Wert „0“ein.

Die direkten 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.

$$\textit{Emissionen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos} = \text{Emissionen laut ZSE} - (\text{Stromhandelssaldo} * \text{Emissionsfaktor})$$

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 2023 nach Energieträgern" welche im Auftrag des BMWK erarbeitet und auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. veröffentlicht wird (8). Für die Erneuerbaren Energien wurde ab 2018 auf die von der AGEE-Stat berechneten und beim BMWK veröffentlichten Daten zur Stromerzeugung Bezug genommen. Gleiches gilt für den Außenhandelssaldo (9) und (10).

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 (11) und (12).

Die Pumparbeit (Pumpstromverbrauch) der Wasserspeicherkraftwerke ist ab 2018 aus den Monatsberichten des Statistischen Bundesamtes zugrunde gelegt worden (10).

$$\textit{Strommenge Endverbrauch} = \text{Bruttostromerzeugung} - \text{Kraftwerkseigenverbrauch} - \text{Leitungsverluste} - \text{Pumparbeit}$$

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 CO_2-Faktor angewendet werden kann.

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

2.8 THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix

Bei der Ermittlung des Treibhausgas (THG)-Emissionsfaktors des deutschen Strommix wird die Berechnung um die Treibhausgase Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (Lachgas, N_2O) erweitert. Die entsprechenden Emissionen für die Stromerzeugung werden aus der Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes abgeleitet.

$$direkter\ THG - Emissionsfaktor = \frac{\text{direkte CO2 Äq.-Emissionen}}{\text{Stromverbrauch}}$$

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 (CO_2) bezieht. Das Treibhausgaspotential gibt an, welche Menge an CO_2 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 CO_2-Äquivalent (CO_2-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 können.

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

Grundlage für die Berechnung eines THG-Emissionsfaktors des Strommix, welcher die vorgelagerten Emissionen der jeweiligen Energieträger berücksichtigt, ist die Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (UBA 2023). 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 3.

Tabelle 3: CO_2 und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette für das Jahr 2023(geschätzt)

Indikator	Schadstoff	Einheit	2023
Direkter CO_2-Emissionsfaktor des Stromverbrauchs	CO_2	g/kWh	380
Direkter THG - Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs	CO_2-Äquivalente	g/kWh	388
CO_2-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen	CO_2	g/kWh	414
THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen	CO_2-Äquivalente	g/kWh	445

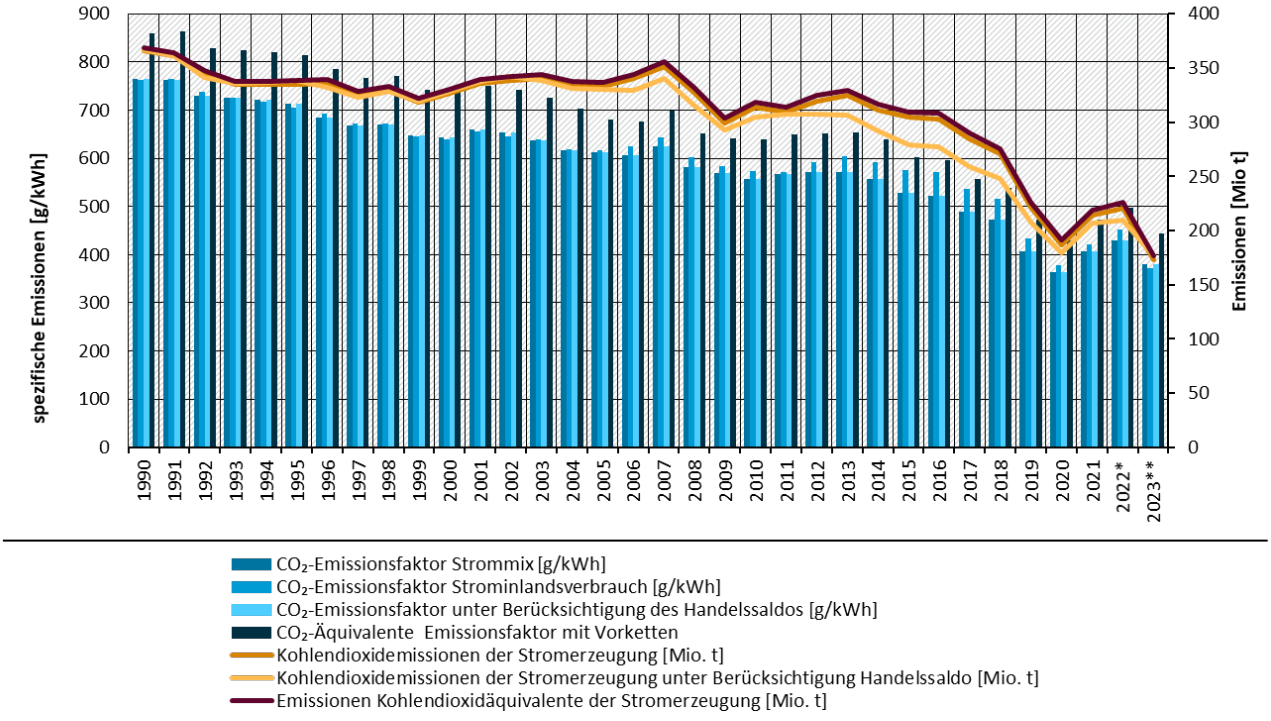
Quelle: UBA, Datenstand März 2024

3 Entwicklung der Emissionsfaktoren des deutschen Strommix

Die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos einer Kilowattstunde Strom (Spezifischer Emissionsfaktor) sinken in den Jahren 1990 bis 2021 von 764 g CO_2/kWh auf 407 g CO_2/kWh (siehe Tabelle 1: Entwicklung: Emissionsfaktor für den deutschen Strommix). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 47 % pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2022 und 2023 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2022 weisen einen Anstieg auf 429 g CO_2/kWh aus, während für 2023 auf der Grundlage von geschätzten Daten 380 g CO_2/kWh ermittelt werden.

Die Entwicklung bis zum Jahr 2020 ist insbesondere durch die Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung erklärbar, welcher zudem durch die coronabedingte konjunkturelle Abkühlung im selben Jahr auf einen Wert von ca. 45% an der Bruttostromerzeugung gestiegen ist. Im Jahr 2022 und 2023 ist eine verringerte Stromerzeugung zu verzeichnen. Diese Entwicklung wird von einer wirtschaftlichen Stagnation und in 2022 einer vergleichsweise geringen witterungsbedingten Stromerzeugung aus Wind sowie einem Preisanstieg für Gas zum Ende des Jahres dominiert. Im Jahr 2023 war eine weitere Senkung der Stromerzeug zu beobachten. Ursache war das sehr geringen wirtschaftlichen Wachstums und die Abschaltung der Kernkraftwerke. Durch diese Entwicklungen und eine hohen Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien von 272 Mrd. kWh erhöhte sich der der Anteil der Erneuerbaren Energien auf über 53 %an der Bruttostromerzeugung. (9). Parallel dazu wurde in Deutschland zum ersten Mail seit 2002 mehr Strom importiert als exportiert.

Abbildung 2: Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs im Vergleich



2022* vorläufig, 2023** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2024

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

Die Anteile einzelner Brennstoffe an der Stromerzeugung, dem sogenannten Strommix (Abbildung 4):

Sinkt der Anteil eines Energieträgers mit hohem CO_2-Emissionsfaktor, wie Braun- oder Steinkohle, zu Gunsten eines Energieträgers mit niedrigerem CO_2-Emissionsfaktor, wie eines erneuerbaren Energieträgers (Null angerechnete CO_2-Mengen) oder Erdgas, so sinkt auch der Emissionsfaktor des Strommix. Tabelle 4 zeigt die direkten Emissionsfaktoren der drei wichtigsten fossilen Brennstoffe im Vergleich zum Emissionsfaktor des deutschen Strommix gesamt.

Tabelle 4: CO_2-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO_2-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2023*

	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	202	52	392	
Steinkohle	338	39	860	380
Braunkohle	407	36	1.120	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2024, *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. (4) Diese rechnerische Methode führt zu Verschiebungen, besonders im Bereich der Stromerzeugung durch Erdgas.

Tabelle 5: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung[1]

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%	51%	40%
2004	43%	38%	49%	41%
2005	42%	38%	52%	41%
2006	40%	38%	51%	41%
2007	41%	38%	52%	41%
2008	41%	38%	53%	42%
2009	41%	38%	52%	42%
2010	42%	38%	54%	43%
2011	42%	38%	55%	44%
2012	42%	39%	56%	45%
2013	41%	39%	57%	45%
2014	41%	39%	57%	45%
2015	43%	39%	57%	47%
2016	43%	39%	57%	48%
2017	44%	39%	57%	49%
2018	44%	39%	56%	50%
2019	44%	40%	56%	52%
2020	44%	39%	56%	53%
2021	44%	40%	56%	52%
2022*	43%	40%	57%	54%
2023**	42%	40%	58%	59%

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2024, * vorläufig, ** geschätzt

[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 3). 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 CO_2-Emissionsfaktors. Ab dem Jahr 2008 setzte sich die Verminderung des CO_2-Emissionsfaktors im deutschen Strommix aufgrund des weiter steigenden Anteils erneuerbarer Energien fort. Diese Wirkung wird im Jahr 2009 aufgrund geringerer Stromverbräuche ausgelöst durch die Wirtschaftskrise verstärkt. Mit der Folge, dass der CO_2-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix nach der wirtschaftlichen Erholung durch den sich erhöhenden Stromverbrauch und der Änderungen im Strommix durch die Energiewende in den Folgejahren wieder leicht ansteigt.

Ab 2014 ergibt sich trotz Anstieg des Stromverbrauchs auf Grund der gleichzeitig erhöhten Anteile von CO_2-freier bzw. CO_2-armer Stromerzeugung und einer Verbesserung des Brennstoffausnutzungsgrades bei neu in Betrieb gegangen fossilen Kraftwerken eine Senkung des spezifischen CO_2-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 weiter 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 CO_2-Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Diese Entwicklung findet im Jahr 2020 vorläufig ihren Höhepunkt. Verbunden mit der coronabedingte konjunkturellen Abkühlung fällt der spezifische CO_2-Emissionsfaktor auf seinen bisher geringsten Wert.

Ab dem Jahr 2021 steigt der spezifische Emissionsfaktor wieder. Aufgrund der wirtschaftlichen Erholung nach dem ersten Pandemiejahr und der gleichzeitigen Verteuerung des Gaspreises infolge des russischen Angriffskrieges in der Ukraine wird wieder verstärkt Kohle zur Stromerzeugung verwendet. Dieser Effekt beschleunigt sich noch einmal im Jahr 2022, wozu auch die Entwicklung der Kernenergie beiträgt (vgl. Abbildung 4). In 2023 wird in Deutschland erstmals seit 2002 wieder mehr Strom importiert als exportiert. Die Emissionen der importierten Strommengen wird den stromerzeugenden, ausländischen Erzeugerländern zugerechnet und geht somit nicht in die deutschen Emissionsberechnung ein.

Entsprechend der Annahme, dass die in Deutschland durch die Stromerzeugung verursachten Emissionen dem deutschen Strommix zuzurechnen sind, werden beim Ansatz des „CO_2-Emissionsfaktors für den Strominlandsverbrauch“ die Emissionen nicht korrigiert. Dies führt zu einer Bewertung des Stromhandelsimports mit den CO_2-Emissionsfaktoren, die für das Inland berechnet wurden. Diese Methode ist im Sinne einer konservativen Berechnung des „Spezifischen Kohlendioxidemissionsfaktors im Inland“ angemessen. Bei einem Stromhandelsimportüberschuß wird dadurch die anzurechnende Menge Kohlendioxid an einer tatsächlich verbrauchten Kilowattstunde Strom unterschätzt.

Abbildung 3: Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromaustauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland

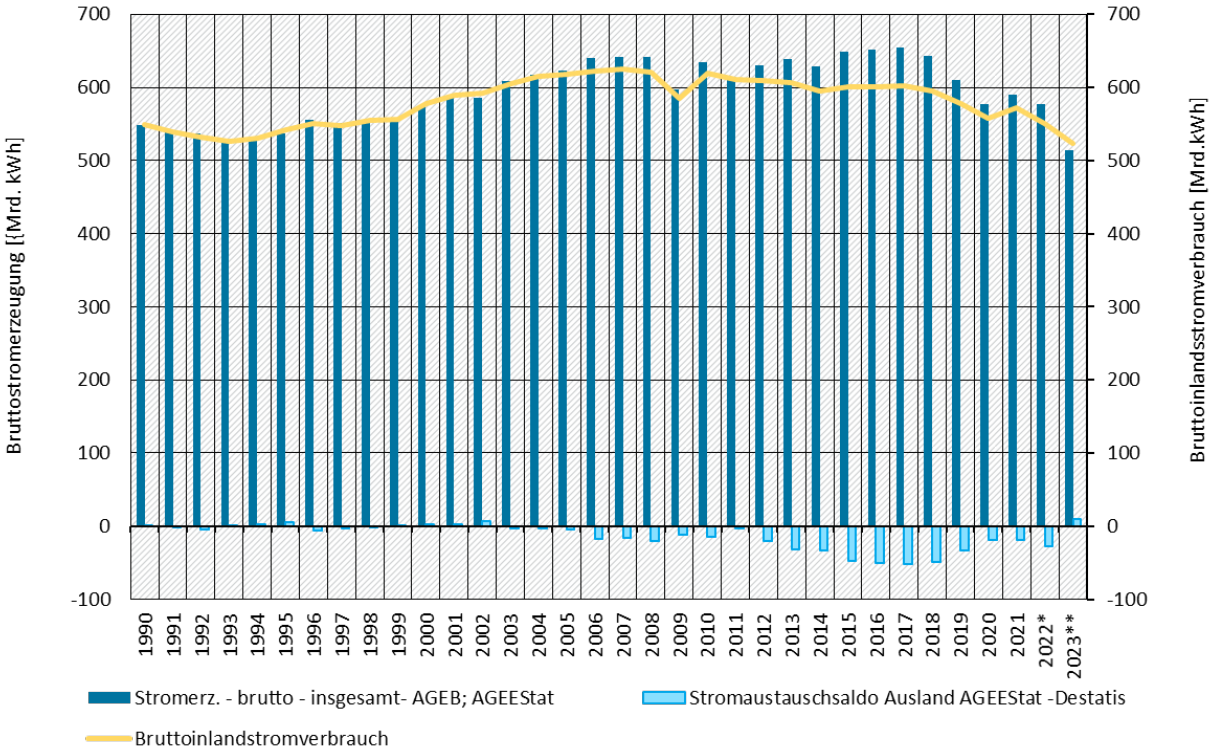
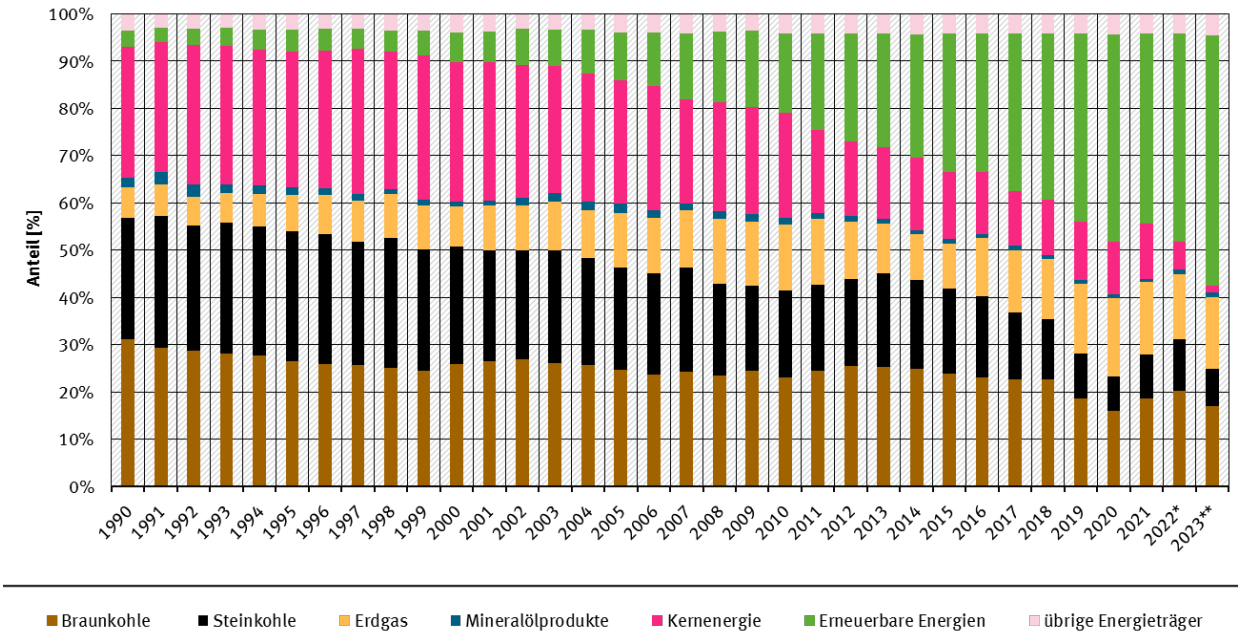


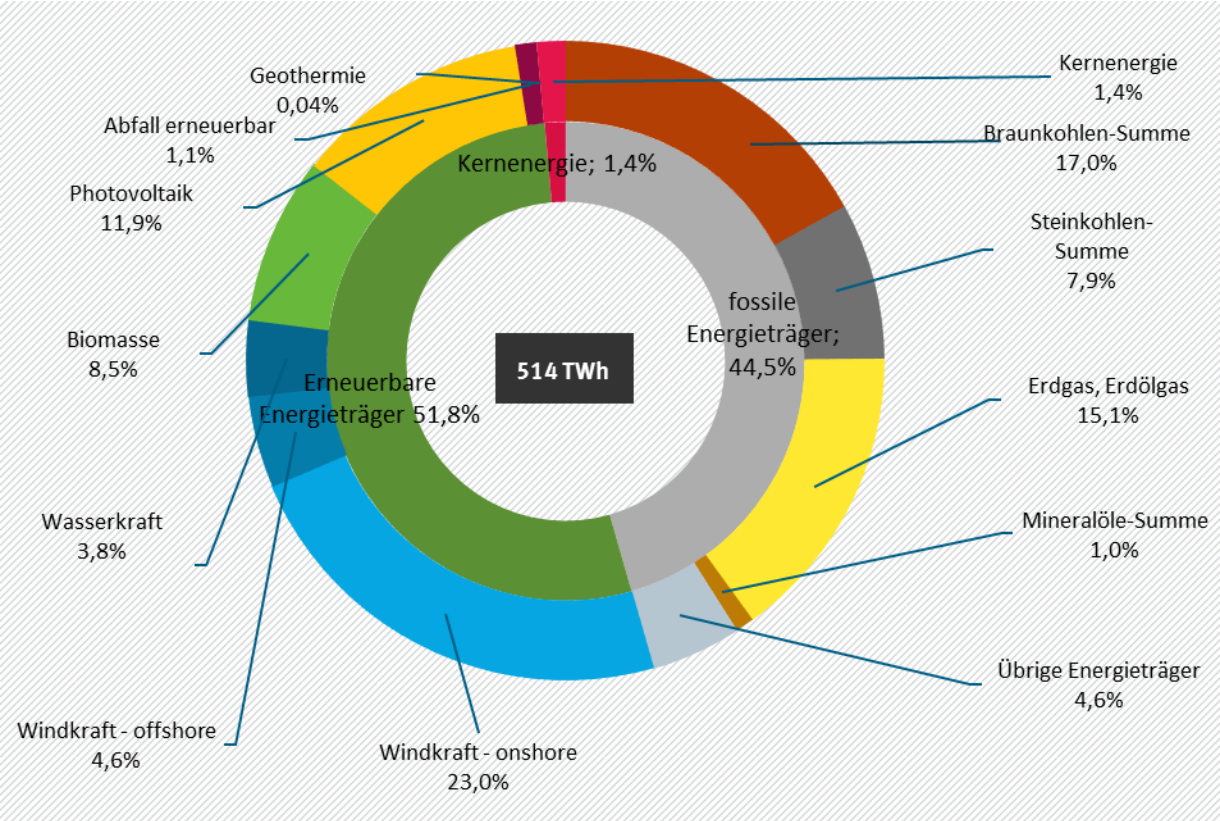
Abbildung 4: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“



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

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis von AGEB und AGEE-Stat Stand März 2024

Abbildung 5: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2023*



* vorläufig z.T. geschätzt

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis von AGEB und AGEE-Stat Stand März 2024

Es lässt sich festhalten, dass ab dem Jahr 1999 die Bedeutung erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung im deutschen Strommix deutlich zunimmt. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms an der Bruttostromerzeugung zwischen 1998 und 2022 von ca. 4,8% auf ca. 45 %. um 2023 weiter auf ca. 53 % anzusteigen.

Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen per Definition keine direkten CO_2-Emissionen und insbesondere Wind und PV nur geringe vorgelagerte Emissionen verursachen, sinkt mit ihrer Zunahme der Emissionsfaktor für den Strommix. Überlagert wird dieser 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.

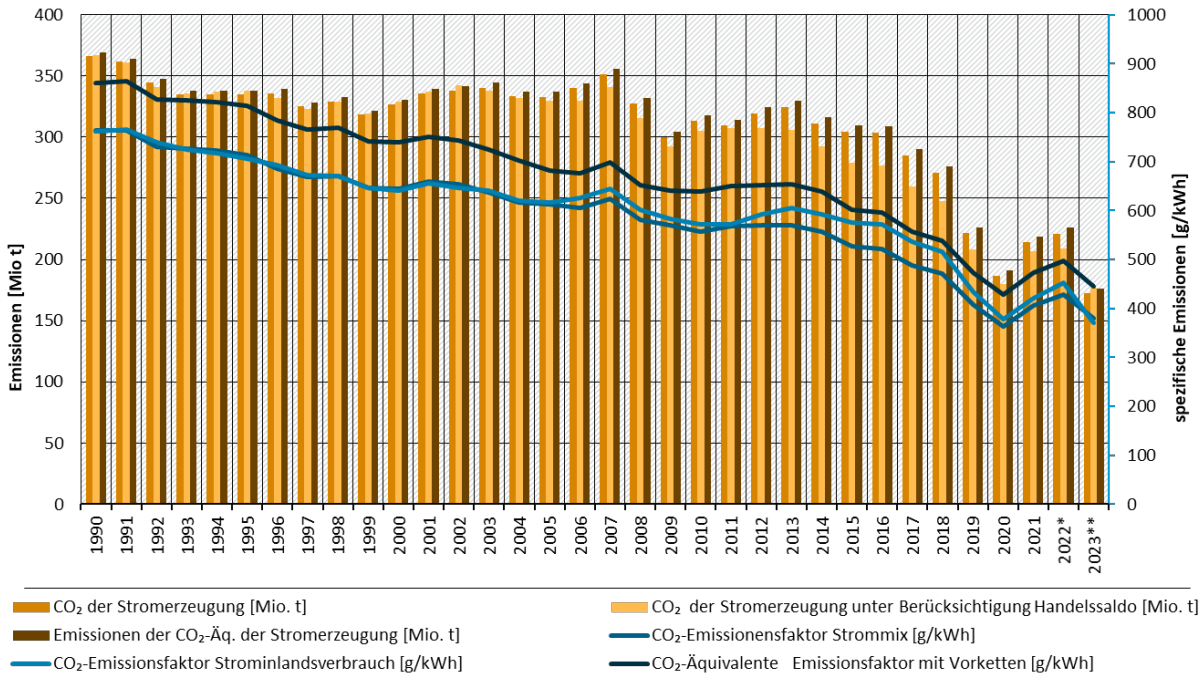
In den Jahren 2013 und 2014 haben auch die Änderungen bei den Brennstoffpreisen (höhere Preise für Erdgas) und der damit einhergehende höhere Einsatz von Brennstoffen mit höherem Kohlenstoffgehalt den Strommix beeinflusst. Dieser Trend hat sich 2016 zu Gunsten des Erdgases vorläufig umgekehrt. Insbesondere seit Mitte des Jahres 2021 führten die gestiegenen Erdgaspreise und die Auswirkungen des russischen Angriffskrieges in der Ukraine dazu, dass wieder vermehrt Kohle zur Stromerzeugung eingesetzt wurde. Begleitet werden diese Entwicklungen von dem im April 2023 abgeschlossenen Kernenergieausstieg. (Abbildung 4).

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 mit wechselnden Vorzeichen betrachtet werden.

Die bisherige Entwicklung des in Summe sinkenden Trends von 764 g CO_2/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 407 g CO_2/kWh im Jahr 2021 ist positiv zu bewerten. Für 2022 hat das UBA auf der Grundlage vorläufiger Daten „Spezifischen Kohlendioxid -Emissionsfaktor" von 429 g/kWh errechnet und für 2023 wird ein Wert von 380 g/kWh geschätzt. Für die Spezifischen Emissionen der Kohlendioxidäquivalente ohne Vorketten für 2022 beträgt der Wert 439 g/kWh und 388 g/kWh für 2023. Berücksichtigt man zusätzlich die Vorketten-Emissionen der Stromerzeugung ergeben sich 498 g/kWh CO_2-Äquivalente für 2022 und für 2023 vorläufig 445 g/kWh (vgl. Abbildung 6). Der für 2023 ausgewiesene gesunkene Wert wird stark durch den Wegfall der Stromexportüberschüsse sowie den Stromimportüberschuss beeinflußt, dessen Emissionen bei der Erzeugung nicht dem deutschen Strommix zugerechnet werden. Er stellt keine nachhaltige Senkung der Emissionen durch technische und verbrauchsorientierte Änderungen innerhalb Deutschlands dar.

Abbildung 6: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (unter Beachtung des Stromhandelssaldos)



* vorläufig, ** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2024

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 führt der wieder gesunkene Stromverbrauch sowie der weitere Anstieg der

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu einer Verringerung der absoluten und spezifischen CO_2-Emissionen.

Für 2017 wird trotz leicht gestiegenem Stromverbrauch eine Verringerung der Emissionen der Stromerzeugung und der spezifischen CO_2-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 bis zum Jahr 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. Der Trend wird zudem durch die Corona Pandemie und die damit eingehende Reduktion der Stromnachfrage verstärkt.

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 wird diese Entwicklung durch die gestiegenen Erdgaspreise, wodurch vermehrt Kohle zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Mit Beginn des russischen Angriffskrieges in der Ukraine im Jahr 2022 verstärkt sich die Entwicklung noch einmal, wozu auch die Entwicklung der Kernenergie beiträgt

Der stetig von 2004 bis 2017, mit Ausnahme des Jahres 2011, wachsende Stromhandelsexport-Überschuss führt zu einem steigenden Anteil der CO_2-Emissionen, welche nicht dem im Inland verbrauchten Strom zuzuordnen sind. Dieser Effekt kehrt sich 2023 um und führt zu einem Anteil der Emissionen aus der (ausländischen) Stromerzeugung, die nicht dem deutschen Strommix angerechnet wird. Entsprechend der internationalen Berichtskonventionen sind Emissionen in dem Land zu bilanzieren, wo sie entstehen (Verursacher-/Quellenprinzip). Dies führt zu einer methodenbedingten Verzerrung des spezifischen CO_2-Faktors für den in Deutschland verbrauchten Strom.

Für das Erreichen der Klimaziele ist es notwendig, dass die absoluten Kohlendioxidemissionen aus 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 und der Ausbau der Kraft-Wärmekopplung sowie die Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung. Allem voran ist der sparsame Umgang mit Strom ein wichtiges Mittel für die Kohlendioxidreduzierung. .Die Reduzierung des spezifischen Emissionsfaktors durch die die nicht angerechneten Emissionsmengen durch die Importhandelsüberschuss sind deshalb nicht automatisch als Beitrag zum Klimaschutz zu werten.

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 Energiebilanzen der Jahre 2003 – 2021 wurden im Jahr 2023 einer Revision durch die Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen (AGEB) unterzogen. Diese revidierten Energiebilanzen mit Stand November 2023 wurden seitens der AGEB auf der Website der AGEB veröffentlicht. Informationen zum Vorgehen können bei der Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen nachgelesen werden. Die Energiebilanz 2022 wurde bereits mit der überarbeiteten Methode zur Berechnung der Revisionen erstellt. (11) Die Aktualisierungen zu Berechnungen der Emissionen aus Abfällen und Sekundärbrennstoffen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NID) dokumentiert (6).

Die Daten zur Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sind auf der Internetseite der AGEE–Stat veröffentlicht. (9)

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 (10).

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. **IPCCC.** Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhous Gas Inventories.* [Online] fortlaufend. [Zitat vom: 20. 04 2015.] https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/.

2. **Umweltbundesamt.** Emisionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emisisonen im Jahr 2022. [Online] Umweltbundesamt - UBA, Dezember 2023. [Zitat vom: 20. 03 2024.] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2022.

3. —. *Zentrales System der Emissionen (ZSE).* [eigene Datenbank] Dessau : Umweltbundesamt , 2024.

4. **Tagesfragen, Energiewirtschaftliche.** Allokationsmethoden für spezifische CO2-Emissionen in KWK-Anlagen. *Allokationsmethoden CO21.* [Online] Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Seite 12 ff. Heft 9 2010. [Zitat vom: 10. 03 2024.] https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2022/10/ET_Allokationsmethoden_CO21.pd.

5. **Umweltbundesamt.** Climate Change Nationaler Inventarbericht Deutschland 2022. [Online] Umweltbundesamt, 13. 03 2024. [Zitat vom: 20. 03 2024.] https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/govreg/inventory/envzfm0va/DE_NID_2024_clean_13.03.2024_de.pdf.

6. **Ökoinstitut und Umweltbundesamt.** Nationaler Inventarbericht 2004 -Emissionsfaktoren zur Erstellung der nationalen Inventare. *Kapitel 13.8.* [Online] Umweltbundesamt; Ökoinstitut, 30. April 2004. [Zitat vom: 20. 03 2024.] http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/deu_2004_nir_30apr.zip.

7. **Statistisches-Bundesamt.** *Fachserie 19 Reihe 1 -Destatis.* [Statistik aus eigener Datenbank] Wiesbaden : Statistisches Bundesamt , 2024.

8. **AGEB, Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V -.** Strommix- AGEB e.V. *Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V.* [Online] 15. 02 2024. [Zitat vom: 09 - unveröffentlicht. 02 2024.] https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/04/STRERZ_Abg_02_2024_korr.xlsx.

9. **AGEEStat, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien -Statistiken.** Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. *Tabelle 3 - Brurrostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990 - 2023.* [Online] AGEEStat, Februar 2024. [Zitat vom: 24. 03 2024.] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/agee_stat-zeitreihen_zur_entwicklung_der_erneuerbaren_energien_in_deutschland_deu_uba.xlsx.

10. **Bundesamt-destatis, Statistische.** Monatserhebung der Elektrizitätsversorgung - Code 43311-0003. *destatis - genisis -Datenbank.* [Online] Statistisches Bundesamt, März 2024. [Zitat vom: 20. 03 2024.] https://www.genesis.destatis.de/genesis/onlinehttps://www genesis.destatis.de/genesis/online/logon?language=de&sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=43311-0003.

11. **AGEB, Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V. -.** Umfassende Revision der Energiebilanzen 2003 - 2021 abgeschlossen. *Iinfoplus.* [Online] März 2024. [Zitat vom: 20. 03 2024.] https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/11/AGEB_InfoAusgabe-3-2023.pdf.

12. **AGEB, Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V -.** AG-Energiebilanzen e.V. *Energiebilanz 2022.* [Online] AGEB, Februar 2024. [Zitat vom: 16. 03 2024.] https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/03/EBD22e.xlsx.

13. **Umweltbundesamt -Energiedaten.** Datenbank "Kraftwerke in Deutschland". [Online] Umweltbundesamt, 01 laufend aktualisiert. 03 2024. [Zitat vom: 10. 03 2024.] https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland.

14. **Erneuerbare Energien in Deutschland 2023. *Erneuerbare Energien.* [Online] AGEEStat, 27. 03 2024. [Zitat vom: 29. 03 2024.] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-2023.**

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	25	7	8	18	340
2004	165	111	25	8	7	17	333
2005	162	109	28	8	8	18	333
2006	159	116	30	7	9	19	340
2007	164	118	30	7	10	23	351
2008	158	102	34	7	8	19	327
2009	153	89	31	7	8	13	300
2010	151	95	33	6	8	20	313
2011	156	91	31	5	9	18	309
2012	166	94	27	5	9	18	319
2013	163	104	24	5	9	20	325
2014	159	97	22	4	10	19	311
2015	157	92	22	4	9	20	304
2016	153	88	28	4	10	20	303
2017	151	70	30	4	9	20	285
2018	147	62	29	4	9	19	271
2019	115	44	32	4	9	18	222
2020	93	33	34	3	9	14	187
2021	111	41	32	3	8	18	214
2022*	115	50	29	4	8	15	221
2023**	86	32	28	3	8	14	173

* vorläufige Daten, ** geschätzte Daten, Rundungen können zu abweichenden Summen führen
Quelle: Umweltbundesamt, ZSE; März 2024

B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

Jahr	Kern-energie [Mrd. kWh]	Steinkohle [Mrd. kWh]	Braunkohle [Mrd. kWh]	Erdgas [Mrd. kWh]	Mineralöl-produkte [Mrd. kWh]	Wasserkraft [Mrd. kWh]	Wind-energie [Mrd. kWh]	Biomasse [Mrd. kWh]	Photovoltaik [Mrd. kWh]	Geothermie [Mrd. kWh]	Müll [Mrd. kWh]	übrige Energieträger [Mrd. kWh]	Pumpstrom [Mrd. kWh]	Stromver-brauch insgesamt [Mrd. kWh]	Einfuhr [Mrd. kWh]	Ausfuhr [Mrd. kWh]	Strom-handels-saldo [Mrd. kWh]
1990	135	124	151	32	10	15	0	0	0	1	0,0	17	5	**479**	32	31	1
1991	131	133	140	32	13	13	0	0	0	1	0,0	14	5	**473**	30	31	-1
1992	141	126	137	29	12	15	0	0	0	1	0,0	14	5	**472**	28	34	-5
1993	136	130	131	29	9	16	1	0	0	1	0,0	14	5	**462**	34	33	1
1994	134	128	130	32	9	18	1	1	0	1	0,0	15	5	**464**	36	34	2
1995	137	130	126	36	8	19	1	1	0	1	0,0	16	6	**470**	40	35	5
1996	144	136	129	41	7	20	2	1	0	1	0,0	15	6	**490**	37	43	-5
1997	152	128	127	43	7	16	3	1	0	1	0,0	16	6	**486**	38	40	-2
1998	144	137	124	45	6	15	4	1	0	1	0,0	17	5	**491**	38	39	-1
1999	152	128	122	46	6	18	5	2	0	2	0,0	18	5	**492**	41	40	1
2000	151	128	132	44	5	19	9	3	0	2	0,0	20	6	**507**	45	42	3
2001	151	122	136	49	5	20	9	3	0	2	0,0	19	6	**509**	43	45	-1
2002	147	120	141	50	8	21	14	4	0	2	0,0	16	6	**517**	46	46	1
2003	147	130	141	56	9	16	17	6	0	2	0,0	18	8	**535**	49	52	-3
2004	149	125	141	56	9	18	23	8	1	2	0,0	18	9	**541**	48	51	-3
2005	145	119	137	64	11	17	25	10	1	3	0,0	21	10	**544**	57	61	-5

Jahr	Kern-energie [Mrd. kWh]	Steinkohle [Mrd. kWh]	Braunkohle [Mrd. kWh]	Erdgas [Mrd. kWh]	Mineralöl-produkte [Mrd. kWh]	Wasserkraft [Mrd. kWh]	Wind-energie [Mrd. kWh]	Biomasse [Mrd. kWh]	Photovoltaik [Mrd. kWh]	Geothermie [Mrd. kWh]	Müll [Mrd. kWh]	übrige Energieträger [Mrd. kWh]	Pumpstrom [Mrd. kWh]	Stromver-brauch insgesamt [Mrd. kWh]	Einfuhr [Mrd. kWh]	Ausfuhr [Mrd. kWh]	Strom-handels-saldo [Mrd. kWh]
2006	149	123	135	67	10	18	28	14	2	3	0,0	23	9	**561**	48	65	-17
2007	125	127	138	69	9	19	36	18	3	4	0,0	24	9	**562**	46	63	-17
2008	132	111	134	79	8	18	37	21	4	4	0,0	22	8	**563**	42	62	-20
2009	121	97	130	72	9	17	35	25	6	4	0,0	19	8	**526**	42	54	-12
2010	127	105	131	80	8	19	35	27	11	4	0,0	24	9	**562**	43	58	-15
2011	97	101	135	77	6	16	45	30	18	4	0,0	23	8	**544**	51	55	-4
2012	90	105	145	68	7	20	47	36	24	4	0,0	23	8	**560**	46	67	-21
2013	88	115	145	60	6	21	48	38	28	5	0,1	24	8	**569**	39	71	-32
2014	88	107	141	55	5	18	53	40	32	5	0,1	24	8	**559**	40	74	-34
2015	83	106	139	55	5	17	73	42	34	5	0,1	25	8	**576**	37	85	-48
2016	77	101	135	73	5	19	72	42	34	5	0,2	25	7	**581**	28	79	-51
2017	69	84	134	78	5	18	96	42	35	5	0,2	25	8	**584**	28	80	-52
2018	69	75	132	74	5	16	99	42	40	6	0,2	25	8	**573**	32	80	-49
2019	68	52	103	81	4	18	114	42	41	5	0,2	23	8	**543**	40	73	-33
2020	58	39	83	86	4	17	120	43	45	5	0,2	22	9	**513**	48	67	-19
2021	63	49	100	82	4	18	103	42	46	5	0,2	22	7	**526**	52	70	-19
2022*	31	58	105	72	5	16	113	42	55	5	0,2	22	8	**515**	49	77	-27

Jahr	Kern-energie [Mrd. kWh]	Steinkohle [Mrd. kWh]	Braunkohle [Mrd. kWh]	Erdgas [Mrd. kWh]	Mineralöl-produkte [Mrd. kWh]	Wasserkraft [Mrd. kWh]	Wind-energie [Mrd. kWh]	Biomasse [Mrd. kWh]	Photovoltaik [Mrd. kWh]	Geothermie [Mrd. kWh]	Müll [Mrd. kWh]	übrige Energieträger [Mrd. kWh]	Pumpstrom [Mrd. kWh]	Stromver-brauch insgesamt [Mrd. kWh]	Einfuhr [Mrd. kWh]	Ausfuhr [Mrd. kWh]	Strom-handels-saldo [Mrd. kWh]
2023**	6	37	78	70	4	18	128	39	55	5	0,2	21	7	**454**	70	59	12

* 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!).
Quelle: Umweltbundesamt, eigene Berechnungen, Rundungen können zu Abweichungen führen; Stand März 2024

C Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material	[kg CO_2/TJ]
Andere Mineralölprodukte	82075
Braunkohlenbriketts	98090
Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle	97356
Deponiegas	111396
Dieselkraftstoff	74027
Erdgas	56221
Flüssiggas	66334
Gicht- u. Konvertergas	276498
Grubengas	68118
Hartbraunkohle	94020
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91510
Heizöl, leicht	74020
Heizöl, schwer	79542
Industriemüll fossil	71133
Klärgas	104894
Kokerei-/Stadtgas	40855
Petrolkoks	99617
Raffineriegas	57341
Rohbraunkohle Helmstedt	111062
Rohbraunkohle Hessen	103153
Rohbraunkohle Lausitz	113097
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	86222
Rohbraunkohle Rheinland	82989
Rückstände Papierindustrie, fossil	1770 kg/1000m³
Sonderabfall	94326
Sonstige hergestellte Gase	95913
Steinkohle	108570
Steinkohlenbriketts	95913
Steinkohlenkoks	107846

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE aktuell Stand März 2024