

CLIMATE CHANGE

13/2025

Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2024

von

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

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 13/2025

Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2024

von

Petra Ichá, 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:

März 2025

Redaktion:

Fachgebiet V 1.5 Energiedaten
Petra Icha

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7844>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, April 2025

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 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 – 2024. Die Daten für die Erneuerbaren Energien werden von 1990 – 2024 von der Arbeitsgemeinschaft AGEE - Stat bereitgestellt..

Änderungen durch Neuberechnungen der Quellen (Energiebilanzen, Bruttostromerzeugung, Emissionsfaktoren) werden – soweit sie zum Zeitpunkt der Aktualisierung veröffentlicht waren – berücksichtigt.

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 einen Importüberschuß im Saldo in Höhe 9,2 TWh ausgewiesen. Dies entspricht 4,5 Mio t Kohlendioxid, die nach den internationalen Bilanzierungsregeln nicht der deutschen Stromerzeugung zugerechnet werden, da sie in anderen berichtspflichtigem Ländern entstehen. Damit vollzog sich ein Wechsel vom Stromexporteur zum Stromimporteur in der Jahressumme. Der Trend des Überschusses an importierten Strom setzt sich in 2024 mit 24,4 TWh fort.

Der Entwicklungstrend ist im Jahr 2021 geprägt durch die konjunkturelle Erholung nach den Folgen des Corona-Pandemie Jahres 2020. Seit dem Jahr 2022 wird der Strommix in Deutschland wesentlich beeinflusst durch die Auswirkungen des russischen Angriffskrieges in der Ukraine. Zwar kommt es aufgrund der daraus resultierenden Knappheit an kostengünstigem Gas zu einer Reduktion des Stromverbrauchs, dieser wurde jedoch vermehrt durch die emissionsintensive Kohle und Importe von Flüssiggas gedeckt. Die Abschaltung der letzten Atomkraftwerke führte in 2022 und 2023 zu einem vermehrten Einsatz emissionsintensiverer Braun- und Steinkohlen zur inländischen Stromerzeugung. In 2023 wurde erstmalig seit 2002 wieder mehr Strom importiert als exportiert. Durch einen sinkenden (2022 zu 2023) bzw. stagnierenden Stromverbrauch (2023 - 2024) und die stetig steigende Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien kann der spezifische Emissionsfaktor für den deutschen Strommix weiter reduziert werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungen	8
1 Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix.....	9
1.1 Treiber für die Entwicklung des CO ₂ -Emissionsfaktors für den Strommix	10
1.2 Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix	10
1.3 CO ₂ -Emissionsfaktor inkl. Vorketten-Emissionen für den deutschen Strommix	10
1.4 Gesamtübersicht.....	11
2 Methode zur Berechnung.....	15
2.1 CO ₂ -Emissionsfaktor für den deutschen Strommix	15
2.2 CO ₂ -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix	15
2.3 CO ₂ -Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos.....	15
2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung.....	15
2.5 Kohlendioxidemissionen der inländischen Stromerzeugung.....	17
2.6 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung.....	17
2.7 Inländischer Stromverbrauch.....	18
2.8 THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix.....	18
2.9 Vorketten für den THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix.....	18
3 Entwicklung der Emissionsfaktoren des deutschen Strommix	21
4 Zusammenfassung.....	29
5 Ergänzende Hinweise zu den Datengrundlagen.....	31
6 Quellenverzeichnis	32
B Anhang 1: CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio. t.....	33
C Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch	35
D Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich.....	14
Abbildung 2:	Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs im Vergleich.....	22
Abbildung 3:	Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromtauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland	26
Abbildung 4:	Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“.....	27
Abbildung 5:	Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2024*	27
Abbildung 6:	Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklung: Emissionsfaktor für den deutschen Strommix.....	9
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 2024 (geschätzt).....	20
Tabelle 4:	CO ₂ -Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2024*	23
Tabelle 5:	Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung	23

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
CO2	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 CO₂-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 2022 durchschnittlich 433 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind 331g CO₂/kWh oder ca. 43,3% weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2023 sind dies auf der Basis vorläufiger Daten 386 g CO₂/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2024 ergeben 363 g CO₂/kWh.

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

Bis zum Jahr 2020 ist ein stetiger Rückgang des spezifischen Emissionsfaktors der Treibhausgase ohne Vorketten auf 373 g CO₂-Äquivalente /kWh und mit Vorketten auf 435 g CO₂-Äquivalente /kWh zu verzeichnen. Für das besondere Jahr 2022 stiegen die spezifischen Emissionsfaktoren der Treibhausgase ohne Vorkette wieder auf 441 g CO₂-Äquivalente /kWh und mit Vorkette auf 503 g CO₂-Äquivalente /kWh. Die Schätzungen weisen für das Jahr 2023 für die Treibhausgase ohne Vorketten wieder einen gesunkenen Wert von 394g/CO₂-Äquivalente und mit Vorketten einen Wert von 449 g/CO₂-Äquivalente aus um im Jahr 2024 weiter zu sinken auf 372 g CO₂-Äquivalente /kWh und mit Vorketten 427 g CO₂-Äquivalente /kWh (vorläufige Daten).

Tabelle 1: Entwicklung: Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

Indikator	Einheit	1990	2020	2021	2022	2023	2024
Direkter CO ₂ -Emissionsfaktor des Stromverbrauchs	g CO ₂ /kWh	764	365	406	433	386	363
Änderung ggü. 1990	g CO ₂ /kWh		-399	-358	-331	-378	-401
Änderung ggü. 1990	%		-52	-47	-43	-50	-52
direkte THG-Emissionen des Stromverbrauchs ohne Vorketten	g CO ₂ Äq. / kWh	769	373	414	441	394	372
direkte THG-Emissionen des Stromverbrauchs mit Vorketten	g CO ₂ Äq. / kWh	860	435	477	503	449	427

Indikator	Einheit	1990	2020	2021	2022	2023	2024
THG-Emissionen aus den Vorketten des Stromverbrauchs	g CO2 Äq. / kWh	91	62	63	62	56	55

Quelle: UBA eigene Berechnungen März 2025

Äquivalente =CH4 und N2O berücksichtigt

1.1 Treiber für die Entwicklung des CO₂-Emissionsfaktors für den Strommix

Die wirtschaftliche Erholung nach der Pandemie führte gepaart mit einer witterungsbedingten geringeren Windenergieerzeugung zu einer vermehrten Nutzung emissionsintensiver Kohleverstromung, wodurch sich 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 Exporthandessaldo zu einem Importhandelssaldo von 9 Mrd. kWh für Deutschland, was sich emissionsmindernd auswirkt. Dieser Importüberschuss stieg in 2024 nochmals auf 24 Mrd. kWh deutlich an. Weiterhin stagnierte die wirtschaftliche Erholung. So sinken die spezifischen Emissionsfaktoren auf Grundlage vorläufiger und geschätzter Daten in 2023 und 2024 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 (IPCCC, 2006) - sind alle Emissionen der Stromerzeugung – also auch Stromhandelsüberschüsse – dem Land zuzurechnen, in dem sie entstehen. Der diese Bilanzierungsvorgaben berücksichtigende CO₂-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. Und sich ab 2023 in einen Stromimportüberschuss wandelt. Der Anteil Stromhandelssaldos an der Bruttostromerzeugung beziffert sich in 2022 auf 4,7 %. Im Jahr 2023 wurden 9,2 TWh mehr Strom importiert als exportiert um in 2024 auf 24,4 TWh zu steigen.

Zur Berücksichtigung dieser Effekte wird ein CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos – im Folgenden genannt „**Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix**“. Die Entwicklung dieses Faktors ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in Tabelle 2 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmethoden liegt im Jahr 2023 bei 9 g CO₂/kWh und erhöht sich für 2024 auf 20g/kWh.

1.3 CO₂-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 CO₂-Emissionsfaktor inkl. Vorketten-Emissionen wird im Rahmen der Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (Lauf, 2025) verwendet. In diesem Kontext werden auch die THG-Emissionen (in CO₂-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	Kohlendi-oxidemis-sionen der Stromerzeu-gung ¹ [Mio. t]	Strom-verbrauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissi-ons-faktor Strommi-x ³ [g/kWh]	Strom-verbrauc-h unter Berück-sichtigun-g des Strom-handels-saldo-s ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissi-onsfaktor Strom-inlands-verbrauch ⁵ [g/kWh]	THG-Emissi-onen ohne Vorkette n [g CO ₂ -Äqui-valente /kWh]	THG-Emissi-onen mit Vorkette n [g CO ₂ -Äqui-valente /kWh]	THG-Emissi-onen der Stromer-zeugung [Mio. t CO ₂ -Äqui-valente] ⁷
1990	366	479	764	480	763	769	860	369
1991	361	473	764	473	765	769	864	364
1992	345	472	730	467	739	736	828	347
1993	335	462	726	462	725	731	826	338
1994	335	464	722	467	718	728	821	338
1995	336	470	714	475	707	720	814	338
1996	337	490	687	485	694	692	784	339
1997	326	486	671	483	675	676	766	329
1998	330	491	673	490	674	678	770	333
1999	319	492	649	493	648	654	742	322
2000	328	507	646	510	642	651	739	330

Jahr	Kohlendi-oxidemis-sionen der Stromerzeugung ¹ [Mio. t]	Strom-verbrauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissi-faktor Strommix ³ [g/kWh]	Strom-verbrauc-h unter Berück-sichtigun-g des Strom-handels-saldo-s ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissi-faktor Strom-inlands-verbrauch ⁵ [g/kWh]	THG-Emissi-faktor ohne Vorkette n [g CO ₂ -Äqui-valente /kWh]	THG-Emissi-faktor mit Vorkette n [g CO ₂ -Äqui-valente /kWh]	THG-Emissi-onen der Stromer-zeugung [Mio. t CO ₂ -Äqui-valente] ⁷
2001	337	509	661	512	658	666	750	339
2002	339	517	656	524	648	661	743	342
2003	341	535	639	531	642	644	725	344
2004	334	541	619	538	622	624	702	337
2005	334	544	614	539	620	620	681	337
2006	341	561	608	544	627	614	677	344
2007	352	562	627	545	646	633	698	356
2008	328	563	583	543	604	589	653	332
2009	301	526	571	514	585	578	641	304
2010	314	562	559	547	574	566	640	318
2011	310	544	570	541	574	577	650	314
2012	320	560	572	539	594	580	653	325
2013	326	569	573	536	607	580	655	330
2014	312	559	559	525	595	566	640	316
2015	305	576	530	528	578	537	604	310
2016	304	581	524	530	574	532	597	309
2017	286	583	490	531	539	498	558	291
2018	272	573	474	525	518	481	546	276
2019	222	543	409	511	435	417	479	226
2020	187	513	365	494	379	373	435	191

Jahr	Kohlendi-oxidemis-sionen der Stromerzeugung ¹ [Mio. t]	Strom-verbrauch ² [TWh]	CO ₂ -Emissions-faktor Strommix ³ [g/kWh]	Strom-verbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandels-saldos ⁴ [TWh]	CO ₂ -Emissionsfaktor Strom-inlands-verbrauch ⁵ [g/kWh]	THG-Emissions-faktor ohne Vorkette n [g CO ₂ -Äqui-valente /kWh]	THG-Emissions-faktor mit Vorkette n [g CO ₂ -Äqui-valente /kWh]	THG-Emissionen der Stromer-zeugung [Mio. t CO ₂ -Äqui-valente] ⁷
2021	215	529	406	510	421	414	477	219
2022	223	516	433	489	457	441	503	227
2023*	175	454	386	464	378	394	449	179
2024**	160	439	363	466	343	372	427	163

*vorläufig

** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnung März

2025

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventares 1990-2024

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 2023. und des Statistischen Bundesamtes)

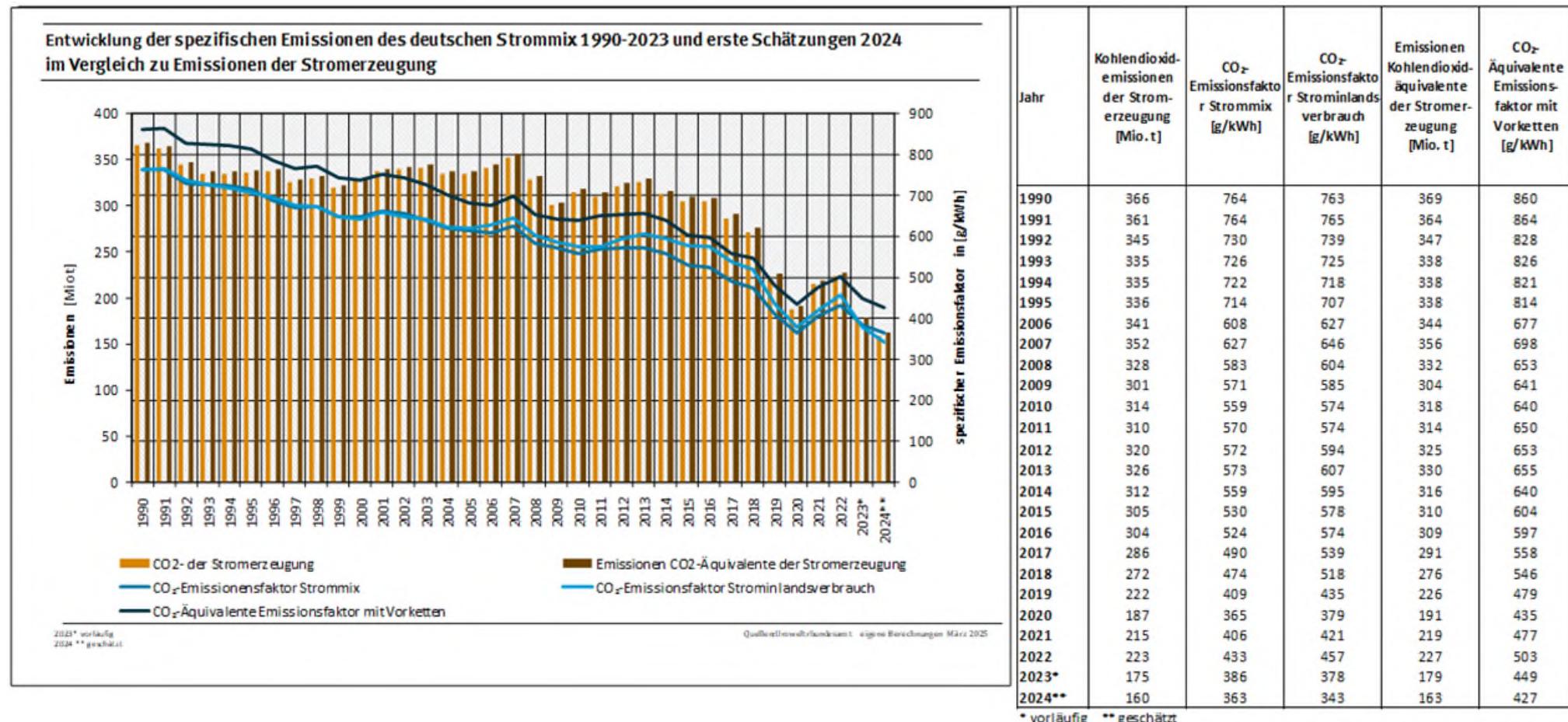
4 Stromverbrauch incl. Stromhandelssaldo =Bruttostromerzeugung (AGEB + AGEE-Stat) - Kraftwerkseigenverbrauch -Pumpstrom-Leitungsverluste + (Stromhandelssaldo Destatis)

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 CH4 und N2O

Abbildung 1: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich



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 CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

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

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

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

2.2 CO₂-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix

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

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

2.3 CO₂-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

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

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

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) (UBA, 2025) 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 Brennstofffeinsätze mit den brennstoffbezogenen Kohlendioxidemissionsfaktoren berechnet. Als Brennstofffeinsätze werden die Energiebilanzzeilen „Öffentliche Wärmekraftwerke“ und „Industriewärmekraftwerke“ aus der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland herangezogen. Diese Datenbanksätze weisen ausschließlich den Brennstofffeinsatz 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 (Wolfgang Mauch, 2010).

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 (Umweltbundesamt, Climate Change Nationaler Inventarbericht Deutschland 2023 -veröffentlicht 15.04.2025, 2025) Anhang 3 weist die für die Berechnung zugrunde gelegten Emissionsfaktoren aus (Umweltbundesamt, Climate Change Nationaler Inventarbericht Deutschland 2023 -veröffentlicht 15.04.2025, 2025) und (Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht 2005 -Emissionsfaktoren zur Erstellung der nationalen Inventare, 2005). 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) (Statistisches-Bundesamt, 2017) mit entsprechenden Heizwerten und Emissionsfaktoren multipliziert und berichtet. Die Fachserie wurde 2017 eingestellt. Die Daten stehen seitdem online in der Genesisdatenbank _Themenbereich 32111 zur Verfügung. (Genesis, 2025) 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 CO₂-Emissionen (ohne Vorketten) 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 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 1B 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.

Emissionen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

= Emissionen laut ZSE – (Stromhandelssaldo * 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 (AGEB, Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2024 (in TWh) Deutschland insgesamt, 2025). 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 (AGEEStat im UBA, 2025) und (genesis, 2025).

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 (AGEB, Umfassende Revision der Energiebilanzen 2003 - 2021 abgeschlossen, 2024) und (AGEB A. f., 2025).

Die Pumparbeit (Pumpstromverbrauch) der Wasserspeichererkraftwerke ist ab 2018 aus den Monatsberichten des Statistischen Bundesamtes zugrunde gelegt worden (genesis, 2025).

Strommenge Endverbrauch

= Bruttostromerzeugung – Kraftwerkseigenverbrauch – Leitungsverluste
– 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

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

2.8 THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix

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

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

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

2.9 Vorketten für den THG-Emissionsfaktor des deutschen Strommix

Bisher wurden nur die direkten Verbrennungsemisionen 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.

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

Grundlage für die Berechnung eines THG-Emissionsfaktors des Strommix, welcher die vorgelagerten Emissionen der jeweiligen Energieträger berücksichtigt, ist die Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger (UBA 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: CO₂ und THG-Emissionsfaktoren zum Stromverbrauch im deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung der Vorkette für das Jahr 2024 (geschätzt)

Indikator	Schadstoff	Einheit	2024
Direkter CO ₂ -Emissionsfaktor des Stromverbrauchs	CO ₂	g/kWh	363
direkter THG - Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs ohne Vorketten	CO ₂ -Äquivalente	g/kWh	372
CO ₂ -Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen	CO ₂	g/kWh	396
THG-Emissionsfaktor des deutschen Stromverbrauchs unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen	CO ₂ -Äquivalente	g/kWh	427

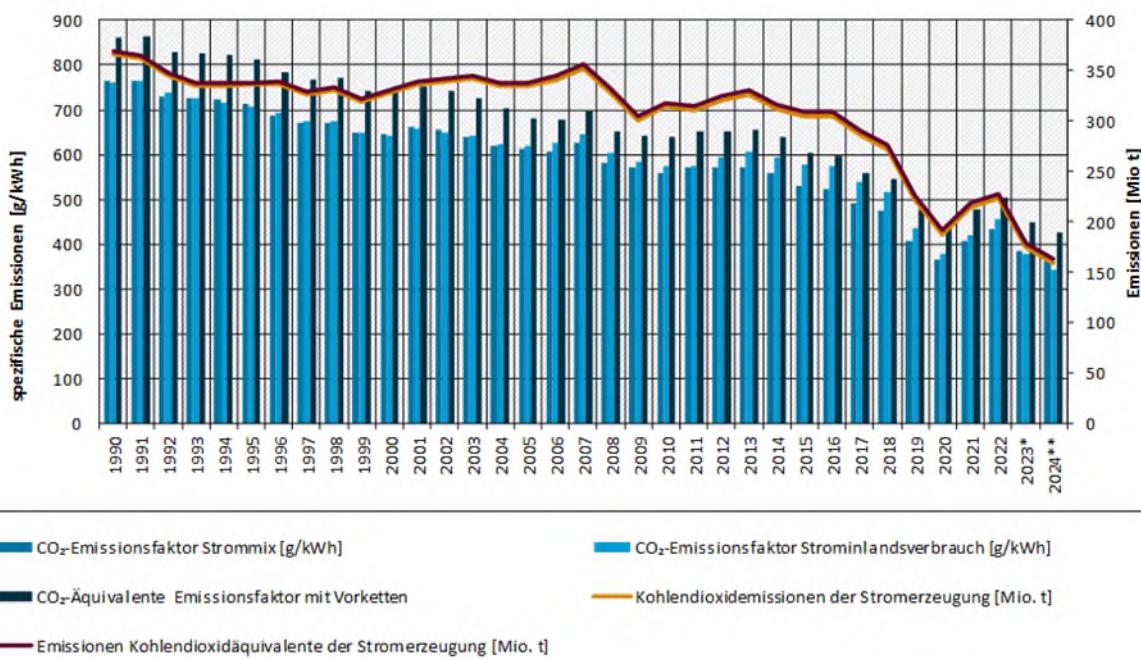
Quelle: UBA, Datenstand Februar 2025

3 Entwicklung der Emissionsfaktoren des deutschen Strommix

Die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen ohne Vorketten und ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos einer Kilowattstunde Strom (Spezifischer Emissionsfaktor) sinken in den Jahren 1990 bis 2022 von 764 g CO₂/kWh auf 433 g CO₂/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 2023 und 2024 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2023 weisen einen Anstieg auf 386 g CO₂/kWh aus, während für 2024 auf der Grundlage von geschätzten Daten 363 g CO₂/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 die 2024 auf ähnlichem Niveau von 2024 verharrt. Ursache war das sehr geringen wirtschaftlichen Wachstums und die Abschaltung der letzten Kernkraftwerke. Durch diese Entwicklungen und eine hohen Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien von 275 Mrd kWh in 2023 und in 2024 von 284 Mrd. kWh erhöhte sich der Anteil der Erneuerbaren Energien in 2024 auf über 54 % an der Bruttostromerzeugung. (AGEEStat im UBA, 2025). Parallel dazu wurde in Deutschland zum ersten Mal 2023 9,2 Mrd. kWh mehr Strom importiert als exportiert . Für 2024 ist der Importüberschuß an erzeugtem Strom auf 24 Mrd kWh angestiegen Die aus diesem Stromimportüberschuss Emissionen werden nicht dem deutschen Strommix angerechnet, da sie im Ausland erzeugt wurden und für die internationale Emissionsberichterstattung das Territorialprinzip zur Anwendung kommt.

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



2023* vorläufig 2024** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2025

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 4 zeigt die direkten Emissionsfaktoren der drei wichtigsten fossilen Brennstoffe im Vergleich zum Emissionsfaktor des deutschen Strommix gesamt.

Tabelle 4: CO₂-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2024*

	CO ₂ -Emissionsfaktor bezogen auf den Brennstoffeinsatz [g/kWh]	Brennstoffausnutzungsgrad 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	363
Braunkohle	407	36	1.119	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2025

*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. (Wolfgang Mauch, 2010)
Diese rechnerische Methode führt zu Verschiebungen, besonders im Bereich der Stromerzeugung durch Erdgas.

Tabelle 5: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung

Jahr	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas2	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%

Jahr	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas2	Summe Energieträger
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%

Jahr	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas2	Summe Energieträger
2023*	43%	39%	57%	59%
2024**	44%	40%	57%	62%

Quellen: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2025 * vorläufig ** geschätzt

1 Die Trennung zwischen Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen erfolgt über die finnische Methode2 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 2009 aufgrund geringerer Stromverbräuche ausgelöst durch die Wirtschaftskrise 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 in den Folgejahren 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 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 CO₂-Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Diese Entwicklung findet im Jahr 2020 vorläufig ihren Höhepunkt. Verbunden mit der coronabedingte konjunkturellen Abkühlung fällt der spezifische CO₂-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 Angiffskrieges 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. Abbildungen 3 und 4). In 2023 wird in Deutschland erstmals seit 2002 wieder mehr Strom importiert als exportiert. Die Emissionen der importierten Strommengen werden den stromerzeugenden, ausländischen Erzeugerländern zugerechnet und geht somit nicht in die deutschen Emissionsberechnung ein. Auch im Jahr 2024 ist die importierte Strommenge größer als der exportierte Strom.

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, d.h. es erfolgt eine Bewertung der Stromhandelsimportmengen mit den CO₂-Emissionsfaktoren, die für das Inland berechnet wurden. Bei einem Stromhandelsimportüberschuss mit einem höheren Anteil an erneuerbarem Strom und Atomstrom als im Inland wird durch die anzurechnende Menge Kohlendioxid an einer tatsächlich verbrauchten Kilowattstunde Strom leicht unterschätzt.

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

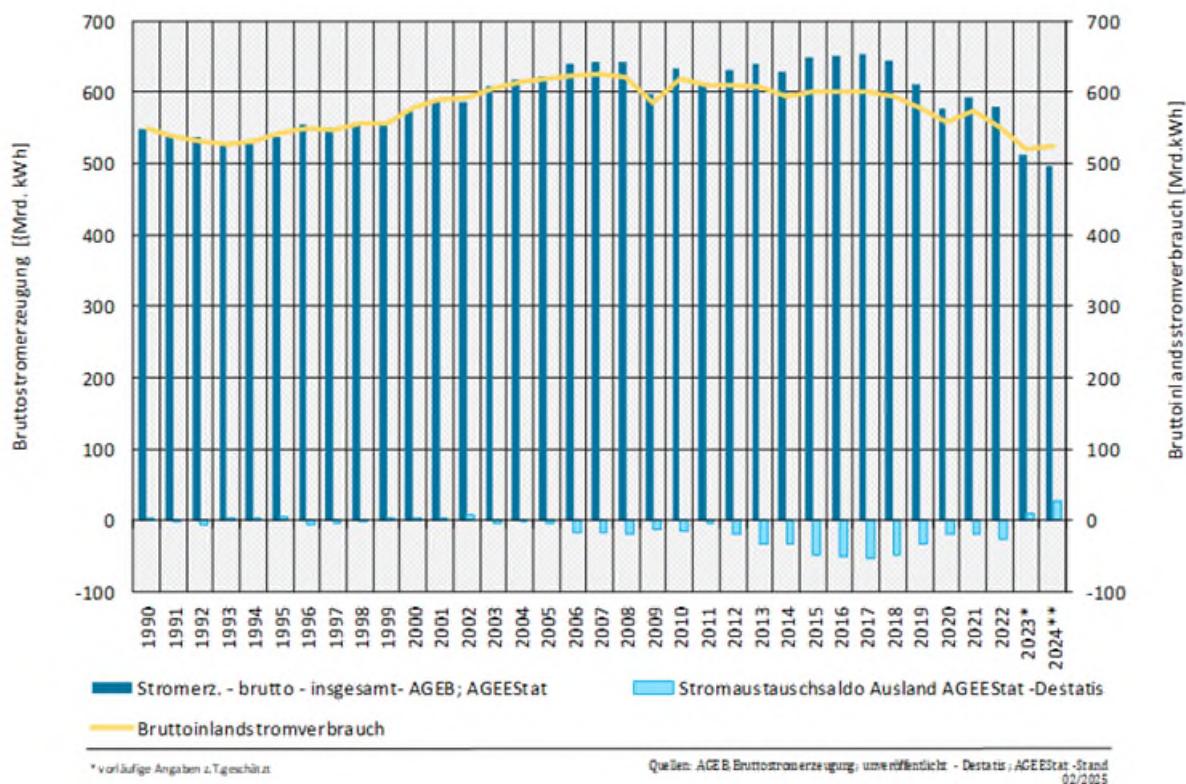
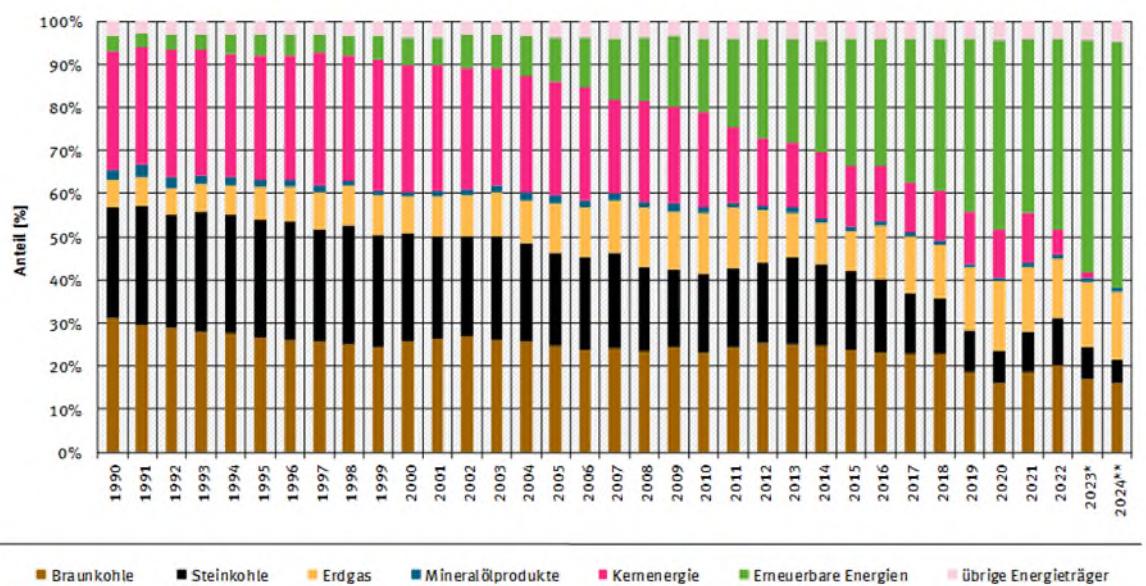
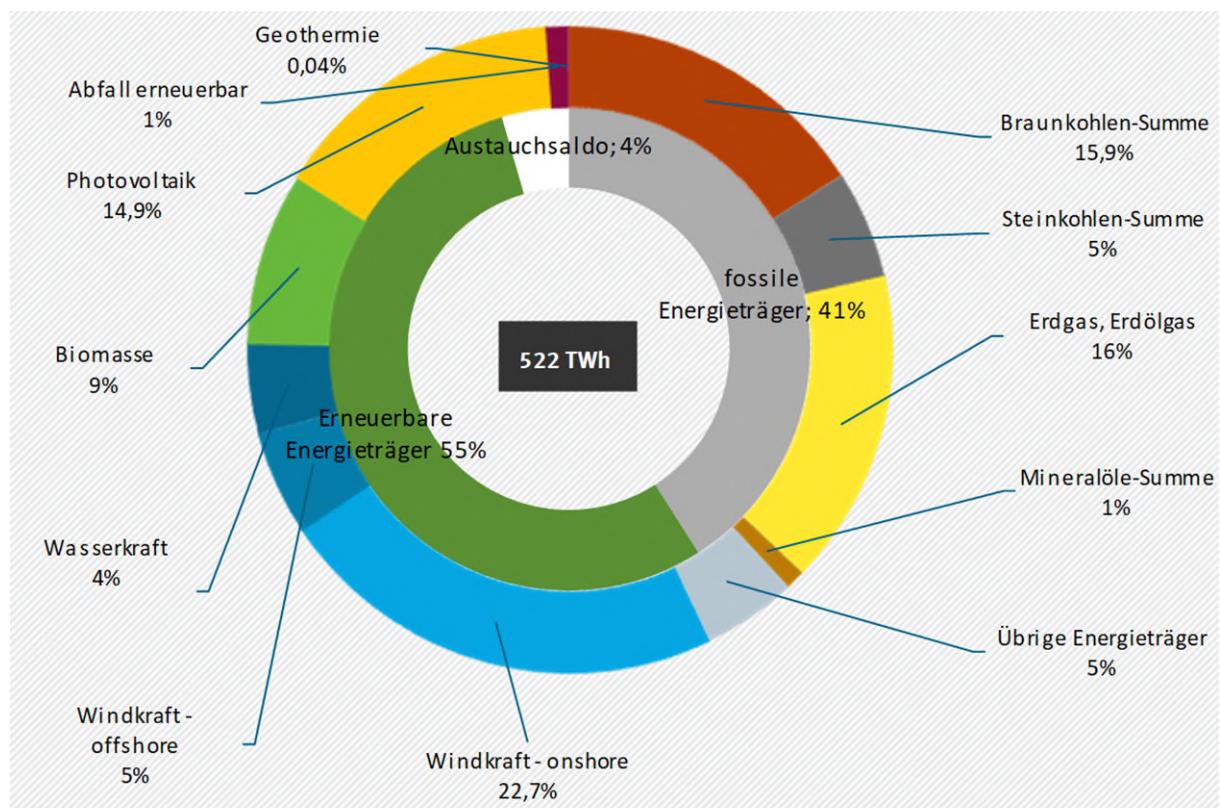


Abbildung 4: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“

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

Quelle: UBA auf Basis von AGEB und AGEE-Stat Stand März 2025

Abbildung 5: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2024*

* vorläufig z.T. geschätzt

Quelle: UBA auf Basis von AGEB und AGEE-Stat Stand März 2025

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 2000 und 2023 von ca. 6% auf ca. 52 %. um 2024 weiter auf ca. 54 % anzusteigen.

Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen per Definition keine direkten CO₂-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.

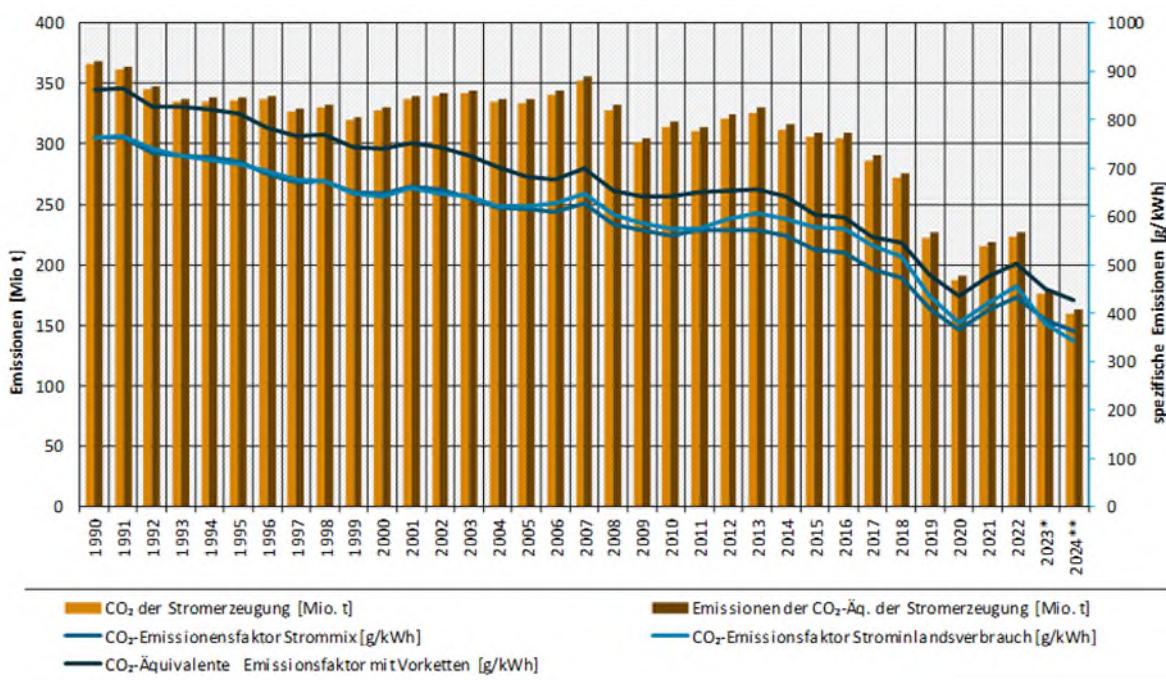
In den Jahren 2013 und 2014 haben auch die Änderungen bei den Brennstoffpreisen (höhere Preise für Erdgas) und der damit einhergehende höhere Einsatz von Brennstoffen mit höherem Kohlenstoffgehalt den Strommix beeinflusst. Dieser Trend hat sich 2016 zu Gunsten des Erdgases vorläufig umgekehrt. Insbesondere 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 3).

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 CO₂/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 433 g CO₂/kWh im Jahr 2022 ist positiv zu bewerten. Für 2023 hat das UBA auf der Grundlage vorläufiger Daten „Spezifischen Kohlendioxid -Emissionsfaktor“ von 386 g/kWh errechnet und für 2024 wird ein Wert von 363 g/kWh geschätzt. Für die Spezifischen Emissionen der Kohlendioxidäquivalente ohne Vorketten für 2023 beträgt der Wert 394 g/kWh und 372 g/kWh für 2024. Berücksichtigt man zusätzlich die Vorketten-Emissionen der Stromerzeugung ergeben sich 449 g/kWh CO₂-Äquivalente für 2023 und für 2024 vorläufig 427 g/kWh (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 6: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich



* vorläufig ** geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2025

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 Kraftwerkspark. Eine verstärkte Verstromung von Kohle durch den Zubau neuer Kohlenkraftwerke führte sowohl zu steigenden absoluten, als auch spezifischen Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung.

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 im Vergleich zum Vorjahr geringere Erzeugung Erneuerbaren Energien 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 CO₂-Emissionen, welche nicht dem im Inland verbrauchten Strom zuzuordnen sind. Dieser Effekt kehrt sich 2023 um und setzt sich auf erhöhtem Niveau 2024 fort. Dies 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 CO₂-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 Fortsetzung des Ausstiegs aus der Kohleverstromung und 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 nicht angerechneten Emisisonsmengen aus dem Importhandelsüberschuss sind nicht als Beitrag zum deutschen 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:

Die Daten zur Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sind auf der Internetseite der AGEE-Stat (Zeitreihen -zur-Entwicklung-der-Erneuerbaren-Energien-in-Deutschland Tabelle 3 veröffentlicht. (AGEEStat im UBA, 2025)

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 gemäß der Genesisdatenbank des Statistischen Bundesamtes. (genesis, 2025).

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.

Die Energiebilanzen werden seit 2023 einer Revision durch die Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen (AGEB) im zweijährigen Rhythmus unterzogen. Diese revidierten Energiebilanzen werden 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. (AGEB, Umfassende Revision der Energiebilanzen 2003 - 2021 abgeschlossen, 2024) Die Aktualisierungen zu Berechnungen der Emissionen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NID) dokumentiert

Seit 2025 wird von der Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen (AGEB) eine Schätzbilanz für das Vorjahr veröffentlicht. Zum Zeitpunkt der Berechnung der Daten für die spezifischen Emissionen im deutschen Strommix ist diese noch nicht veröffentlicht, wird aber mit dem Bearbeitungsstand zum Zeitpunkt der Berechnungen dem Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt und fließt in das Modell für die Berechnungen des Randjahres für die spezifischen Emissionen im Strommix ein.

Daten zur Emissionsberichterstattung können ab dem Sommer 2025 über den Datencube des Umweltbundesamtes abgerufen werden.

6 Quellenverzeichnis

AGEB. (März 2024). *Umfassende Revision der Energiebilanzen 2003 - 2021 abgeschlossen*. Abgerufen am 20. 03 2024 von linfoplus: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/11/AGEB_InfoAusgabe-3-2023.pdf

AGEB. (Februar 2025). *Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2024 (in TWh) Deutschland insgesamt*. Abgerufen am 06. 03 2025 von Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2025/02/STRERZ-Abgabe-2025-02.xlsx>

AGEB, A. f. (15. März 2025). *EBD233(geschützte Ansicht - Energiebilanz der Bundesrepublik 2023)*. (AGEB) Abgerufen am 15. 03 2025 von Energiebilanz 2023: <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2025/03/EBD23e.xlsx>

AGEEStat im UBA, A. E.-S. (Februar 2025). *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland*. (AGEEStat) Abgerufen am 06. 03 2025 von Tabelle 3 - Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990 - 2023: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-excel_uba_deu_0.xlsx

Erneuerbare Energien in Deutschland 2023. (27. 03 2024). (AGEEStat) Abgerufen am 29. 03 2024 von Erneuerbare Energien: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-2023>

genesis. (März 2025). *Monatserhebung der Elektrizitätsversorgung - Code 43311-0002*. (Statistisches Bundesamt) Abgerufen am 06. 03 2025 von destatis - genesis - Datenbank: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/43311/details/search/s/NDMzMTE=>

Genesis, d. (2025). *destatis-Statistik-Abfallentsorgung Deutschland -Themenbereich 32111*. Von Genesisdatenbank: https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/32111*/details abgerufen

IPCCC. (2006). *Task Force on National Greenhouse Gas Inventories*. Abgerufen am 20. 04 2015 von 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: <https://www.ipcc-nccc.iges.or.jp/public/2006gl/>

Lauf, T. M. (2025). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2023 [online]*. (Umweltbundesamt - UBA) Abgerufen am 06. 03 2025 von Umweltbundesamt. Climate Change, 03/2025: <https://openumwelt.de/handle/123456789/10598>

Statistisches-Bundesamt. (2017). Fachserie 19 Reihe 1 -Destatis. Wiesbaden.

UBA, b. N. (2025). Zentrales System der Emissionen (ZSE) UBA [eigene Datenbank]. Dessau.

Wolfgang Mauch, R. C. (Seite 12 ff. Heft 9 2010). *Allokationsmethoden für spezifische CO2-Emissionen in KWK-Anlagen*. In *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*. 55.Jg/H.9. S. . (Energiewirtschaftliche Tagesfragen) Abgerufen am 10. 03 2024 von Allokationsmethoden CO21: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2022/10/ET_Allokationsmethoden_CO21.pdf

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

	Braun-kohlen	Stein-kohlen	Erdgas	Mineral-öle	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	336
1996	159	128	21	7	6	16	337
1997	155	120	21	6	6	17	326
1998	149	127	22	6	7	18	330
1999	148	119	22	6	6	17	319
2000	157	118	22	6	6	17	328
2001	166	115	22	7	7	18	337
2002	170	113	23	7	6	20	339
2003	167	115	25	7	8	18	341
2004	165	111	25	8	7	17	334
2005	162	109	28	8	8	18	334
2006	159	116	30	7	9	19	341
2007	164	118	30	7	10	23	352
2008	158	102	34	7	8	19	328
2009	153	89	31	7	8	13	301
2010	151	95	33	6	8	20	314
2011	156	91	31	5	9	18	310
2012	166	94	27	5	9	18	320
2013	163	104	24	5	9	20	326
2014	159	97	22	4	10	19	312
2015	157	92	22	4	9	20	305
2016	153	88	28	4	10	20	304
2017	151	70	30	4	9	20	286
2018	147	62	29	4	9	19	272

	Braun-kohlen	Stein-kohlen	Erdgas	Mineral-öle	Müll (fossil)	sonstige	gesamt
2019	115	44	32	4	9	18	222
2020	93	33	34	3	9	14	187
2021	111	41	32	3	8	18	215
2022	115	50	28	4	8	17	223
2023*	87	30	27	4	8	18	175
2024**	80	21	28	4	8	19	160

* vorläufige Daten

** geschätzte Daten

Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt, ZSE; März 2025

C 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]	Müll [Mrd. kWh]	Geothermie [Mrd. kWh]	Übrige Energieträger [Mrd. kWh]	Pumpstrom [Mrd. kWh]	Stromver- brauch insgesamt [Mrd. kWh]	Einfuhr [Mrd. kWh]	Ausfuhr [Mrd. kWh]	Strom-han-dels- 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

Jahr	Kern-energie	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	Mineralöl-produkte	Wasserkraft	Wind-energie	Biomasse	Photovoltaik	Müll	Geothermie	übrige Energieträger	Pumpstrom	Stromverbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom-handels-saldo
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
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

Jahr	Kern-energie	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	Mineralöl-produkte	Wasserkraft	Wind-energie	Biomasse	Photovoltaik	Müll	Geothermie	übrige Energieträger	Pumpstrom	Stromverbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom-handels-saldo
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	583	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	105	43	46	5	0,2	22	7	529	52	70	-19
2022	31	58	105	72	5	16	113	42	55	5	0,2	22	8	516	49	77	-27
2023*	7	35	78	69	4	18	128	39	58	5	0,2	20	7	454	69	60	9

Jahr	Kern-energie	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	Mineralöl-produkte	Wasserkraft	Wind-energie	Biomasse	Photovoltaik	Müll	Geothermie	übrige Energieträger	Pumpstrom	Stromverbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom-handels-saldo
2024 **	0	24	71	71	4	20	125	39	67	5	0,2	21	8	439	81	57	24

* 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, Rundungen können zu Abweichungen führen; März 2025

D Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material	[kg CO ₂ /TJ]
Andere Mineralölprodukte	82510
Braunkohlenbriketts	99359
Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle	97207
Deponegas	111396
Dieselkraftstoff	74027
Erdgas	56325
Flüssiggas	66334
Gicht- u. Konvertergas	257694
Grubengas	68118
Hartbraunkohle	93380
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91510
Heizöl, leicht	74020
Heizöl, schwer	79587
Industriemüll fossil	71133
Klärgas	104894
Kokerei-/Stadtgas	40461
Petrolkoks	100599
Raffineriegas	57103
Rohbraunkohle Lausitz	107532
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	101658
Rohbraunkohle Rheinland	113914
Rückstände Papierindustrie, fossil	86222
Sonderabfall	82989

Material	[kg CO ₂ /TJ]
Sonstige hergestellte Gase	166257
Steinkohle	94116
Steinkohlenbriketts	95913
Steinkohlenkoks	108612

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE aktuell Stand 03/2025-Daten für Jahr 2023