

CLIMATE CHANGE

15/2017

# Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2016



CLIMATE CHANGE 15/2017

# **Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2016**

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 2017

**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 2017

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<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix**, der **CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix** und der **CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos**. Die Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos werden zusätzlich ausgewiesen.

Die jährliche Fortschreibung und Aktualisierung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommixes erfolgt auf Basis der Emissionen entsprechend dem Berichtsstand der Treibhausgasberichterstattung an das Klimasekretariat und der Stromerzeugung entsprechend den Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und des statistischen Bundesamtes für die Zeitreihe ab 1990 – 2015. 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.

Da Deutschland seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss aufweist, der über die letzten Jahre erheblich an Bedeutung gewonnen und im Jahr 2016 mit fast 54 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat, wird der Einfluss des Stromhandelssaldos auf den Strommix seit 2012 um eine zusätzliche Ausweisung des Emissionsfaktors für den Strominlandsverbrauch ergänzt. Gleichzeitig wird deutlich, welche Emissionsmengen dem Stromhandelssaldo zugerechnet werden können. Der Anstieg der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 gegenüber 2014 in Höhe von 21,7 Mrd. kWh ist zu 83 Prozent auf den Anstieg des erzeugten Stromhandelssaldoüberschuss zwischen diesen Jahren von 18,1 kWh zurückzuführen.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

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 <sub>2</sub> -Emissionen des deutschen Strommixes .....	15
4.2 Entwicklung gesamte CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Stromerzeugung.....	20
5 Zusammenfassung .....	22
6 Quellenverzeichnis.....	23
Anhang 1: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE in Mio t .....	24
Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch .....	25
Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE .....	27

## 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 <sub>2</sub> -Emissionsfaktor des Stroms .....	9
Tabelle 2:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor des deutschen Strommixes .....	16
Tabelle 3:	Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung .....	17

## Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen e.V.
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
EB	Energiebilanz
EU	Europäischer Union
CO <sub>2</sub>	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<sub>2</sub>-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 2014 durchschnittlich 564 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind ca. 197 g/kWh oder ca. 26 % weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2015 auf der Basis vorläufiger Daten sind dies 534 g/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2016 ergeben 527 g/kWh und somit 234 g oder ca. 31 % weniger als 1990.

Gemäß internationalen Bilanzierungsvorgaben (1) sind alle Emissionen der Stromerzeugung – also auch Stromhandelsüberschüsse - dem Land zuzurechnen, in dem sie entstehen. Der diese Bilanzierungsvorgaben berücksichtigende CO<sub>2</sub>-Faktor erhöht sich damit entsprechend dem Stromhandelssaldo. Da Deutschland seit dem Jahr 2003 beim Stromexport einen Überschuss aufweist, der über die letzten Jahre erheblich an Bedeutung gewonnen und im Jahr 2016 mit fast 54 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat, erfolgte im Jahr 2013 die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos – im Folgenden genannt **„Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix“**. Die Entwicklung des „Emissionsfaktors Inlandverbrauch“ im deutschen Strommix ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in Tabelle 1 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmethoden liegt im Jahr 2016 bei 53 g/kWh bzw. 28 Mio t CO<sub>2</sub>. Um diese Menge würden sich die deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Stromsektor reduzieren, wenn das Stromhandelsaldo ausgeglichen wäre.

Ein weiterer Indikator wurde berechnet, um die spezifischen CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Stroms

Jahr	Kohlendi-oxid-emissionen der Strom-erzeugung <sup>1</sup> [Mio. t]	Stromver-brauch <sup>2</sup> [TWh]	CO <sub>2</sub> -Emissio-nensfaktor Strommix <sup>3</sup> [g/kWh]	Stromver-brauch unter Berück-sichtigung des Stromhandels-saldos <sup>4</sup> [TWh]	CO <sub>2</sub> -Emissions-faktor Stro-minlands-verbrauch <sup>5</sup> [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksich-tigung Strom-handelssaldo <sup>6</sup> [Mio. t]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfak-tor unter Be-rücksichtigung des Stromhan-delssaldos <sup>7</sup> [g/kWh]
1990	366	482	761	482	759	367	761
1991	361	476	760	475	761	361	760
1992	345	475	726	470	734	341	726
1993	335	463	723	464	722	336	723
1994	335	465	721	467	718	337	721
1995	335	470	712	475	705	338	712
1996	336	488	689	482	696	332	689
1997	325	489	665	486	668	324	665
1998	329	492	669	491	670	329	669
1999	318	494	645	495	644	319	645
2000	327	510	640	514	636	329	640
2001	336	511	657	509	659	335	657
2002	338	519	651	520	650	339	651
2003	340	538	633	530	643	335	633
2004	333	544	612	537	621	329	612
2005	333	547	609	539	618	328	609
2006	340	564	602	544	624	328	602
2007	351	566	621	546	643	339	621
2008	330	566	583	544	608	317	583
2009	301	529	568	515	584	292	568
2010	316	565	558	548	576	306	558
2011	315	547	576	541	583	311	576
2012	326	561	580	538	605	312	580
2013	331	570	580	537	617	311	580
2014	316	561	564	525	602	296	564
2015*	309	578	534	527	587	281	534
2016* *	306	581	527	527	580	278	527

2015\* vorläufig

2016\*\* geschätzt

Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2017

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventars 1990-2015 (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 - Pumpstrom - Leitungsverluste + Stromeinfuhr - Stromausfuhr

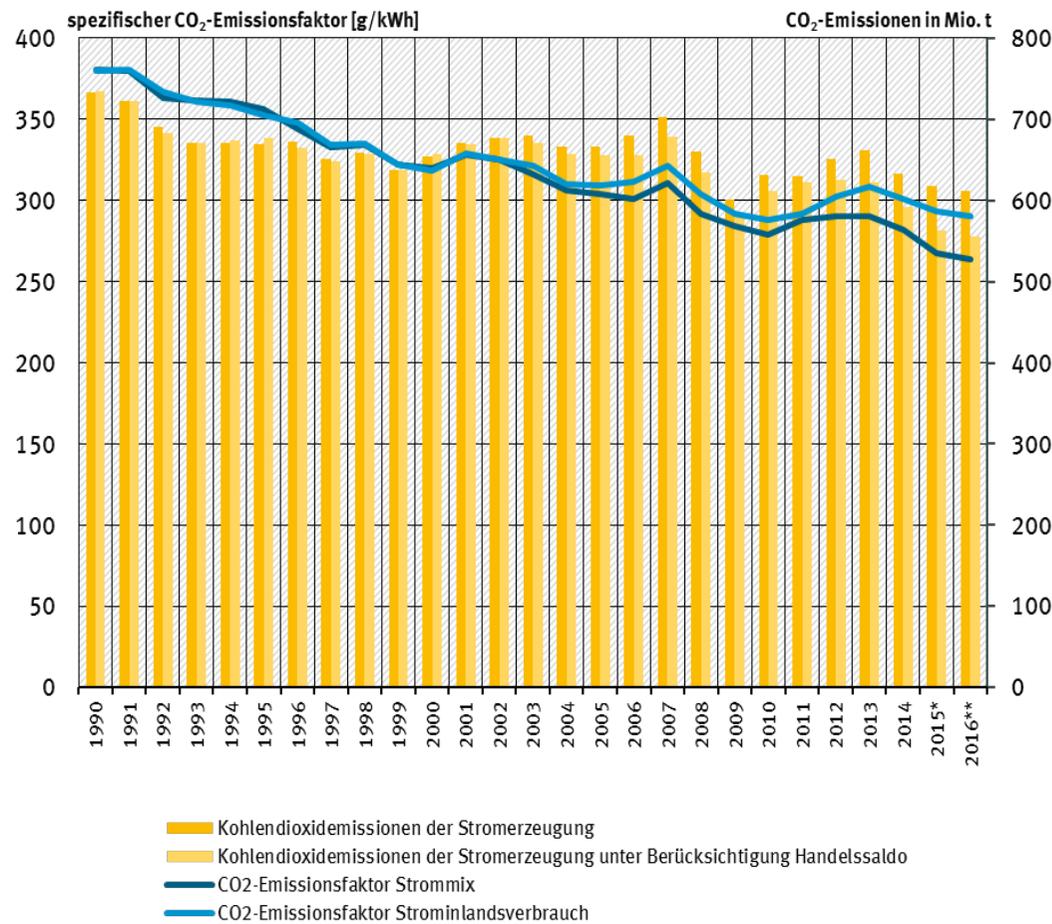
5 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

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 <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Stromhandels-saldo [Mio. t]
1990	366	761	759	367
1991	361	760	761	361
1992	345	726	734	341
1993	335	723	722	336
1994	335	721	718	337
1995	335	712	705	338
1996	336	689	696	332
1997	325	665	668	324
1998	329	669	670	329
1999	318	645	644	319
2000	327	640	636	329
2001	336	657	659	335
2002	338	651	650	339
2003	340	633	643	335
2004	333	612	621	329
2005	333	609	618	328
2006	340	602	624	328
2007	351	621	643	339
2008	330	583	608	317
2009	301	568	584	292
2010	316	558	576	306
2011	315	576	583	311
2012	326	580	605	312
2013	331	580	617	311
2014	316	564	602	296
2015*	309	534	587	281
2016**	306	527	580	278

### Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2015 und erste Schätzungen 2016 im Vergleich zu CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung



2015\* vorläufig 2016\*\* geschätzt

Quellen:Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2017

## 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 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<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung für die einzelnen Brennstoffe sind in Anhang 1 aufgeführt, der aus der Bruttostromerzeugung berechneter 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<sub>2</sub>-Emissionen die bei der gesamten Stromerzeugung entstehen (I) und einem inländischen Stromverbrauch. Dieser entspricht dem Endverbrauch netto im Inland (IV) abzüglich des Stromhandelssaldos (III).

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

### 2.3 Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

Der Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos wird iterativ berechnet. Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Stromerzeugung entstehen (I) werden korrigiert um den Wert des mit dem Emissionsfaktor für den deutschen Strommix bewerteten Stromhandelssaldos (IV).

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

### 2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung

#### *1. 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<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Emissionen aus erneuerbaren Energien werden gemäß Bilanzierungsregeln des UNFCCC zur Treibhausgasberichterstattung unter dem Kyoto-Protokoll als CO<sub>2</sub>-neutral bilanziert und gehen in die Berechnung der Emissionen mit dem Wert „0“ ein.

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.***

*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 des Pumpstromverbrauchs von der gesamten Bruttostromerzeugung. Die Angaben zu Pumpströmen wurden 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 Bruttostromerzeugung ist die Tabelle „Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2016 nach Energieträgern“ welche im Auftrag des BMWi erarbeitet und auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. veröffentlicht wird (6).

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 Daten für die Unterteilung des Stromes aus Wasserkraft in der Pump- und Laufwasserstrom erhält das Umweltbundesamt nachrichtlich vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW).

#### **Strommenge Endverbrauch**

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

#### **3.1 Inländischer Stromverbrauch**

**IV.** Der gesamte **inländische Stromverbrauch** berücksichtigt den Stromhandelssaldo im Endenergieverbrauch. (inländischer Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung abzüglich Kraftwerkseigenverbrauch, Pumpstrom, Leitungsverluste und Stromhandelssaldo absolut). Hier liegt die Annahme zugrunde, dass der Stromexport und -import im Netz dem gleichen Strommix unterliegen und somit der gleiche Spezifische CO<sub>2</sub>-Faktor angewendet werden kann.

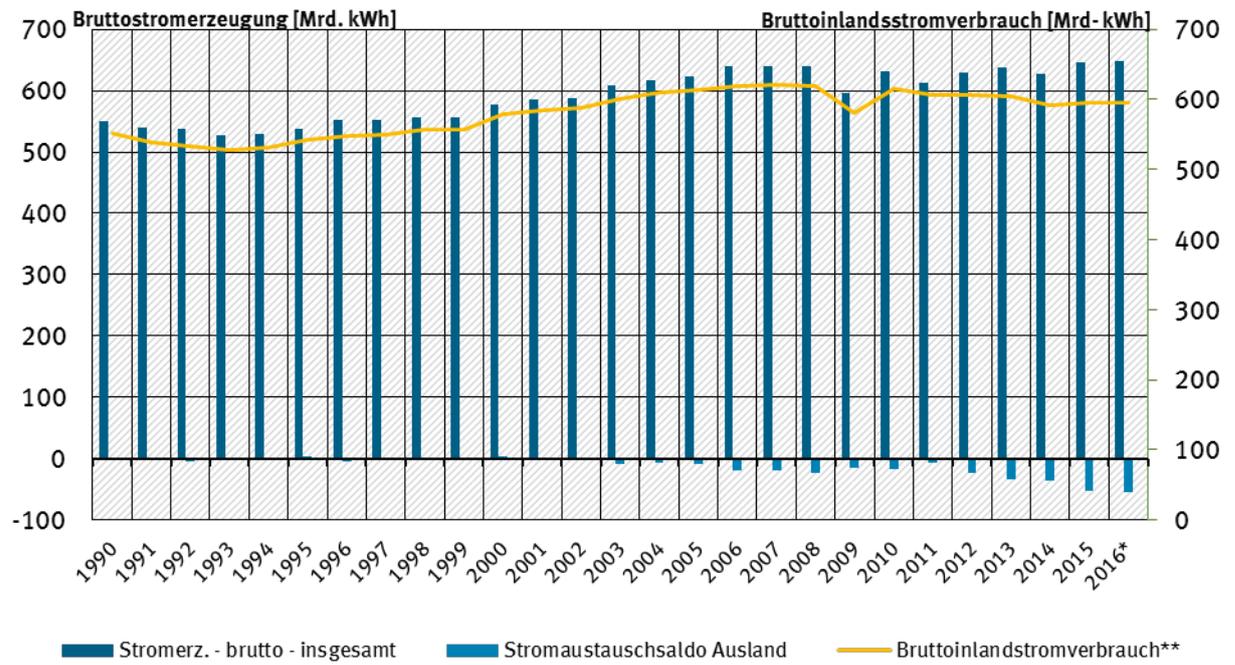
#### **inländischer Stromverbrauch**

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

In dieser Veröffentlichung wurde die Berechnung des Verbrauchs von aus der Abfallverbrennung erzeugtem Strom auf der Grundlage der Bruttostromerzeugung aktualisiert.

Der Stromhandelssaldo – seit 2003 durchweg mit einem Stromexportüberschuss – stieg bis 2016. Während er sich in den Jahren 2006 bis 2010 zwischen ca. 2,4 % und ca. 3,5 % der Bruttostromerzeugung stabilisierte, hat er 2016 unterdessen 8,3% erreicht. Gleichzeitig stieg die Bruttostromerzeugung in 2016 (648,4 Mrd kWh) wieder an, nachdem sie 2014 (626,7 Mrd kWh) gegenüber 2013 (637,7 Mrd kWh) gesunken war. Der Anstieg der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 gegenüber 2014 in Höhe von 21,7 Mrd. kWh ist zu 83 Prozent auf den in diesen beiden Jahren erzeugten Stromhandelssaldoüberschuss von 18,1 kWh zurückzuführen(6)(siehe Abbildung 1).

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



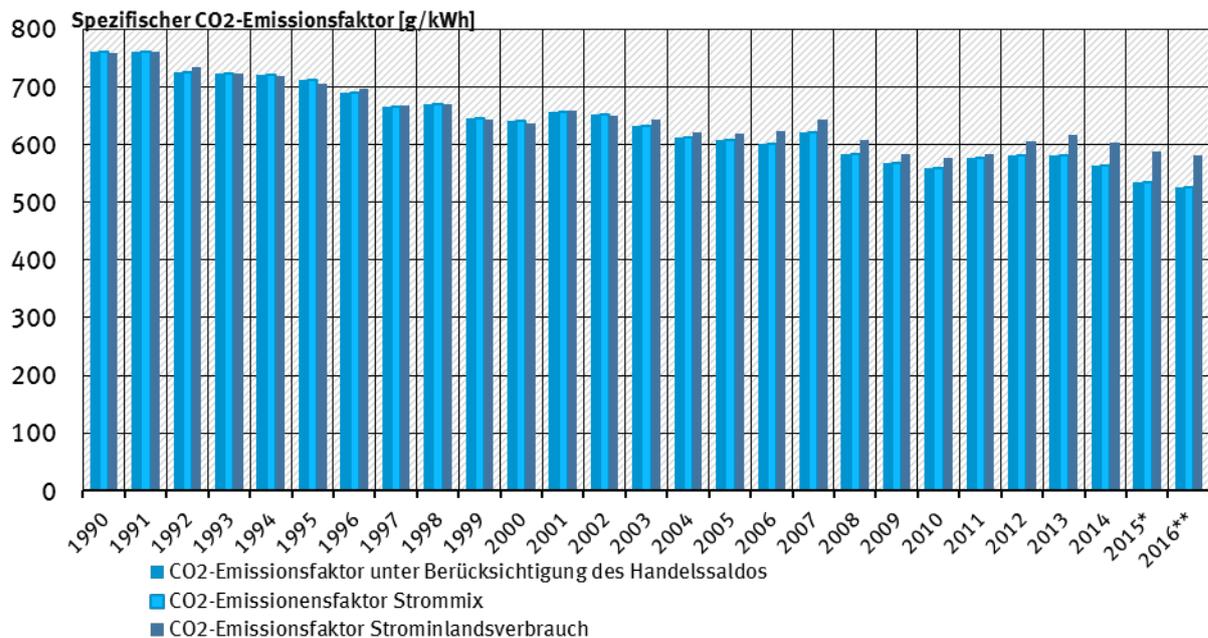
\* vorläufig z.T geschätzt \*\* einschließlich Netzverluste und Eigenverbrauch  
 Quelle: AGEB Stand 7.2.2017

## 4 Zeitliche Entwicklung des Indikators

### 4.1 Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommixes

Die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos einer Kilowattstunde Strom (Spezifischer Emissionsfaktor) sinken in den Jahren 1990 bis 2014 von 761 g/kWh auf 564 g/kWh (siehe Abbildung 2). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 26- % pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2015 und 2016 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2015 weisen eine deutliche Verringerung auf 534 g/kWh aus, während auf der Grundlage von geschätzten Daten für 2016 527 g/kWh ermittelt wurden. Hier kommt die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien von 25,8 Prozent an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2014 und auf 29 Prozent im Jahr 2015 zum Tragen. Weitere Ursache ist eine Verringerung des Einsatzes an Steinkohle zur Stromerzeugung bei gleichzeitige Zunahme des emissionsärmeren Erdgas. Der Stromexportüberschuss im Jahr 2015 mit 51,8 Mrd. kWh und 2016 mit 53,7 Mrd. kWh hat ein neues Rekordniveau gegenüber 35,6 Mrd. kWh aus 2014 erreicht. (siehe Tabelle Bruttostromerzeugung) (6).

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



2015\* vorläufig 2016\*\* geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2017

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<sub>2</sub>-Emissionsfaktor wie Kohle zu Gunsten eines Energieträgers mit niedrigerem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor wie eines erneuerbaren Energieträgers (Null angerechnete CO<sub>2</sub>-Mengen) oder Erdgas, so sinkt auch der Emissionsfaktor des Strommixes. Tabelle 2 zeigt die direkten Emissionsfaktoren der drei wichtigsten fossilen Brennstoffe im Vergleich zum Emissionsfaktor des deutschen Strommixes gesamt.

Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des deutschen Strommixes

Brennstoff/Einheit	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktorbezogen auf den Brennstoffeinsatz [g/kWh]	Brennstoffausnutzungsgrad netto bezogen auf den Stromverbrauch 2015 [%]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor bezogen auf den Stromverbrauch 2015 [g/kWh]	Vergleich CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix [g/kWk] 2015
Erdgas	201	51	391	534
Steinkohle	337	39	863	
Braunkohle	407	35	1.151	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2017

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 kommt zum Tragen, dass Strom und Wärmerzeugung aus den Brennstoffen in KWK-Anlagen durch die „Finnische Methode“ zugeordnet werden. Die dabei angewandte „finnische“ Methode beruht auf der Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004. Diese ist mathematisch exakt definiert und 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 MWel.) 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 fußen auf UBA-Recherchen aus Veröffentlichungen.

Tabelle 3: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung

Jahr	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas <sub>2</sub>	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%	40%
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%	42%
2012	42%	39%	56%	45%
2013	41%	39%	57%	45%
2014	41%	39%	57%	45%
2015*	43%	39%	57%	47%

2015\* vorläufig

Quellen: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2017

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<sub>2</sub>-Emissionsfaktors. Ab dem Jahr 2008 setzte sich die

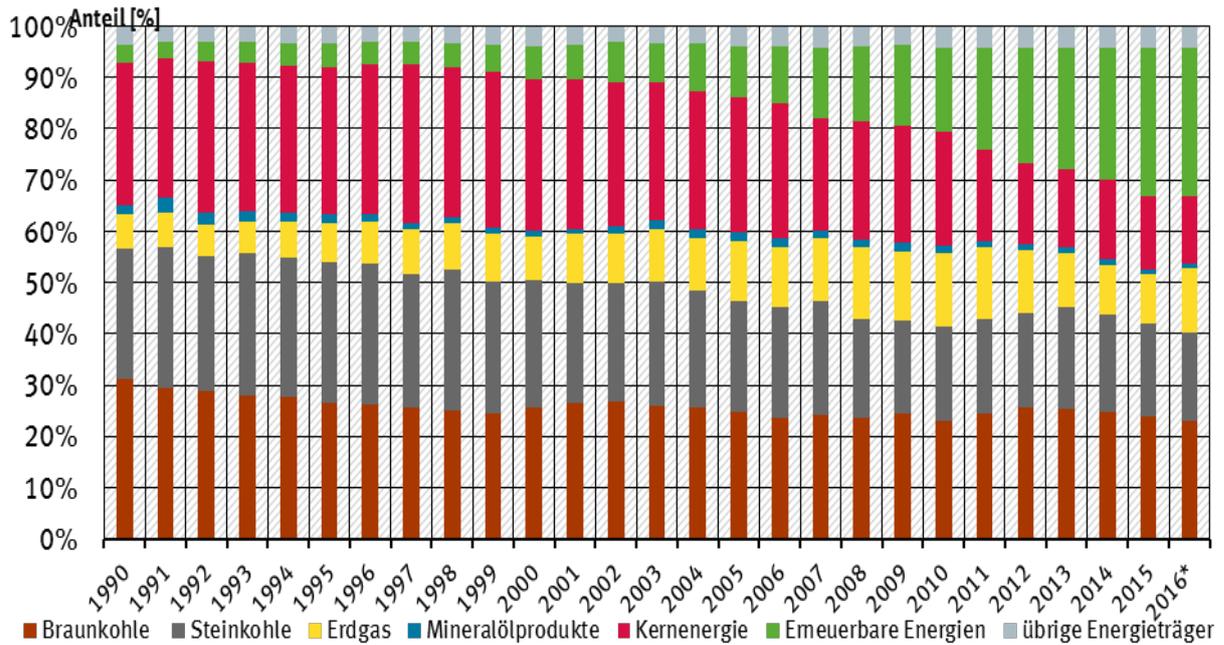
Verminderung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors im deutschen Strommix aufgrund des weiter steigenden Anteils erneuerbarer Energien fort. Diese Wirkung wird im Jahr der Wirtschaftskrise durch geringere Stromverbräuche verstärkt. Mit der Folge, dass der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix nach der wirtschaftlichen Erholung durch den sich erhöhenden Stromverbrauch und der Änderungen im Strommix durch die Energiewende wieder leicht ansteigt.

Ab 2015 ergibt sich trotz Anstieg des Stromverbrauchs auf Grund der gleichzeitig erhöhten Anteilen von CO<sub>2</sub>-freier bzw. CO<sub>2</sub>-armer Stromerzeugung und einer Verbesserung des Brennstoffausnutzungsgrades bei neu in Betrieb gegangenen fossilen Kraftwerken eine Senkung des spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors. Ebenfalls positiv auf den spezifischen Kohlendioxidemissionsfaktor des Strommix wirkt sich der verminderte Einsatz von Steinkohlen ab 2014 und die Erhöhung des Gaseinsatzes ab 2016 zur Stromerzeugung aus. Für den „CO<sub>2</sub>-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 6,3 Mrd. kWh Stromexportsaldo um in 2014 mit 35,5 Mrd. kWh eine erneute Steigerung sowie in 2015 mit 51,8 Mrd. kWh eine sprunghafte Erhöhung zu erfahren und mit 53,7 Mrd. kWh in 2016 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<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für den Strominlandsverbrauch“ die Emissionen nicht korrigiert. Dies führt zu einer Bewertung des Stromhandelsimports mit den CO<sub>2</sub>-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 hier ein permanenter Stromhandelsexportüberschuss zu verzeichnen ist.

So kann für die Jahre 1990 bis 2002 von sehr geringen Abweichungen zum CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos) gesprochen werden, da dieser Stromhandelsaldo 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<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (vgl. 3.1).

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



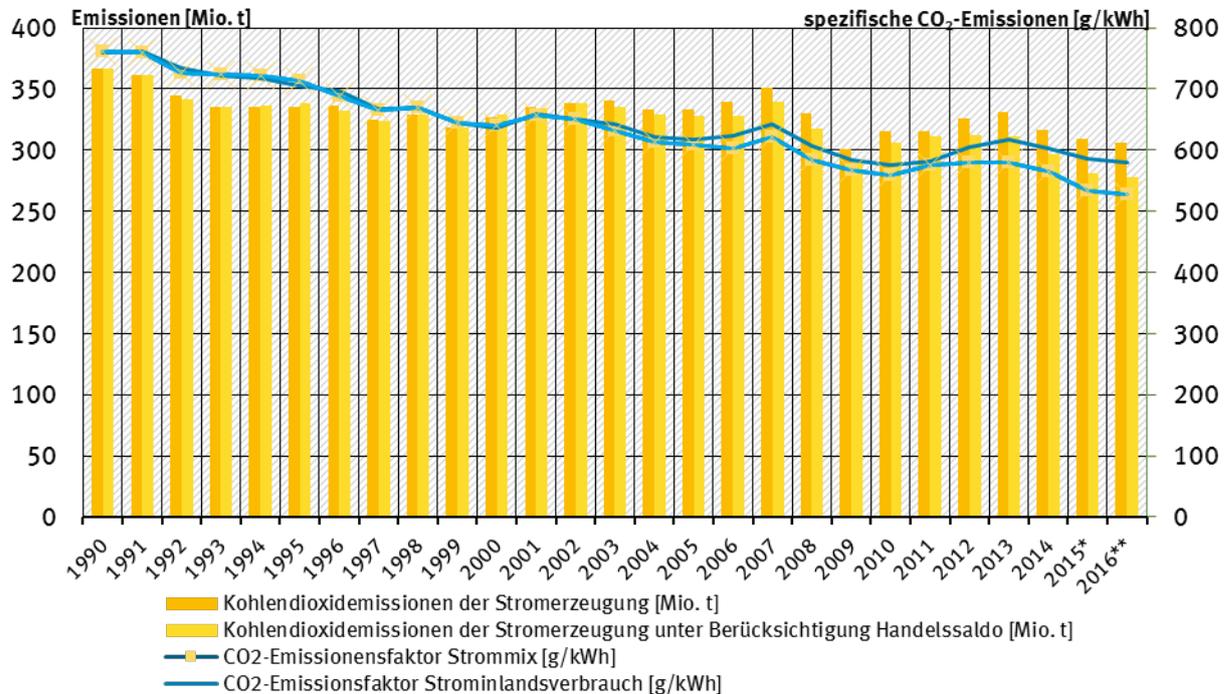
\* vorläufig z.T geschätzt  
 Quelle: AGEB Stand 7.2.2017

Ab dem Jahr 1999 nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energieträger am Strommix deutlich zu. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms zwischen 1998 und 2015 von ca. 4,7 % auf ca. 29,0 % um 2016 auf diesem Stand zu verharren. Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen per Definition keine direkten CO<sub>2</sub>-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 sich zu Gunsten des Erdgases wieder umgekehrt. (Abb. 3)

## 4.2 Entwicklung gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung

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



2015\* vorläufig 2016\*\* geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2017

Sinkenden spezifischen Emissionen zwischen 1990 und 2016 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 gegangenen Kraftwerken und

Wurden im Jahr 1990 noch 366 Mio. Tonnen Kohlendioxid aus der Stromerzeugung emittiert, so waren es im Jahr 2014 noch 316 Mio. Tonnen. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtemissionen der Stromerzeugung von fast 14 %. Für das Jahr 2016 wird eine Verringerung der Kohlendioxideinsparung im Stromsektor um ca. 16 % (absolut 306 Mio. Tonnen Kohlendioxid) gegenüber 1990 erwartet.

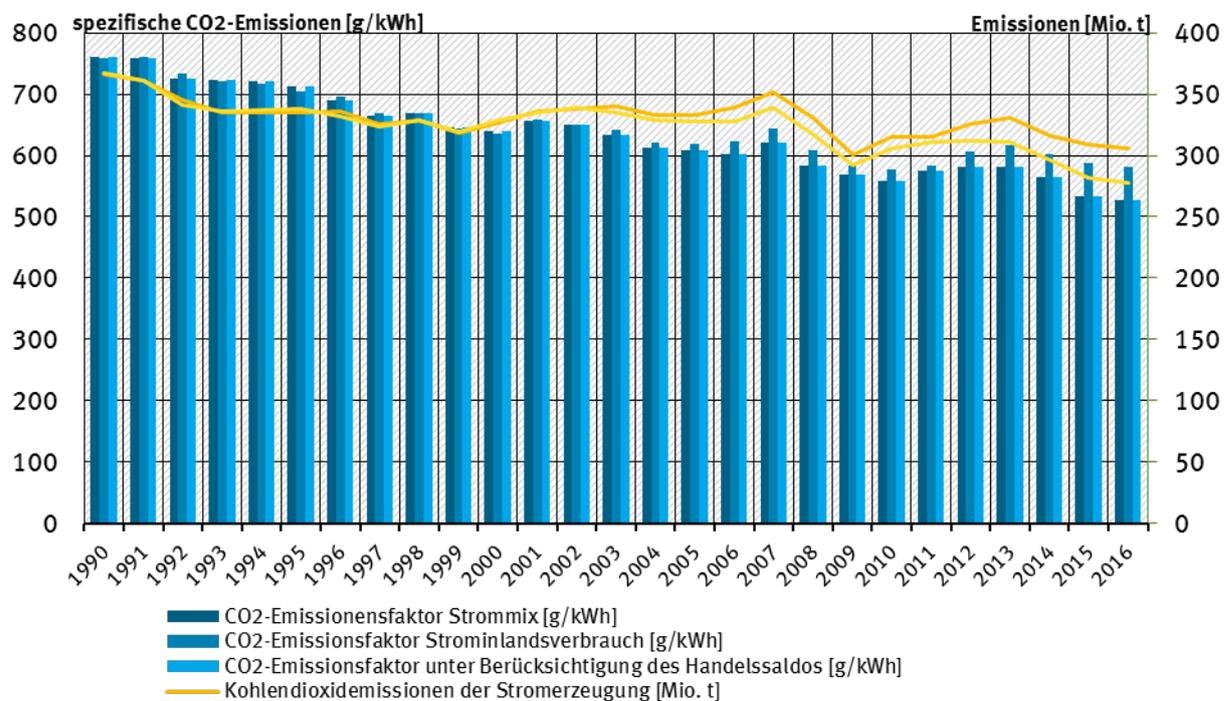
Überarbeitungen im Bereich der Abfall- und Ersatzbrennstoffe und Aktualisierungen der Datenquellen für die Emissionsberechnungen zum Beispiel der Energiebilanzen führten zu Korrekturen im Bereich der absoluten Kohlendioxidemissionen gegenüber der Erstveröffentlichung. Die Aktualisierung der Energiebilanzen 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 Berech-

nungen der Emissionen aus Abfällen und Sekundärbrennstoffen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR) dokumentiert (9). Im Zusammenspiel von Stromverbrauch und spezifischen Kohlendioxidemissionen ergibt sich ein Minimum der absoluten Kohlendioxidemissionen im Betrachtungszeitraum ab 2003 im Jahr 2009 von ca. 301 Mio. Tonnen. Dies entsprach einer Reduzierung von ca. 18 % gegenüber 1990. Entsprechend dieser Entwicklung weist der „Emissionsfaktor“ im Jahr 2013 580 g/kWh und der „Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ im Jahr 2013 von 617 g/kWh 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<sub>2</sub>-Emissionen. Dies bedingt auch sinkende Emissionsfaktoren ab 2013 von 580 g/kWh –auf 527 g/kWh im Jahr 2016. Trotz Schwankungen ist eine sinkende Tendenz feststellbar.

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



2015\* vorläufig 2016\*\* geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2017

## 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 Stromhandelsaldos betrachtet werden.

Die bisherige Entwicklung des in Summe sinkenden Trends von 761 g CO<sub>2</sub>/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 564 g CO<sub>2</sub>/kWh im Jahr 2014 ist positiv zu bewerten.

Auch der für 2015 hochgerechnete CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor in Höhe von 534 g CO<sub>2</sub>/kWh, und der für 2016 geschätzte Wert von 527 g CO<sub>2</sub>/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 des deutsche Strommix haben. Ab dem Jahr 2014 führte der wieder gesunkene Stromverbrauch gekoppelt mit dem Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu einer Verringerung der absoluten und spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Für 2016 wird trotz weiter gestiegenen Stromverbrauchs eine Verringerung der Emissionen der Stromerzeugung und der spezifischen CO<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Emissionen welche nicht dem im Inland verbrauchten Strom zuzuordnen sind. Entsprechend der internationalen Berichts konventionen sind Emissionen jedoch in dem Land zu bilanzieren, wo sie entstehen (Verursacher-/Quellenprinzip). Dies führt zu einer methodenbedingten Verzerrung des spezifischen CO<sub>2</sub>-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 2014 würden sich die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Stromerzeugung von 316 Mio. t auf 296 Mio. t verringern. Für 2016 wären 28 Mio. t Kohlendioxid Differenz prognostiziert.

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 die weitere Modernisierung des vorhandenen Kraftwerksparks durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die Reduzierung des Stromhandelsexportüberschusses, der weitere Umstieg auf CO<sub>2</sub>-arme Brennstoffe und der Ausbau der Kraft-Wärmekopplung sowie die Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung. Aber auch der sparsame Umgang mit dem vermeintlich „sauberen“ Energieträger 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 03/2017

(4) Umweltbundesamt; FG I 2.5: Eigene Berechnungen auf Grundlage der Tabelle „Stromerzeugung nach Energieträgern 1990-2016“ der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), [http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=bilanz15d.xls](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz15d.xls), aufgerufen am 27.03.2017

(5) Destatis, 2015, Fachserie 19 Reihe 1

(6) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2016 nach Energieträgern Stand 07.02.2017

[http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=20170207\\_brd\\_stromerzeugung1990-2016.pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20170207_brd_stromerzeugung1990-2016.pdf), aufgerufen am 01.03.2017

(7) Kraftwerksdatenbank des UBAs-UBA-interne Angaben zu Wirkungsgraden

<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland> (aufgerufen am 25.04.2017)

(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 – 2017, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017, Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015, 15.01.2017. Veröffentlichung unter

[http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envwmo5ba/](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envwmo5ba/)

(10) ÖKO-INSTITUT, 2004c CO<sub>2</sub> Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen Inventare. Teilbereich für den nationalen Inventarbericht 2004

Veröffentlichung in

[http://unfccc.int/files/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/application/zip/deu\\_2004\\_nir\\_30apr.zip](http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/deu_2004_nir_30apr.zip), Kapitel 13.8

(11) AGEB, Stand Februar 2017, Energiebilanzen 1990-2015 (Stand 28.02/2017)

[http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=bilanz15d.xlsx](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz15d.xlsx)

## Anhang 1: CO<sub>2</sub>-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	333
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	301
2010	151	95	32	7	10	20	316
2011	156	91	30	5	14	19	315
2012	166	94	27	6	13	19	326
2013	163	104	24	5	14	21	331
2014	159	97	22	5	14	19	316
2015*	157	92	21	5	14	20	309
2016**	153	87	27	5	14	20	306

\* vorläufige Daten

\*\* geschätzte Daten

Rundungen können zu abweichenden Summen führen

Quellen: Umweltbundesamt, ZSE; März 2017

## Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

Jahr	Kern- energie	Stein- kohle	Braun- kohle	Erdgas	Mine- ralöl- produk- te	Wasser- kraft Lauf- wasser	Wind- energie	Biomasse	Photo- voltaik	Müll	übrige Energie- träger	Wasser- kraft Pumpsst- rom (abzüg- lich)	Strom- ver- brauch insge- samt	Einfuhr	Ausfuhr	Strom- handels- saldo
	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h	Mrd.kW h
<b>1990</b>	135	124	151	32	10	17	0	0	0	0	17	4	482	32	31	1
<b>1991</b>	131	133	140	32	13	14	0	0	0	1	14	4	476	30	31	-1
<b>1992</b>	141	126	137	29	12	17	0	0	0	1	14	4	475	28	34	-5
<b>1993</b>	136	130	131	29	9	17	1	0	0	1	14	5	463	34	33	1
<b>1994</b>	134	128	130	32	9	18	1	1	0	1	15	5	465	36	34	2
<b>1995</b>	137	130	126	36	8	19	1	1	0	1	16	5	470	40	35	5
<b>1996</b>	144	136	129	41	7	17	2	1	0	1	16	5	488	37	43	-5
<b>1997</b>	152	128	127	43	7	17	3	1	0	1	16	5	489	38	40	-2
<b>1998</b>	144	137	124	45	6	17	4	1	0	1	17	5	492	38	39	-1
<b>1999</b>	152	128	122	46	6	19	5	1	0	2	18	4	494	41	40	1
<b>2000</b>	151	128	132	44	5	22	8	1	0	2	20	5	510	45	42	3
<b>2001</b>	151	122	136	49	5	20	9	3	0	2	19	5	511	44	45	-1
<b>2002</b>	147	120	141	50	8	21	14	4	0	2	16	5	519	46	46	1
<b>2003</b>	147	131	141	56	9	16	17	6	0	2	18	5	538	46	54	-8

Jahr	Kern- energie	Stein- kohle	Braun- kohle	Erdgas	Mineral- öl- produkte	Wasser- kraft Laufwas- ser	Wind- energie	Biomas- se	Photo- voltaik	Müll	übrige Energie- träger	Wasser- kraft Pumpsst- rom (abzü- glich)	Strom- ver- brauch insge- samt	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
<b>2005</b>	145	119	137	65	11	17	24	10	1	3	21	7	547	53	62	-9
<b>2006</b>	149	123	135	67	10	18	27	13	2	3	23	7	564	46	66	-20
<b>2007</b>	126	127	139	70	9	19	35	18	3	4	24	7	566	44	63	-19
<b>2008</b>	133	111	135	80	9	18	36	21	4	4	22	6	566	40	63	-23
<b>2009</b>	121	97	131	73	9	17	35	24	6	4	19	6	529	41	55	-14
<b>2010</b>	127	106	132	81	8	19	34	26	11	4	24	6	565	42	60	-18
<b>2011</b>	97	101	135	78	6	16	44	29	18	4	23	6	547	50	56	-6
<b>2012</b>	90	105	145	69	7	20	46	34	24	5	23	6	561	44	67	-23
<b>2013</b>	88	115	145	61	7	21	47	36	28	5	24	6	570	38	72	-34
<b>2014</b>	88	107	141	55	5	18	52	38	33	6	24	6	561	39	75	-36
<b>2015*</b>	83	106	140	56	6	17	72	40	35	5	25	6	578	34	85	-52
<b>2016**</b>	77	101	136	73	5	19	70	41	35	5	25	5	581	27	81	-54

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

Quellen: Umweltbundesamt, eigene Berechnungen, März 2017

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

### Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material	[kg/TJ]
Andere Mineralölprodukte	82333
Braunkohlenbriketts	99385
Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle	98014
Deponiegas	111396
Diesekraftstoff	74027
Erdgas	55936
Flüssiggas	65440
Gicht- u. Konvertergas	261253
Grubengas	68118
Hartbraunkohle	94480
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91510
Heizöl, leicht	74020
Heizöl, schwer	80877
Industriemüll fossil	71133
Klärgas	104894
Kokerei-/Stadtgas	41304
Petrolkoks	97580
Raffineriegas	61999
Rohbraunkohle Helmstedt	99530
Rohbraunkohle Hessen	102472
Rohbraunkohle Lausitz	110880
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	102924
Rohbraunkohle Rheinland	113080
Rückstände Papierindustrie, fossil	86222
Sonderabfall	82989
Sonstige hergestellte Gase	166257
Steinkohle	93510
Steinkohlenbriketts	95913
Steinkohlenkoks	108130

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE Submission 2017 Stand 03/2017