CLIMATE CHANGE
11/2018

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2017

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

CLIMATE CHANGE 11/2018

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2017

Aktualisierung auf Basis von Climate Change 15/2017

von

Petra Icha
Umweltbundesamt

unter Mitarbeit von

Gunter Kuhs
Umweltbundesamt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

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

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Abschlussdatum:
April 2018

Redaktion:
Fachgebiet I 2.5 Energieversorgung und –daten,
Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)
Petra Icha

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2018

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

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 CO2-Emissionen des deutschen Strommixes erfolgt auf Basis der Emissionen entsprechend dem Berichtsstand der Treibhausgasberichterstattung an das Klimasekretariat sowie der Stromerzeugung entsprechend der Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, des statistischen Bundesamtes für die Zeitreihe ab 1990 –2016 und der Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien-Statistik (AGEE - Stat). Dabei werden im Veröffentlichungsjahr x für das Jahr „x-1“ hochgerechnete Datensätze und für das Jahr „x-2“ vorläufige Basisdatensätze zur Berechnung herangezogen.

Änderungen durch Neuberechnungen der Quellen (Energiebilanzen, Bruttostromerzeugung, Emissionsfaktoren) werden – soweit sie zum Zeitpunkt der Aktualisierung veröffentlicht waren – berücksichtigt. Eine Aktualisierung von Emissionsfaktoren in den Treibhausgasinventaren bedingt Veränderungen im Bereich der Emissionen aus der Stromerzeugung und eine Aktualisierung im Bereich der erneuerbaren Energien in der Bruttostromerzeugung hat Veränderungen im Stromverbrauch für den deutschen Strommix zur Folge.

Deutschland weist seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss auf, der über die letzten Jahre erheblich an Bedeutung gewonnen und im Jahr 2017 mit 55 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat. Daher wird der Einfluss des Stromhandelssaldos auf den Strommix seit 2013 um eine zusätzliche Ausweisung des Emissionsfaktors für den Strominlandsverbrauch ergänzt. Gleichzeitig wird deutlich, dass ein steigender Anteil der CO_2-Emissionen der Nettoausfuhr von Strom zuzurechnen ist. Die Zunahme des Außenhandelsüberschusses des Stromes zwischen 2012 und 2017 um fast 32 Mrd. kWh ist wesentlich stärker als die Steigerung der Bruttostromerzeugung im gleichen Zeitraum um ca. 25 Mrd. kWh.

Insgesamt werden 8 % der deutschen Bruttostromerzeugung netto exportiert. Die CO_2-Emissionen aus dem deutschen Stromsektor würden um 25 Mio. t CO_2 geringer ausfallen, wenn der Stromhandelssaldo im Jahresmittel ausgeglichen wäre.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 5
Abbildungsverzeichnis 6
Tabellenverzeichnis 6
Abkürzungen 7
1 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 8
2 Methode zur Berechnung 11
2.1 Emissionsfaktor für den deutschen Strommix 11
2.2 Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix 11
2.3 Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos 11
2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung 11
2.5 Kohlendioxidemissionen der inländischen Stromerzeugung 12
3 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung 13
3.1 Inländischer Stromverbrauch 13
4 Zeitliche Entwicklung des Indikators 15
4.1 Spezifische CO_2-Emissionen des deutschen Strommixes 15
4.2 Entwicklung gesamte CO_2-Emissionen aus der Stromerzeugung 20
5 Zusammenfassung 22
6 Quellenverzeichnis 23
Anhang 1: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio. t 25
Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch 26
Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE 28

Abbildungsverzeichnis

Abb 1: Brutto-Inlandsstromverbrauch und Stromaustauschsaldo Ausland prägen den aktuellen Trend der Bruttostromerzeugung in Deutschland 14

Abb. 2: Spezifische Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos 15

Abb. 3: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“ 19

Abb. 4: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (ohne Beachtung des Stromhandelssaldos) 20

Abb. 5: Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und der Entwicklung des Stromverbrauchs im Vergleich 21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und CO_2-Emissionsfaktor des Stroms 9

Tabelle 2: CO_2-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO_2-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 16

Tabelle 3: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung 17

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V.
AGEE - Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbarer Energien - Statistik
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
EB	Energiebilanz
EU	Europäischer Union
CO_2	Kohlendioxid
Destatis	Statistisches Bundesamt
EF	Emissionsfaktor
EM	Emission
g	Gramm
HW	Heizwert
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NIR	Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar
TWh	Terrawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
ZSE	Zentrales System der Emissionen (interne Datenbank des Umweltbundesamtes zur internationalen Emissionsberichterstattung)

1 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix

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

„Direkte CO_2-Emissionen je Kilowattstunde Strom“ wird 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 2015 durchschnittlich 528 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind ca. 236 g CO_2/kWh oder ca. 31 % weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2016 sind dies auf der Basis vorläufiger Daten 516 g CO_2/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2017 ergeben 489 g CO_2/kWh.

Gemäß internationalen Bilanzierungsvorgaben (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 damit entsprechend dem Stromhandelssaldo.

Deutschland weist seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss auf, der über die letzten Jahre erheblich an Bedeutung gewonnen und im Jahr 2017 mit 55 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat. Daher erfolgte im Jahr 2013 die Einführung eines CO_2-Emissionsfaktors für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos – im Folgenden genannt **„Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix“.** Die Entwicklung dieses Faktors ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in Tabelle 1 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmetoden liegt im Jahr 2017 bei 48 g CO_2/kWh bzw. 25 Mio. t CO_2. Um diese Menge würden sich die deutschen CO_2-Emissionen aus dem Stromsektor reduzieren, wenn das Stromhandelssaldo ausgeglichen wäre.

Ab 2018 wurden für die Berechnung des Stromverbrauches die Daten für die konventionellen Brennstoffe die Veröffentlichung der Bruttostromerzeugung der AGEB und für die Brennstoffe der Erneuerbaren Energien die Daten der AGEE - Stat in der Zeitreihe ab 1990 zugrunde gelegt. Die Daten für den Stromhandelssaldo entsprechen den Meldungen an das Statistische Bundesamt (12).

Methodenverbesserungen und Datenaktualisierungen entsprechend der internationalen Emissionsberichterstattung wurden übernommen.

Ein weiterer Indikator wurde berechnet, um die spezifischen CO_2-Emissionen auszuweisen, bei denen sowohl stromverbrauchsseitig als auch stromemissionsseitig die Anpassung an den Wert des Stromhandelssaldos durchgeführt wurde (Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos).

Die Details sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und CO_2-Emissionsfaktor des Stroms

Jahr	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung[1] [Mio. t]	Stromverbrauch[2] [TWh]	CO_2-Emissionsfaktor Strommix[3] [g/kWh]	Stromverbrauch unter Berück-sichtigung des Stromhandels-saldos[4] [TWh]	CO_2-Emissionsfaktor Strominlandsver-brauch[5] [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo[6] [Mio. t]	CO_2-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Handelssaldos[7] [g/kWh]
1990	366	479	764	480	763	367	764
1991	361	473	764	473	765	361	764
1992	345	472	730	467	738	341	730
1993	335	462	726	462	725	335	726
1994	335	464	722	467	718	337	722
1995	335	470	713	475	706	338	713
1996	336	491	685	485	692	332	685
1997	325	486	669	483	673	323	669
1998	329	491	671	490	672	329	671
1999	318	492	647	493	646	319	647
2000	327	507	644	511	640	329	644
2001	336	509	659	512	656	337	659
2002	338	517	654	524	646	342	654
2003	340	536	635	532	639	338	635
2004	334	542	615	539	618	332	615
2005	333	545	611	541	616	330	611
2006	340	563	604	546	623	329	604
2007	351	564	623	547	642	341	623
2008	330	565	584	545	605	318	584
2009	300	528	569	516	582	293	569
2010	315	564	559	549	574	307	559
2011	311	546	569	542	573	308	569
2012	322	560	574	539	596	310	574
2013	326	569	573	537	607	308	573
2014	313	560	559	526	595	294	559
2015	305	578	528	529	577	280	528
2016*	300	582	516	531	565	274	516
2017**	285	583	489	531	537	260	489

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2018

[1] UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventars 1990-2016 (Quelle 3)

[2] Stromverbrauch =Bruttostromerzeugung -Kraftwerkseigenverbrauch -Pumpstrom-Leitungsverluste

[3] UBA-Berechnungen auf der Grundlage der Quellen 3, 5 und 6

[4] Stromverbrauch inklusive Stromhandelssaldo =Bruttostromerzeugung -Kraftwerkseigenverbrauch -Pumparbeit-Leitungsverluste + Stromeinfuhr - Stromausfuhr

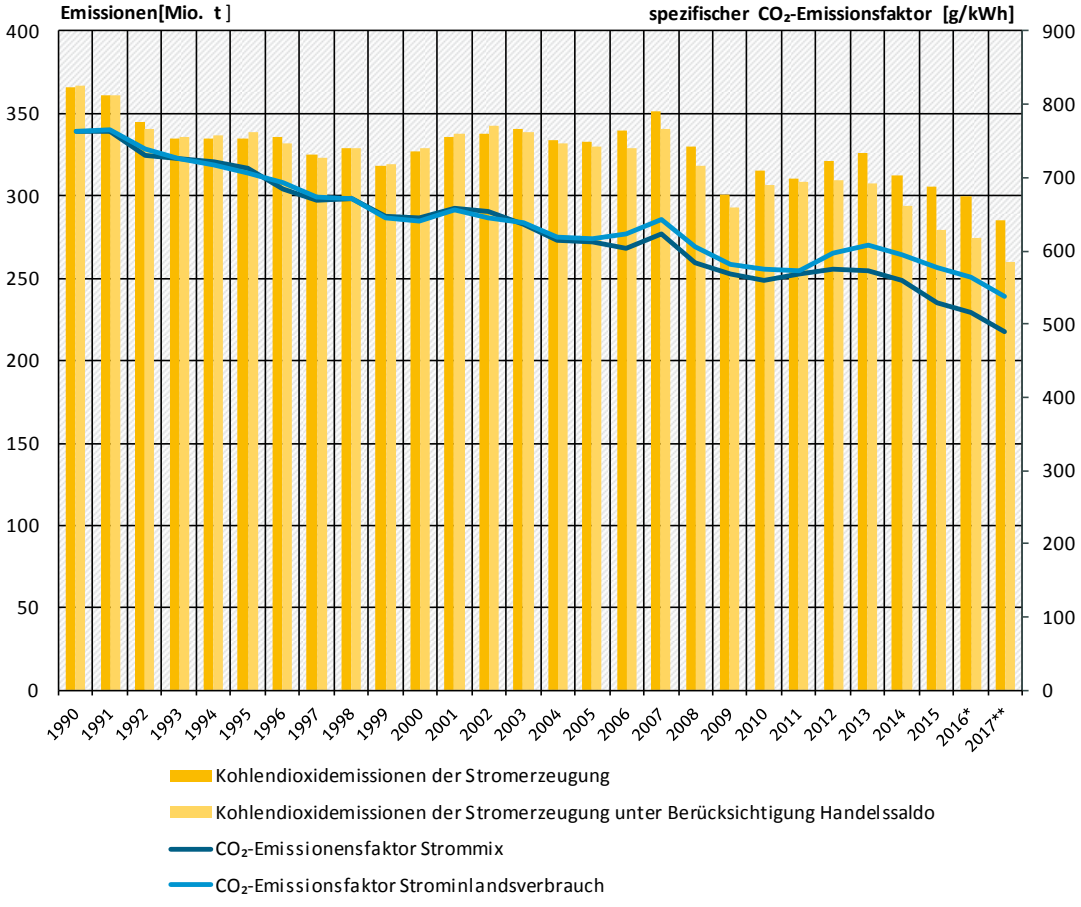
[5] UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

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

[7] UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos in Stromverbrauch und Stromemissionen

Jahr	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung [Mio. t]	CO_2-Emissions-faktor Strommix [g/kWh]	CO_2-Emissionsfaktor Strominlands-verbrauch [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo [Mio. t]
1990	366	764	763	367
1991	361	764	765	361
1992	345	730	738	341
1993	335	726	725	335
1994	335	722	718	337
1995	335	713	706	338
1996	336	685	692	332
1997	325	669	673	323
1998	329	671	672	329
1999	318	647	646	319
2000	327	644	640	329
2001	336	659	656	337
2002	338	654	646	342
2003	340	635	639	338
2004	334	615	618	332
2005	333	611	616	330
2006	340	604	623	329
2007	351	623	642	341
2008	330	584	605	318
2009	300	569	582	293
2010	315	559	574	307
2011	311	569	573	308
2012	322	574	596	310
2013	326	573	607	308
2014	313	559	595	294
2015	305	528	577	280
2016*	300	516	565	274
2017**	285	489	537	260

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2016 und erste Schätzungen 2017 im Vergleich zu CO_2-Emissionen der Stromerzeugung



2016* vorläufig 2017** geschätzt

Quellen:Umweltrbundesamt eigene Berechnungen März 2018

2 Methode zur Berechnung

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

2.1 Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

Der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix wird berechnet aus den direkten 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.

2.2 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).

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

2.3 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).

$$Emissionsfaktor\ unter\ Berücksichtigung\ des\ Handelssaldos$$

$$= \frac{\text{direkte CO2-Emissionen} - (\text{Stromhandelssaldo*Emissionsfaktor})}{\text{Stromverbrauch} - \text{Stromhandelssaldo(absolut)}}$$

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 (2).

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 (9). Anhang 3 weist die für die Berechnung zugrunde gelegten Emissionsfaktoren aus (9 sowie 10). In die Berechnung der Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung ist der Einsatz von Abfällen als Brennstoff (Hausmüll/Siedlungsabfall sowie Industriemüll) einbezogen. Berücksichtigt wird nur der fossile Anteil der Abfallmengen. Dieser wird mit 50 % des Energiegehaltes angenommen. Dabei werden die Abfallmengen aus der Fachserie 19 Reihe 1 des Statistischen Bundesamtes (Destatis) (5) mit entsprechenden Heizwerten und Emissionsfaktoren multipliziert und berichtet.

CO_2-Emissionen 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 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.

3 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. 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 2017 nach Energieträgern“ welche im Auftrag des BMWi erarbeitet und auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. veröffentlicht wird (6). Für die Erneuerbaren Energien wurde ab 2018 auf die von der AGEE - Stat berechneten und beim BMWi veröffentlichten Daten zur Stromerzeugung Bezug genommen. Gleiches gilt für den Außenhandelssaldo (12 und 13).

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

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

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

3.1 Inländischer Stromverbrauch

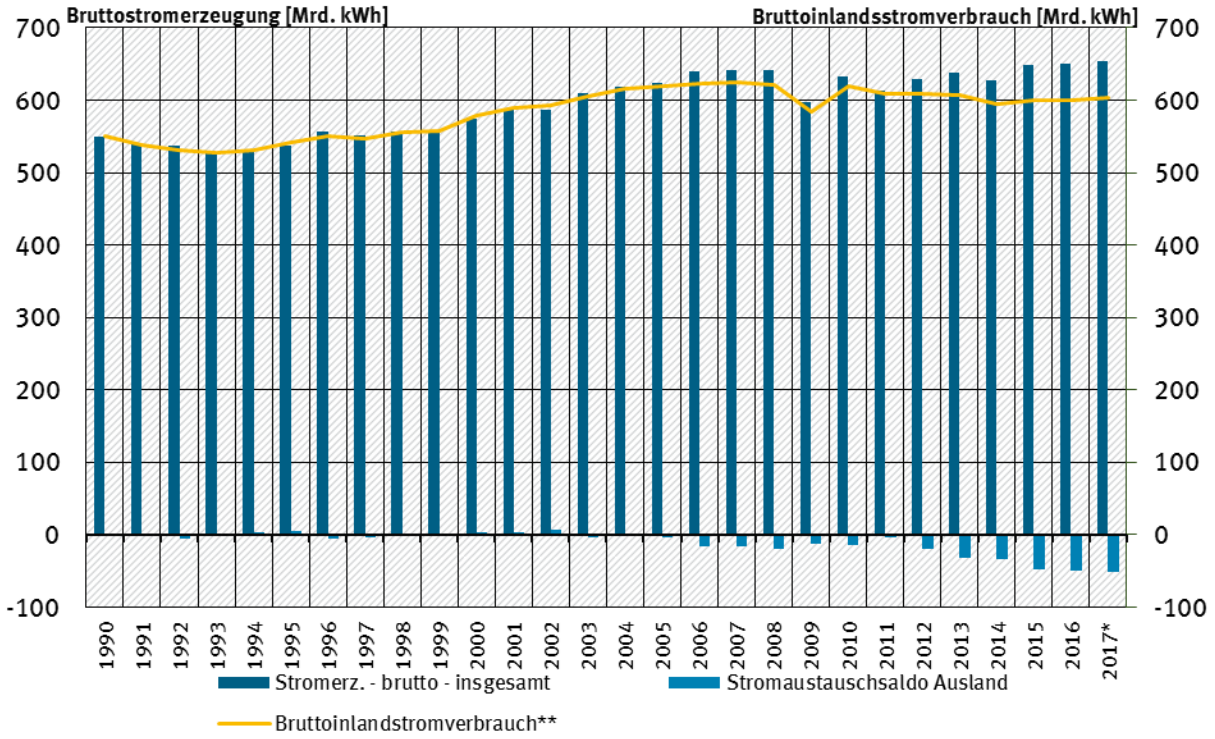
IV. Der gesamte ***inländische Stromverbrauch*** berücksichtigt den Stromhandelssaldo im Endenergieverbrauch. (inländischer Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung abzüglich Kraftwerkseigenverbrauch, Pumparbeit, Leitungsverluste und Stromhandelssaldo absolut). Hier liegt die Annahme zugrunde, dass Stromexport und –import im Netz dem gleichen Strommix unterliegen und somit der gleiche Spezifische CO_2-Faktor angewendet werden kann.

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

Der Stromhandelssaldo weist seit 2003 durchweg einem Stromexportüberschuss auf und stieg bis 2017. Während er sich in den Jahren 2006 bis 2010 zwischen ca. 2,4 % und ca. 3,5 % der Bruttostromerzeugung stabilisierte, hat er 2017 unterdessen ca. 8,0 % erreicht. Gleichzeitig stieg die Bruttostromerzeugung in 2016 (650,6 Mrd. kWh) wieder an, nachdem sie 2014 (627,8 Mrd. kWh) gegenüber 2013 (638,8 Mrd. kWh) gesunken war. 2017 erfolgte ein erneuter

Anstieg der Bruttostromerzeugung um 4,20 Mrd. kWh (6). Im Vergleich dazu hat sich der Brutto-inlandsstromverbrauch seit 2015 stabilisiert (siehe Abbildung 1).

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



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

Quelle: AGEB Stand 02.02.2018; AGEE – Stat 03/2018 UBA eigene Berechnungen

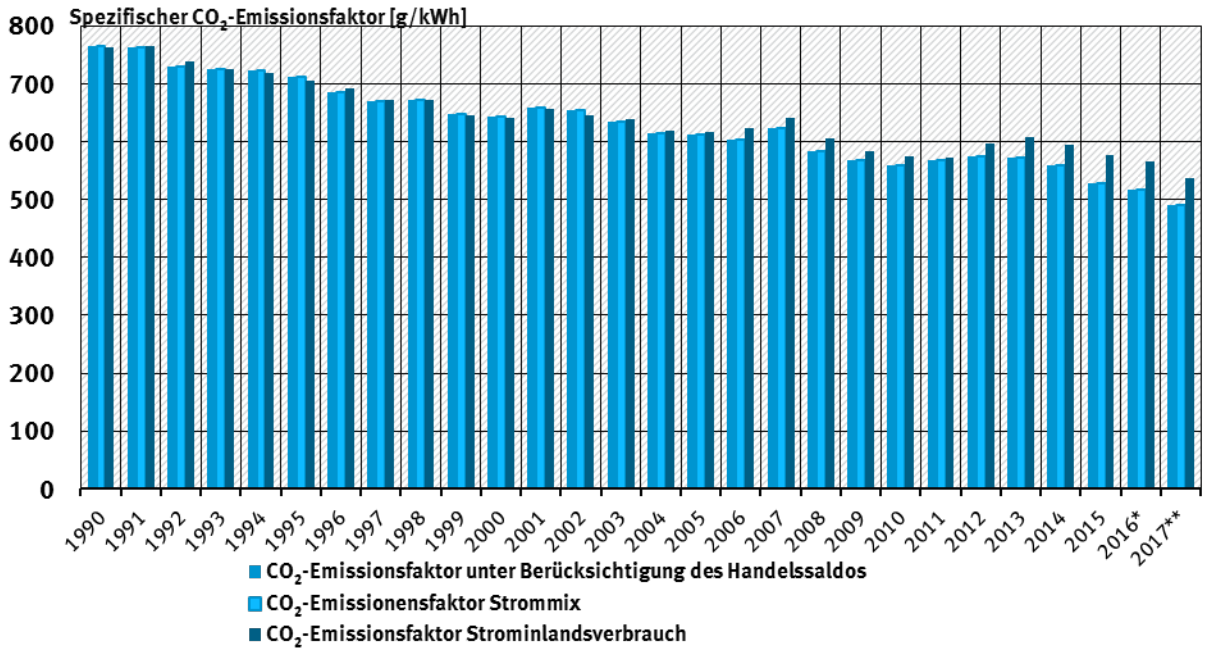
4 Zeitliche Entwicklung des Indikators

4.1 Spezifische CO_2-Emissionen des deutschen Strommixes

Die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos einer Kilowattstunde Strom (Spezifischer Emissionsfaktor) sinken in den Jahren 1990 bis 2015 von 764 g CO_2/kWh auf 528 g CO_2/kWh (siehe Abbildung 2). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 31 % pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2016 und 2017 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2016 weisen eine deutliche Verringerung auf 516 g CO_2/kWh aus, während auf der Grundlage von geschätzten Daten für 2017 489 g CO_2/kWh ermittelt wurden. Hier kommt die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung zum Tragen. Die vorläufigen Werte von 2017 zeigen eine Steigerung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung von ca. 33 %. Eine weitere Ursache ist eine Verringerung des Einsatzes an Stein- und Braunkohle zur Stromerzeugung bei gleichzeitiger Zunahme des emissionsärmeren Erdgases. Der Stromexportüberschuss im Jahr 2016 mit 53,7 Mrd. kWh und 2017 mit 55,0 Mrd. kWh hat ein neues Rekordniveau gegenüber 33,8 Mrd. kWh aus 2013 erreicht. (siehe Tabelle Bruttostromerzeugung) (6).

Aufgrund der steigerten Nettostromexporte führt der stagnierende Strominlandsverbrauch, insbesondere ab dem Jahr 2013, zu einem im Vergleich zum CO_2-Emissionsfaktor Strommix signifikant höheren CO_2-Emissionsfaktor für den Strominlandsverbrauch, d.h. die deutsche Emissionsbilanz kann nur in reduziertem Maße vom gesunkenen CO_2-Emissionsfaktor Strommix profitieren, da ihr die Emissionen aus dem exportierten Strom zugebucht werden (siehe Abbildung 2).

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



2016* vorläufig 2017** geschätzt
Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2018

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

Tabelle 2: CO_2-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO_2-Emissionsfaktor des deutschen Strommix

Brennstoff/Einheit	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/kWk]
Erdgas	201	53	382	
Steinkohle	337	40	847	516
Braunkohle	407	35	1.148	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2018

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 3).

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

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

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

Tabelle 3: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung[1]

Jahr	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas[2]	Sämtliche Energieträger
1990	40%	34%	39%	37%
1991	40%	34%	41%	37%
1992	40%	34%	43%	37%
1993	40%	35%	43%	37%
1994	40%	35%	40%	37%
1995	40%	35%	43%	38%
1996	40%	36%	45%	38%
1997	40%	37%	46%	38%
1998	40%	37%	47%	38%
1999	40%	37%	48%	38%
2000	41%	38%	45%	39%
2001	40%	37%	50%	39%
2002	40%	37%	50%	39%
2003	43%	38%	53%	40%
2004	43%	38%	51%	41%
2005	42%	38%	53%	41%
2006	40%	38%	52%	40%
2007	41%	38%	54%	41%
2008	41%	38%	54%	41%
2009	41%	38%	54%	41%
2010	42%	39%	56%	41%
2011	42%	38%	58%	43%
2012	42%	39%	56%	45%
2013	41%	39%	57%	45%
2014	41%	39%	57%	45%
2015	43%	39%	57%	47%
2016*	44%	39%	58%	48%

2016* vorläufig

Quellen: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2018

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

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

Von 1990 bis 2005 sinkt der Emissionsfaktor mit deutlichen Schwankungen in einzelnen Jahren, die auf signifikante Veränderungen im Kraftwerkspark zurückzuführen sind. Es lassen sich verschiedene Phasen in der Entwicklung des Indikators unterscheiden (siehe Abbildung 2). In der ersten Phase von 1990 bis 2000 sinkt der Emissionsfaktor wegen Wirkungsgradverbesserungen im konventionellen Kraftwerkspark, bedingt durch die Abschaltung ineffizienter Altanlagen in

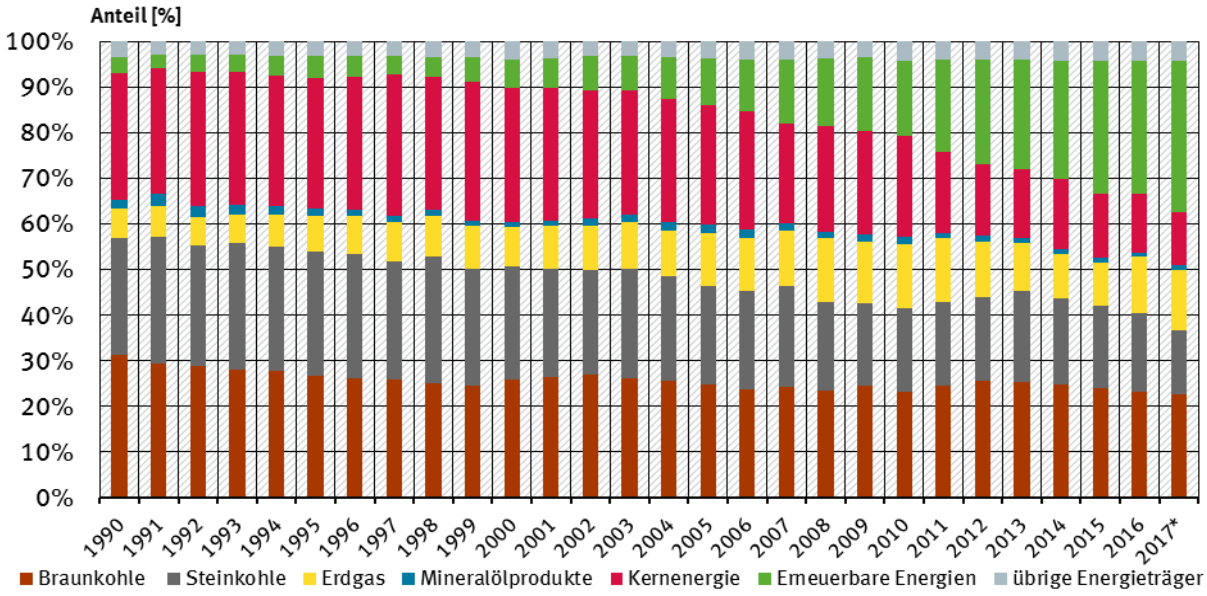
den neuen Bundesländern. Der Anstieg zwischen 2000 bis 2001 ist auf die Inbetriebnahme neuer Braunkohlenkraftwerke zurückzuführen. Ab 2003 führt der steigende Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung wieder zu einer Senkung des Emissionsfaktors. Im Jahr 2007 führte der prozentual gestiegene Anteil der konventionellen Brennstoffe zur Stromerzeugung kurzfristig zu einem Anstieg des 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 der Wirtschaftskrise durch geringere Stromverbräuche 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 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 die Erhöhung des Gaseinsatzes ab 2016 zur Stromerzeugung aus. Für den „CO_2-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ ist eine gleichverlaufende Entwicklung zu verzeichnen, deren absoluter Verlauf von der Größe des Stromhandelssaldos abhängig ist. In den Jahren 2006 bis 2010 bewegte sich der Stromexportüberschuss noch auf hohem Niveau. Durch die Abschaltung von Kernkraftwerken im Jahr 2011 sinkt er auf fast 6 Mrd. kWh, um in 2014 mit ca. 35 Mrd. kWh eine erneute Steigerung sowie in 2015 mit über 51 Mrd. kWh eine sprunghafte Erhöhung zu erfahren und mit ca. 55 Mrd. kWh in 2017 wiederholt einen höchsten Stand zu erreichen (6).

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. Dieses Vorgehen führt im Jahr 1995 mit dem bis dahin größten Stromimportsaldo von 4,8 Mrd. kWh zu einer Überschätzung des „Emissionsfaktors Strominlandsverbrauch“ von 1,1 % zum „Emissionsfaktor“ und ist in der Zeitreihenbetrachtung ab dem Jahr 2003 nicht mehr relevant, da seither ein permanenter Stromhandelsexportüberschuss zu verzeichnen ist.

So kann für die Jahre 1990 bis 2002 von sehr geringen Abweichungen zum CO_2-Emissionsfaktor (ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos) gesprochen werden, da dieser Stromhandelssaldo sowohl export– als auch importseitig bis zu einem Maximalwert von 5 TWh schwankte und somit ca. 1 % der Bruttostromerzeugung betrug. Ab 2003 überwogen die Stromflüsse ins Ausland gegenüber den Importen und somit stieg der Einfluss des Stromhandelssaldos auf den CO_2-Emissionsfaktor (vgl. 3.1).

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



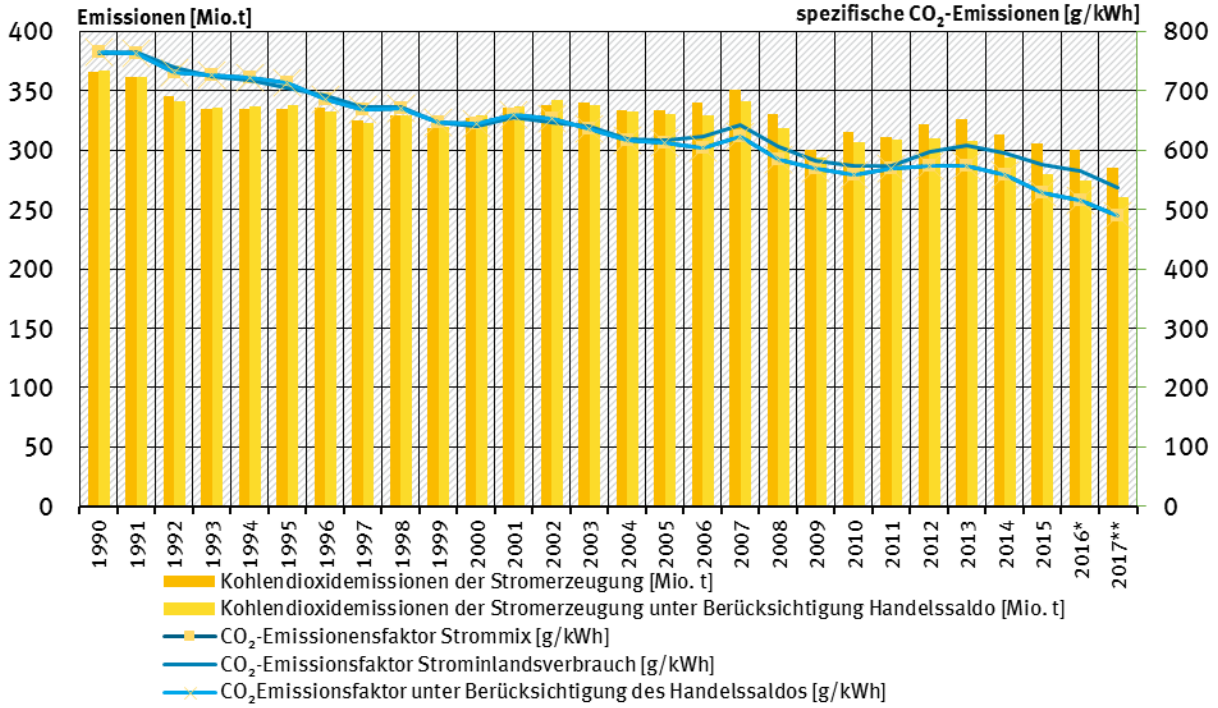
* vorläufig z.T geschätzt
Quelle: AGEB Stand 2.2.2018, eigene Berechnungen UBA, AGEE - Stat 03/2018

Ab dem Jahr 1999 nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energieträger am Strommix deutlich zu. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms zwischen 1998 und 2016 von ca. 4,7 % auf ca. 29,2 %, um 2017 mit über 33 % einen neuen Höchststand zu erreichen. Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen per Definition keine direkten CO_2-Emissionen verursacht, sinkt mit ihrer Zunahme der Emissionsfaktor für den Strommix. Deutlich überlagert wird dieser positive Effekt jedoch durch die schon erwähnte Inbetriebnahme neuer fossiler Kraftwerkskapazitäten in den Jahren 1999 bis 2001. Erst ab dem Jahr 2002 wird der steigende Anteil erneuerbarer Energien und der Wechsel zwischen dem Brennstoffeinsatz Steinkohle und Erdgas zur Stromerzeugung in der Entwicklung des Indikators sichtbar. Dies erklärt die Entwicklung absoluter und spezifischer Emissionen.

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

4.2 Entwicklung gesamte CO_2-Emissionen aus der Stromerzeugung

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



2016* vorläufig 2017** geschätzt
Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2018

Sinkenden spezifischen Emissionen zwischen 1990 und 2017 aus der Stromerzeugung stehen in der Summe sinkende Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung gegenüber.

Schwankungen in den absoluten Kohlendioxidemissionen sind bedingt durch:

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

Wurden im Jahr 1990 noch 366 Mio. Tonnen Kohlendioxid aus der Stromerzeugung emittiert, so waren es 305 Mio. Tonnen im Jahr 2015. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtemissionen der Stromerzeugung von ca. 16 %. Für das Jahr 2017 wird eine Verringerung der Kohlendioxideinsparung im Stromsektor um ca. 22 % (absolut 285 Mio. Tonnen Kohlendioxid) gegenüber 1990 erwartet.

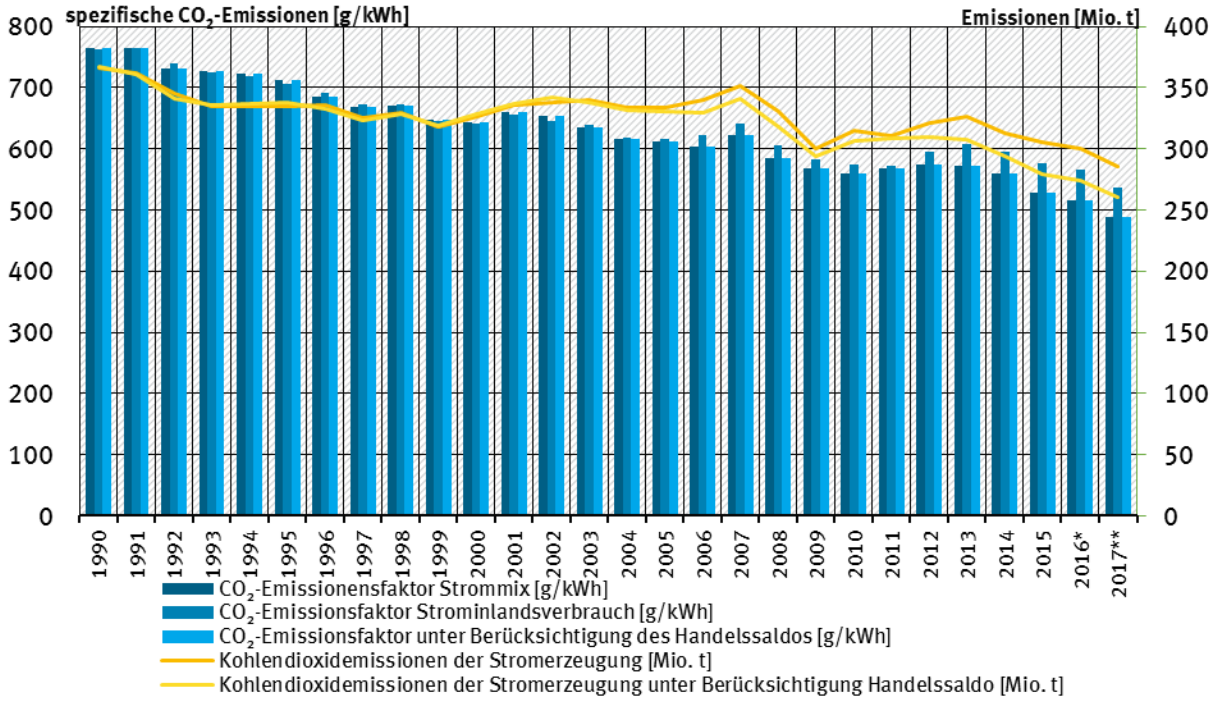
Überarbeitungen im Bereich der Abfall- und Ersatzbrennstoffe und Aktualisierungen der Datenquellen für die Emissionsberechnungen, zum Beispiel der Energiebilanzen und der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien, führten zu Korrekturen im Bereich der absoluten Kohlendioxidemissionen gegenüber der Erstveröffentlichung. Die Aktualisierung der Energiebilanzen seitens der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) wurde im Bericht „Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009“ mit Stand vom 08.10.2012 dokumentiert und ist auf der Internetseite der AGEB abrufbar (8). Die Aktualisierungen zu Berechnungen der Emissionen aus Ab-

fällen und Sekundärbrennstoffen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR) dokumentiert (9). Die Daten zur Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sind auf der Internetseite der AGEE – Stat veröffentlicht. (13) Im Zusammenspiel von Stromverbrauch und spezifischen Kohlendioxidemissionen ergibt sich ein Minimum der absoluten Kohlendioxidemissionen im Betrachtungszeitraum ab 2003 im Jahr 2009 von ca. 300 Mio. Tonnen. Dies entsprach einer Reduzierung von ca. 18 % gegenüber 1990. Entsprechend dieser Entwicklung weist im Jahr 2015 der „Emissionsfaktor“ 528 g CO_2/kWh und der „Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ 577 g CO_2/kW aus. Hier wird der Einfluss des Stromhandelssaldos deutlich.

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

Nachdem nach 2009 wieder eine Steigerung der Emissionen aus der Stromerzeugung zu verzeichnen war, weisen die Daten ab dem Jahr 2014 auf sinkende CO_2-Emissionen. Dies bedingt auch sinkende Emissionsfaktoren ab 2013 von 573 g CO_2/kWh auf 516 g CO_2 /kWh im Jahr 2016 (vorläufig). Unter Schwankungen ist ein sinkender Trend feststellbar.

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



2016* vorläufig 2017** geschätzt
Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2018

5 Zusammenfassung

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

Die bisherige Entwicklung des in Summe sinkenden Trends von 764 g CO_2/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 528 g CO_2/kWh im Jahr 2015 ist positiv zu bewerten.

Auch der für 2016 hochgerechnete CO_2-Emissionsfaktor in Höhe von 516 g CO_2/kWh und der für 2017 geschätzte Wert von 489 g CO_2/kWh bestätigen den sinkenden Trend.

Der bemerkenswerte Ausbau der erneuerbaren Energien hat eine spürbare Senkung des Kohlendioxid-Emissionsfaktors zur Folge. Dieser Effekt wird allerdings für die Jahre 2010 bis 2013 stark überlagert durch den Umbau des fossilen Kraftwerksparks. Eine verstärkte Verstromung von Kohle durch den Zubau neuer Kohlenkraftwerke führte sowohl zu steigenden absoluten, als auch spezifischen Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung, da Kohlenkraftwerke einen deutlich höheren Emissionsfaktor als der deutsche Strommix haben. Ab dem Jahr 2014 führten der wieder gesunkene Stromverbrauch und der weitere Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu einer Verringerung der absoluten und spezifischen CO_2-Emissionen.

Für 2017 wird trotz leicht gestiegenem Stromverbrauch eine Verringerung der Emissionen der Stromerzeugung und der spezifischen CO_2-Emissionen geschätzt. Dies ist auf den weiter stark gestiegenen Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung, die Steigerung der elektrischen Wirkungsgrade bei neu gebauten Kraftwerken und den erhöhten Anteil von Erdgas bei der Stromerzeugung zurück zu führen.

Der stetig seit 2004, 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. 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.

Vergleichsweise wurden auch die Emissionen berechnet, die sich ohne eine Anrechnung des Stromhandelsexportüberschusses auf den deutschen Stromverbrauch ergeben würde. Für das Jahr 2015 würden sich die direkten CO_2-Emissionen für die Stromerzeugung von 305 Mio. t auf 280 Mio. t (ohne Stromhandelssaldo) verringern. Für 2017 wird diese Differenz auf 25 Mio. t Kohlendioxid geschätzt.

Für das Erreichen der Klimaziele ist es notwendig, dass die absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung 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 Reduzierung des Stromhandelsexportüberschusses, der Umstieg auf CO_2-arme Brennstoffe und der Ausbau der Kraft-Wärmekopplung sowie die Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung. Aber auch der sparsame Umgang mit Strom ist ein wichtiges Mittel für die Kohlendioxidreduzierung.

6 Quellenverzeichnis

(1) IPCC-Guidelines 2006

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

(aufgerufen am 20.04.2015)

(2) AGEB; Stand April 2010 "Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland" Seite 10

http://www.ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf

(aufgerufen am 20.04.2015)

(3) Umweltbundesamt, FG I 2.6; Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) Stand 03/2018

(4) Umweltbundesamt; FG I 2.5: Eigene Berechnungen auf Grundlage der Tabelle „Stromerzeugung nach Energieträgern 1990-2017" der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB),

https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20171221_brd_stromerzeugung1990-2017.pdf

(aufgerufen am 14.03.2018)

(5) Destatis, 2016, Stand März 2018, Fachserie 19 Reihe 1

(6) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2017 nach Energieträgern Stand 02.02.2018

https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20171221_brd_stromerzeugung1990-2017.pdf

(aufgerufen am 15.03.2017)

(7) Kraftwerksdatenbank des UBAs-UBA-interne Angaben zu Wirkungsgraden
https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland

(aufgerufen am 26.03.2018)

(8) AGEB, Stand 08.10.2012 Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009

http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=63

(aufgerufen am 01.02.2013)

(9) Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2018, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018, Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016, 15.03.2018. Veröffentlichung unter

http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envwqujha/

(aufgerufen am 20.03.2018)

(10) ÖKO-INSTITUT, 2004c CO_2 Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen Inventare. Teilbereich für den nationalen Inventarbericht 2004Veröffentlichung in
http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/deu_2004_nir_30apr.zip, Kapitel 13.8

(11) AGEB, Stand März 2018, Energiebilanzen 2015 (Stand 10.08.2017),

https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz15d.xlsx

(aufgerufen am 20.03.2018)

(12) Destatis; 2016; Stand März-2018, Monatserhebung der Elektrizitätsversorgung;–Code 43311-0003
https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/logon?language=de&sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=43311-0003

(aufgerufen am 20.03.2018)

(13) AGEE – Stat; Stand März 2018, Tabelle 3 „ Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990-2017"

http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html

(aufgerufen am 20.03.2018)

Anhang 1: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio. t

Jahr	Braunkohlen	Steinkohlen	Erdgas	Mineralöle	Müll (fossil)	sonstige	gesamt
1990	200	118	18	9	4	17	366
1991	187	126	18	11	4	17	361
1992	180	120	15	10	4	16	345
1993	171	123	15	8	3	14	335
1994	168	122	18	8	4	16	335
1995	162	124	19	7	6	17	335
1996	159	128	21	7	6	16	336
1997	155	120	21	6	6	17	325
1998	149	127	22	6	7	18	329
1999	148	119	22	6	6	17	318
2000	157	118	22	6	6	17	327
2001	166	115	22	7	7	18	336
2002	170	113	23	7	6	20	338
2003	167	115	24	8	8	17	340
2004	165	111	25	9	7	17	334
2005	162	109	28	10	8	17	333
2006	159	116	29	8	9	19	340
2007	164	118	29	8	10	22	351
2008	158	102	33	8	9	20	330
2009	153	89	30	8	9	12	300
2010	151	95	32	7	10	20	315
2011	156	91	30	5	9	19	311
2012	166	94	27	6	9	19	322
2013	163	104	24	5	9	21	326
2014	159	97	22	5	10	19	313
2015	157	92	22	5	10	20	305
2016*	153	86	28	4	10	19	300
2017**	151	71	30	5	10	19	285

* vorläufige Daten ** geschätzte Daten Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt, ZSE; März 2018

Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

Jahr	Kern-energie	Stein-kohle	Braun-kohle	Erdgas	Mine-ral-öl-produk-te	Wasser-kraft Lauf-wasser	Wind-energie	Biomas-se	Photo-voltaik	Müll	übrige Energie-träger	Wasser-kraft Pump-arbeit (ab-züglich)	Strom-verbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom-handels-saldo
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]
1990	135	124	151	32	10	15	0	0	0	1	17	5	479	32	31	1
1991	131	133	140	32	13	13	0	0	0	1	14	5	473	30	31	-1
1992	141	126	137	29	12	15	0	0	0	1	14	5	472	28	34	-5
1993	136	130		29	9	16	1	0	0	1	14	5	462	33	33	1
1994	134	128	130	32	9	18	1	1	0	1	15	5	464	36	33	3
1995	137	130	126	36	8	19	1	1	0	1	16	6	470	40	35	5
1996	144	136	129	41	7	20	2	1	0	1	16	6	491	37	43	-5
1997	152	128	127	43	7	16	3	1	0	1	16	6	486	38	41	-3
1998	144	137	124	45	6	15	4	1	0	1	17	5	491	38	39	-1
1999	152	128	122	46	6	18	5	2	0	2	18	5	492	41	39	1
2000	151	128	132	44	5	19	9	3	0	2	20	6	507	45	42	3
2001	151	122	136	49	5	20	9	3	0	2	19	6	509	47	44	3
2002	147	120	141	50	8	21	14	4	0	2	16	6	517	51	45	7
2003	147	131	141	56	9	16	17	6	0	2	18	8	536	49	52	-3
2004	149	126	141	56	10	18	23	7	1	2	19	9	542	48	51	-3
2005	145	119	137	65	11	17	25	10	1	3	21	10	545	57	61	-5
2006	149	123	135	67	10	18	28	13	2	3	23	9	563	49	65	-17

Jahr	Kern-energie	Stein-kohle	Braun-kohle	Erdgas	Mine-ral-öl-produk-te	Wasser-kraft Lauf-wasser	Wind-energie	Biomas-se	Photo-voltaik	Müll	übrige Energie-träger	Wasser-kraft Pump-arbeit (ab-züglich)	Strom-verbrauch insgesamt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom-handels-saldo
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]
2007	126	127	139	70	9	19	36	18	3	4	24	9	564	46	63	-17
2008	133	111	135	80	9	18	37	21	4	4	22	8	565	42	62	-20
2009	121	97	131	73	9	17	35	24	6	4	19	8	528	42	54	-12
2010	127	106	132	81	8	19	35	26	11	4	24	9	564	43	58	-15
2011	98	101	136	78	7	16	45	29	18	4	23	8	546	51	55	-4
2012	90	105	145	69	7	20	47	35	24	5	23	8	560	46	67	-21
2013	88	115	145	61	7	21	48	36	28	5	24	8	569	39	71	-32
2014	88	107	141	55	5	18	53	38	33	6	24	8	560	40	74	-34
2015	83	106	140	56	6	17	73	40	35	5	25	8	578	37	85	-48
2016*	77	102	135	74	5	19	72	41	35	5	25	7	582	28	79	-51
2017**	69	84	133	78	5	18	96	41	36	5	25	8	583	28	80	-52

* vorläufige Daten ** geschätzte Daten Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt, eigene Berechnungen, März 2018

Der Stromverbrauch errechnet sich aus der Bruttostromerzeugung abzüglich der anteiligen Verluste durch Kraftwerkseigenbedarf, Leitungsverluste (Anteils an der Bruttostromerzeugung)und Pumparbeit (nur Wasserkraft Pumpspeicher!).

Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material	[kg/TJ]
Andere Mineralölprodukte	80904
Braunkohlenbriketts	99518
Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle	98044
Deponiegas	111396
Dieselkraftstoff	74027
Erdgas	55936
Flüssiggas	66333
Gicht- u. Konvertergas	256701
Grubengas	68118
Hartbraunkohle	94800
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91510
Heizöl, leicht	74020
Heizöl, schwer	81626
Industriemüll fossil	71133
Klärgas	104894
Kokerei-/Stadtgas	41094
Petrolkoks	103771
Raffineriegas	62369
Rohbraunkohle Helmstedt	97920
Rohbraunkohle Hessen	102472
Rohbraunkohle Lausitz	111265
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	103897
Rohbraunkohle Rheinland	113036
Rückstände Papierindustrie, fossil	86222
Sonderabfall	82989
Sonstige hergestellte Gase	166257
Steinkohle	93562
Steinkohlenbriketts	95913
Steinkohlenkoks	108130

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE Submission 2018 Stand 03/2018