

# Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012



**Entwicklung der spezifischen  
Kohlendioxid-Emissionen des  
deutschen Strommix in den  
Jahren 1990 bis 2012**

von

**Petra Icha**

Umweltbundesamt

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4488.html> verfügbar.

Aktualisierung auf Basis des Bandes „Climate Change 1/2007“ von Marcus Machat und Kathrin Werner (Umweltbundesamt).

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet I 2.5 Energieversorgung und -daten  
Marion Dreher

Dessau-Roßlau, Mai 2013

## 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 Strommix für den Stromverbrauch und den Strominlandsverbrauch.

Die Berechnung wird jeweils zum Anfang des Jahres durchgeführt. Mit der Aktualisierung 2013 wird gemeinsam mit der Ergebnisbereitstellung ein Begleittext mit einer Trenddiskussion veröffentlicht, in dem auch der zugrundeliegende Berechnungsalgorithmus dokumentiert wird.

Um den Einfluss des Stromhandelssaldos zu verdeutlichen wird die Berechnung des Emissionsfaktors für den Strommix seit 2012 um eine zusätzliche Ausweisung des Emissionsfaktors für den Strominlandsverbrauch ergänzt.

Alle Berechnungen erfolgen in der Zeitreihe ab 1990. Dabei werden im Veröffentlichungsjahr x für das Jahr „x-1“ hochgerechnete Datensätze und für das Jahr „x-2“ vorläufige Basisdatensätze zur Berechnung herangezogen.

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungen

1	Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix.....	1
2	Methode zur Berechnung .....	5
2.1	Emissionsfaktor für den deutschen Strommix .....	5
2.2	Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch für den deutschen Strommix .....	5
2.3	Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung .....	5
2.4	Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung .....	6
2.5	Inländischer Stromverbrauch.....	6
3	Zeitliche Entwicklung des Indikators .....	7
3.1	Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen des deutschen Strommixes.....	7
3.2	Entwicklung gesamte CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Stromerzeugung .....	12
4	Zusammenfassung .....	13
5	Quellenverzeichnis.....	14
	Anhang 1: CO <sub>2</sub> - Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE.....	15
	Anhang 2 Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch .....	16
	Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE .....	18

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Spezifische Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommixes mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelsaldos.....	7
Abb. 2:	Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“ .....	11
Abb. 3:	Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (ohne Beachtung des Stromhandelsaldos).....	12
Abb. 4:	Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und der Entwicklung des Stromverbrauchs im Vergleich.....	13

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor des Stroms.....	2
Tabelle 2:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktor des deutschen Strommixes.....	8
Tabelle 3:	Durchschnittliche Brennstoffnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung.....	9

## Abkürzungen

AGEB.	Arbeitsgemeinschaft 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
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Mrd.	Milliarden
NIR	Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar
TWh	Terawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
ZSE	Zentrales System der Emissionen (interne Datenbank des Umweltbundesamtes)

## 1 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix

Bei der Erzeugung einer Kilowattstunde Strom für den Endverbrauch ohne Berücksichtigung des Stromhandelsaldos wurden in Deutschland im Jahr 2010 durchschnittlich 546 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind ca. 198 g/kWh oder ca. 26% weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2011 auf der Basis vorläufiger Daten sind dies 564 g/kWh und somit 180 g oder ca.24% weniger als 1990. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2012 ergeben 576 g/kWh und somit 168 g oder ca.22% als 1990.

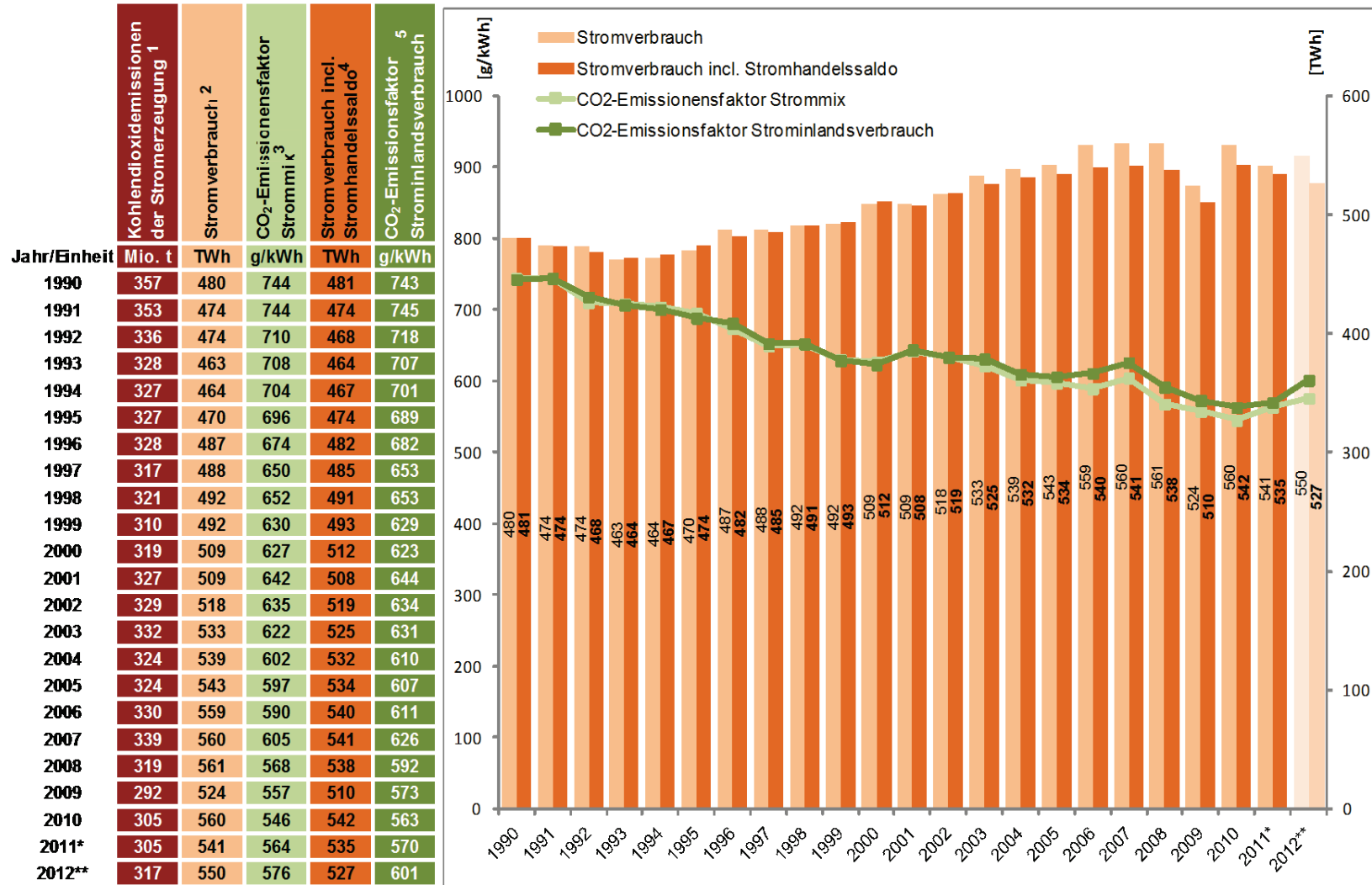
Der hier verwendete Indikator „direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen je Kilowattstunde Strom“ wird im Folgenden als „**Emissionsfaktor**“ bezeichnet. Mit der Aktualisierung erfolgte die Einführung eines CO<sub>2</sub>- Emissionsfaktors für den deutschen Strommix unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos – im Folgenden genannt „**Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch**“. Die Entwicklung des „Emissionsfaktors Inlandverbrauch“ im deutschen Strommix ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Diese Indikatoren charakterisieren die Klimaverträglichkeit der Stromerzeugung und die Entwicklung ab dem Jahr 1990. Die Details sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Gerundete Ausgangsgrößen und Berechnungsergebnis: Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung, Stromverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Stroms.

	Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung	Stromverbrauch	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix	Stromverbrauch incl. Stromhandelsaldo	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch
Jahr/Einheit	Mio. t	TWh	g/kWh	TWh	g/kWh
1990	357	480	744	481	743
1991	353	474	744	474	745
1992	336	474	710	468	718
1993	328	463	708	464	707
1994	327	464	704	467	701
1995	327	470	696	474	689
1996	328	487	674	482	682
1997	317	488	650	485	653
1998	321	492	652	491	653
1999	310	492	630	493	629
2000	319	509	627	512	623
2001	327	509	642	508	644
2002	329	518	635	519	634
2003	332	533	622	525	631
2004	324	539	602	532	610
2005	324	543	597	534	607
2006	330	559	590	540	611
2007	339	560	605	541	626
2008	319	561	568	538	592
2009	292	524	557	510	573
2010	305	560	546	542	563
2011*	305	541	564	535	570
2012**	317	550	576	527	601

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2011 und erste Schätzungen 2012 im Vergleich zum Stromverbrauch



\* vorläufige Angaben

\*\* erste Schätzungen

Strommix inklusiver fossiler, nuklearer und erneuerbarer Energieträger

Stand 02/2013

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventares 1990-2011

2 Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom - Leitungsverluste

3 UBA-Berechnungen auf Grundlage von Daten der Emissionsinventare auf Datenbasis der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (Veröffentlichung AGEb 2012 / Energiebilanz 2010) und des statist. Bundesamtes

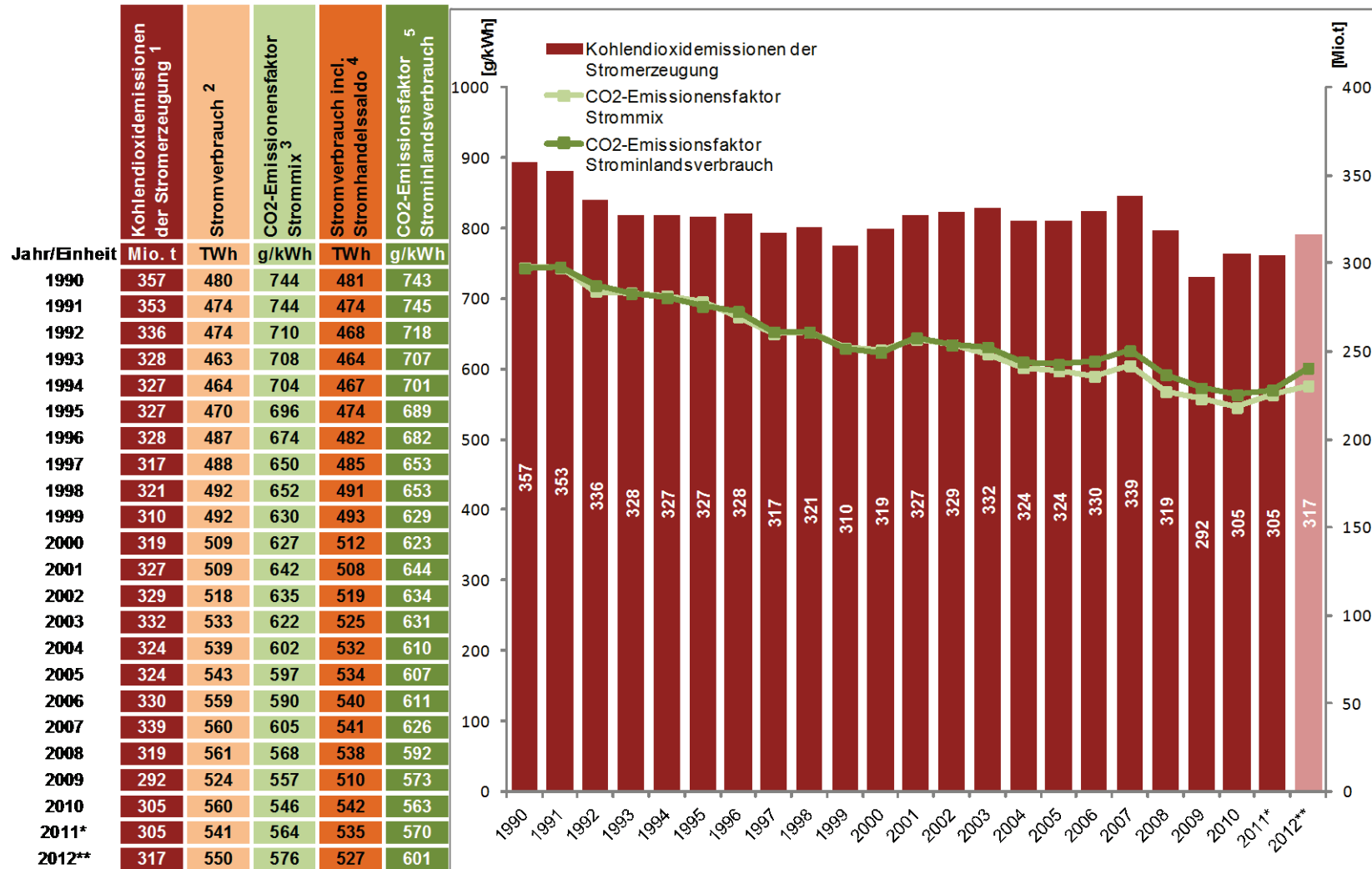
4 Stromverbrauch inklusive Stromhandelsaldo = Bruttostromerzeugung - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom - Leitungsverluste + Stromzufuhr - Stromabfuhr

5 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos



Spezifische Kohlendioxid-Emissionen im deutschen Strommix

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2011 und erste Schätzungen 2012 im Vergleich zu CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung



\* vorläufige Angaben

\*\* erste Schätzungen

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventares 1990-2010

Stand 02/2013

1 UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventares 1990-2011

2 Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom - Leitungsverluste

3 UBA-Berechnungen auf Grundlage von Daten der Emissionsinventare auf Datenbasis der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (Veröffentlichung AGE B 2012/Energiebilanz 2010) und des statist. Bundesamtes

4 Stromverbrauch inklusive Stromhandelsaldo = Bruttostromerzeugung - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom - Leitungsverluste + Stromzufuhr - Stromabfuhr

5 UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos



## 2 Methode zur Berechnung

### 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 den 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 zugrundegelegten 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 Stromerzeugung entstehen (I.) und einem inländischen Stromverbrauch. Dieser entspricht dem Endverbrauch netto im Inland (III) abzüglich des Stromhandelssaldos (II).

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

### 2.3 Kohlendioxidemissionen aus der 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)(1) für die Stromerzeugung in Deutschland gefiltert. Anhang 1 weist die für die Berechnung zugrundegelegten 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 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. Anhang 3 weist die für die Berechnung zugrundegelegten Emissionsfaktoren aus (6 sowie 7). 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) (3) 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 2011 vorläufig und für 2012 geschätzt.

Anhang 1 weist die Filterung der Brennstoffe für die Stromerzeugung aus der Emissionsdatenbank „Zentrales System der Emissionen“ (ZSE) aus.

## 2.4 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung

II. 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 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 2012 nach Energieträgern“ welche im Auftrag des BMWi erarbeitet und auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. veröffentlicht wird (4).

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 (5 und 8)).

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*

$$\begin{aligned} &= \text{Bruttostromerzeugung} - \text{Kraftwerkseigenverbrauch} - \text{Leitungsverluste} \\ &- \text{Pumpstromverbrauch} \end{aligned}$$

## 2.5 Inländischer Stromverbrauch

III. 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 gleichen Spezifischen CO<sub>2</sub>-Faktor angewendet werden kann.

$$\text{inländischer Stromverbrauch} = \text{Bruttostromerzeugung} - \text{Kraftwerkseigenverbrauch} \\ - \text{Leistungsverluste} - \text{Pumpstromverbrauch} - \text{Stromhandelssaldo (absolut)}$$

### 3 Zeitliche Entwicklung des Indikators

#### 3.1 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 2010 von 744 g/kWh auf 546 g/kWh (siehe Abbildung 1). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 26% pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2011 und 2012 ist mit vorläufigen und geschätzten Daten ein Wiederanstieg zu verzeichnen. Dieser Emissionsanstieg ist trotz massiven Ausbaus der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien dem erhöhten Einsatz fossiler Brennstoffe zur Stromerzeugung zuzuschreiben. Dies, da sich der Stromexportüberschuss im Jahr 2012 (vorläufig) auf dem höchsten Niveau seit 1990 befindet (siehe Tabelle Bruttostromerzeugung)(4).

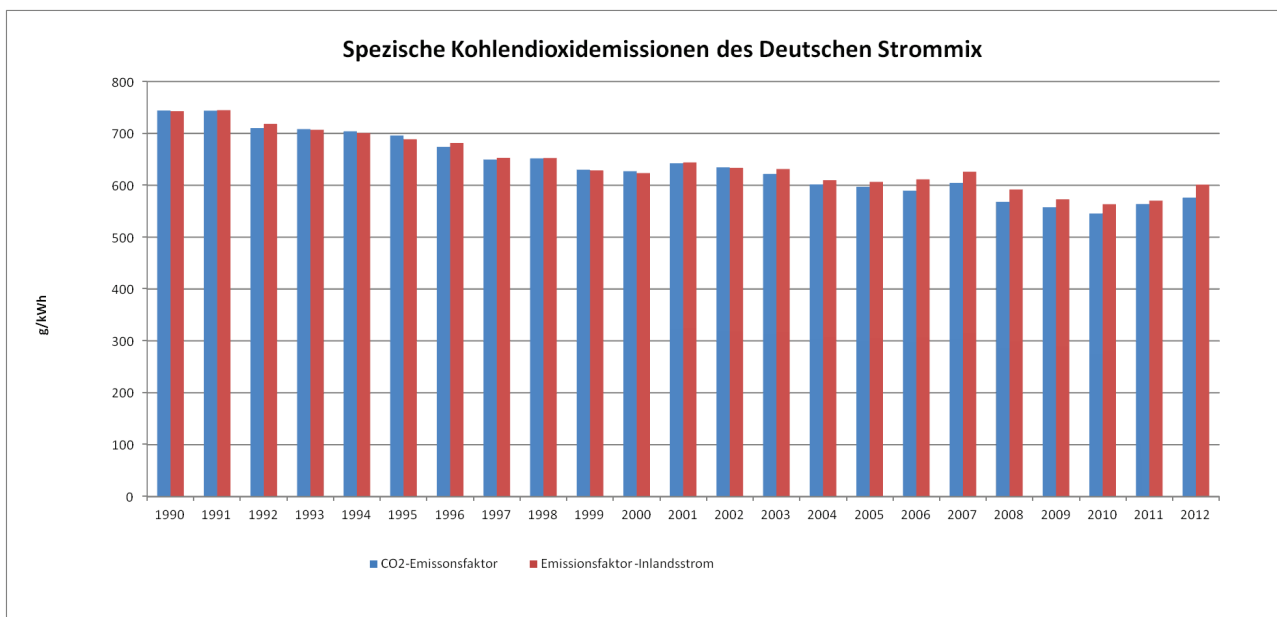


Abb. 1: Spezifische Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommixes mit und ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

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

1. Die Anteile einzelner Brennstoffe an der Stromerzeugung, dem sogenannten Strommix (Abbildung 2):

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 Erdgas oder eines erneuerbaren Energieträgers (Null angerechnete CO<sub>2</sub>-Mengen), 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 im Jahr 2010.

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> -Emissionsfaktor bezogen auf den Brennstoffeinsatz	Brennstoffausnutzungs- grad im Jahr 2010 bezogen auf den Stromverbrauch	CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktor im Jahr 2010 bezogen auf den Stromverbrauch	CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktor Strommix 2010
	g/kWh	v.H.	g/kWh	g/kWh
Erdgas	202	49%	411	546
Steinkohle	339	38%	902	
Braunkohle	404	35%	1.161	

2. 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 Strommixes 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)

Tabelle 3: Durchschnittliche Brennstoffnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung

Jahr/Brennstoff	Durchschnittlicher Brennstoffausnutzungsgrad bezogen auf die Bruttostromerzeugung			
	Steinkohlen	Braunkohlen	Erdgas	Sämtliche Energieträger
1990	40%	36%	39%	37%
1991	40%	35%	41%	37%
1992	40%	36%	43%	37%
1993	40%	36%	43%	38%
1994	40%	37%	40%	38%
1995	40%	35%	43%	38%
1996	40%	36%	45%	38%
1997	40%	37%	46%	38%
1998	40%	37%	47%	38%
1999	40%	37%	48%	38%
2000	41%	38%	45%	39%
2001	40%	37%	50%	39%
2002	40%	37%	50%	39%
2003	43%	38%	51%	40%
2004	43%	38%	50%	41%
2005	42%	38%	51%	41%
2006	40%	38%	50%	40%
2007	41%	38%	53%	41%
2008	41%	38%	53%	41%
2009	41%	38%	52%	41%
2010	42%	39%	54%	41%
2011*	41%	38%	55%	42%

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 1). 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 bis zum Jahr 2006. 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 steigenden Anteils erneuerbarer Energien fort. Diese Wirkung wurde 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 anstieg.

Dieser Wert des gestiegenen Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors erreicht in seiner absoluten Höhe aber nicht wieder den Peak des letzten Anstieges aus dem Jahr 2007 und bleibt in 2012 mit einem hochgerechneten Wert von 576 g/kWh trotz Steigerung unter dem bis dato niedrigsten Wert des Jahres 2006.

Für den „CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ ist eine gleichverlaufende Entwicklung zu verzeichnen, deren absoluter Verlauf von der Größe des Stromhandelsaldos abhängig ist. Ein ab 2006 bis 2010 sich auf hohem Niveau bewogender Stromexportüberschuss wurde im Jahr 2011 unterbrochen und sank auf 6,3 Mrd. kWh Stromexportsaldo um in 2012 mit 23 Mrd. kWh seinen bislang höchsten Stand zu erreichen (4). Entsprechend der Annahme, dass die in Deutschland durch die Stromerzeugung verursachten Emissionen dem deutschen Strommix zuzurechnen sind werden beim Ansatz des Stromhandelsaldos 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 bisher größten Stromimportsaldo von 5,3 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 Stromhandelsaldos) 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 Stromhandelsaldos auf den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor.

Der Stromhandelsaldo -, seit 2003 mit einem Stromexportüberschuss - stieg bis 2010. Während er sich in den Jahren 2006 bis 2010 zwischen ca. 2,5% und ca. 3,5% der Bruttostromerzeugung stabilisierte, war im Jahr 2011 ein drastisches Absinken zu verzeichnen, um 2012 wieder einen deutlichen Überschuss von mehr als 3,5 % aufzuweisen.

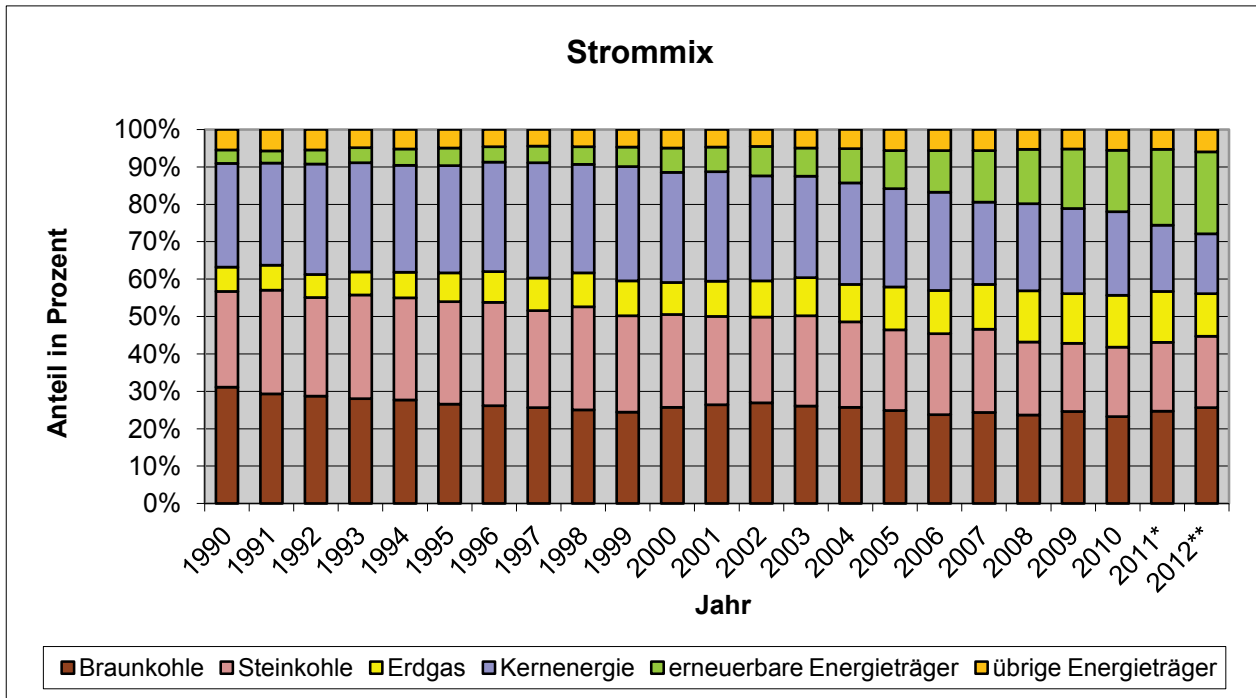


Abb. 2: Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung – „Deutscher Strommix“

Ab dem Jahr 1999 nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energieträger am Strommix deutlich zu. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms zwischen 1998 und 2010 von ca. 4,7% auf ca. 16,5%. Da die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen 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 schlägt sich der steigende Anteil erneuerbarer Energien in der Entwicklung des Indikators sichtbar nieder. Dies erklärt die Entwicklung absoluter und spezifischer Emissionen.

Ein weiterer Einflussfaktor war im Jahr 2012 die Wechselwirkung zwischen Brennstoffpreisen (höhere Preise für Erdgas) und dem daraus bedingten höheren Anteil am Einsatz von Brennstoffen mit höherem Kohlenstoffgehalt (Abb. 2).

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

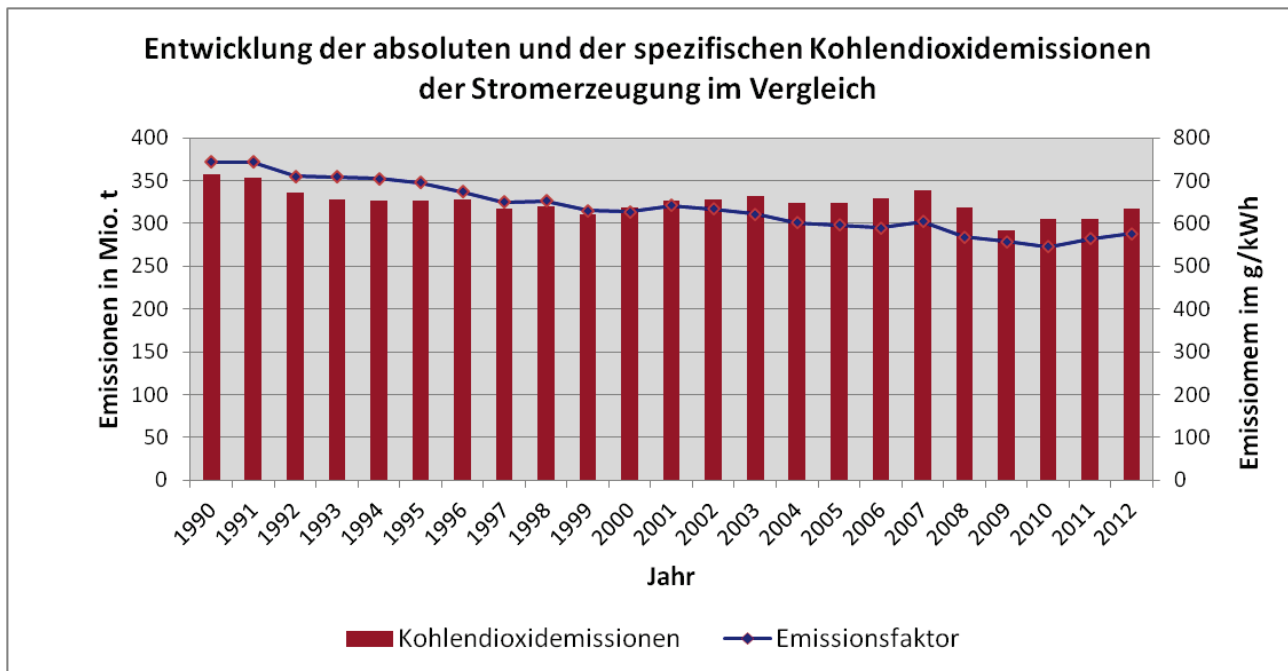


Abb. 3: Entwicklung der absoluten und der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung im Vergleich (ohne Beachtung des Stromhandelsaldos)

Sinkenden spezifischer Emissionen zwischen 1990 und 2010 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), dem fluktuierenden Strombedarf entsprechend der wirtschaftlichen Entwicklung und in den Jahren 2011 und 2012 durch die Energiewende (vorläufige Daten).

Wurden im Jahr 1990 noch 357 Mio. Tonnen Kohlendioxid aus der Stromerzeugung emittiert, so waren es im Jahr 2010 noch 305 Mio. Tonnen. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtemissionen der Stromerzeugung von ca. 14 %. Für das Jahr 2012 wird eine Verringerung der Kohlendioxideinsparung im Stromsektor auf ca. 11 % (absolut 317 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 (5). Die Aktualisierungen zur Berechnungen der Emissionen aus Abfällen und Sekundärbrennstoffen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR) dokumentiert. (6) Im Zusammenspiel von Stromverbrauch und spezifischen Kohlendioxidemissionen ergibt sich ein Minimum der absoluten Kohlendioxidemissionen im Betrachtungszeitraum im Jahr 2009 von ca. 292 Mio. Tonnen. Dies entsprach einer Reduzierung von ca. 18%. Entsprechend dieser Entwicklung weist der „Emissionsfaktor“ und der „Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ ein

Minimum im Jahr 2009 aus. Da dieses Jahr das Jahr der Wirtschaftskrise war ist es als Ausnahmejahr zu betrachten.

Die Daten im Jahr 2010 und die vorläufigen Daten für das Jahr 2011 sowie hochgerechneten Daten für 2012 verzeichnen trotz sinkender Strominlandsverbräuche wieder ansteigende Emissionen. Diese Konstellation bedingt auch steigende Emissionsfaktoren, die in ihrer absoluten Höhe (2012: 576 g/kWh) aber nicht die Höhe des bisherigen Höchststandes im Jahr 2007 ( 605 g/kWh) erreichen, sodass die sinkende Tendenz trotz Schwankungen fortgesetzt wird.

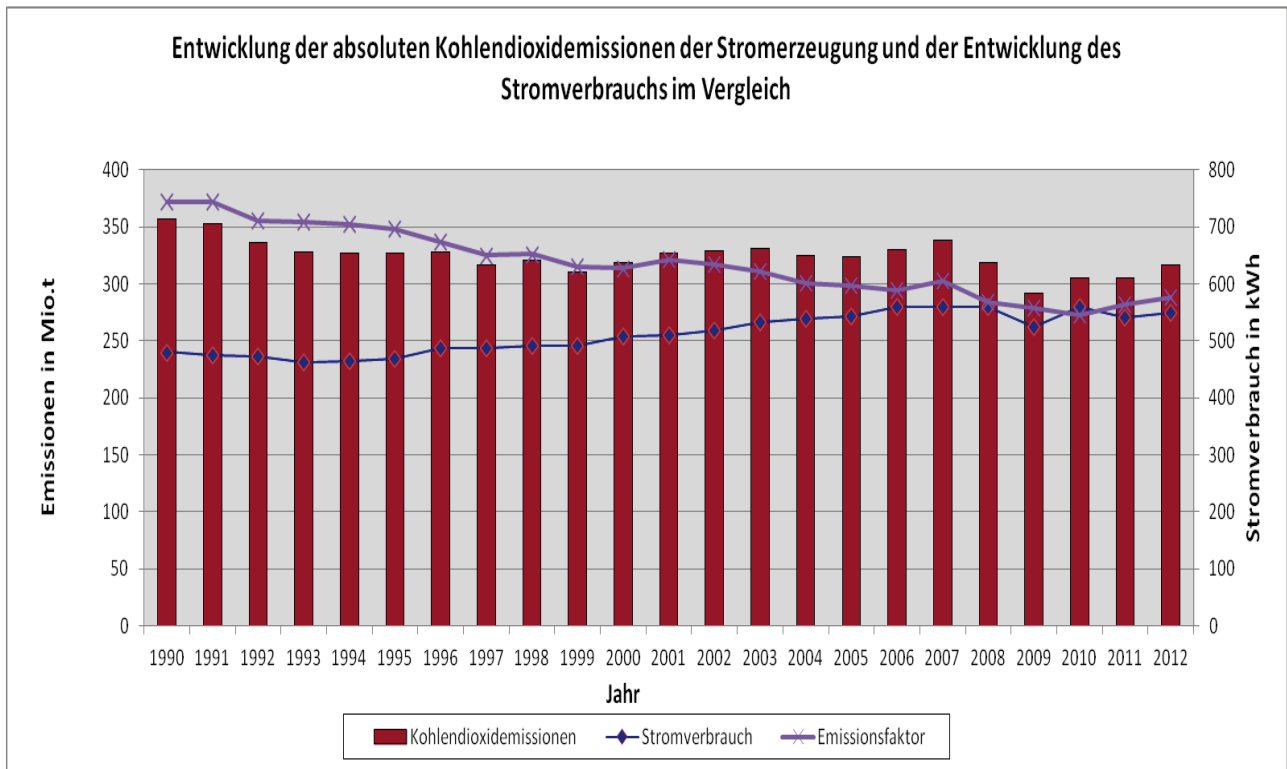


Abb. 4: Entwicklung der absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung und der Entwicklung des Stromverbrauchs im Vergleich

#### 4 Zusammenfassung

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

Die bisherige Entwicklung des in Summe sinkenden Trends von 743 g CO<sub>2</sub>/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor) im Inland auf 563 g CO<sub>2</sub>/kWh im Jahr 2010 ist positiv zu bewerten.

Auch der für 2012 hochgerechnete inländische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors in Höhe von 601 g CO<sub>2</sub>/kWh, weist zwar gegenüber 2010 eine Erhöhung aus, stellt im Vergleich zum Jahr 1990 aber dennoch eine Verminderung dar.

Die Analyse der Trend-Entwicklung zeigt, dass der bemerkenswerte Ausbau der erneuerbaren Energien eine spürbare Senkung des Kohlendioxid-Emissionsfaktors zur Folge hat. Dieser Effekt wird allerdings stark überlagert durch den Umbau des fossilen Kraftwerksparks. Eine verstärkte

Verstromung von Kohle durch den Zubau neuer Kohlenkraftwerke führt sowohl zu steigenden absoluten als auch spezifischen Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung, da Kohlenkraftwerke einen deutlich höheren Emissionsfaktor als der deutsche Strommix haben.

Für das Erreichen der Klimaziele ist es aber notwendig, dass die absoluten Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung stark sinken. Weitere Anstrengungen zur Reduzierung der Kohlendioxidemissionen aus der Stromerzeugung sind also notwendig.

Dazu gehört die weitere Modernisierung des vorhandenen Kraftwerksparks vor allem auch durch den gezielten Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, den Umstieg auf CO<sub>2</sub>-arme Brennstoffe und den 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.

## 5 Quellenverzeichnis

- (1) Umweltbundesamt, FG I 2.6; Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) Stand 01/2013(2) Umweltbundesamt; FG I2.5: Eigene Berechnungen auf Grundlage der Tabelle „Stromerzeugung nach Energieträgern 1990-2011“ der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>, aufgerufen am 01.02.2013
- (2) Umweltbundesamt, FG I2.5 Februar 2013 eigene Berechnungen zum Stromverbrauch auf der Grundlage der Bruttostromerzeugung
- (3) Destatis, 2012, Fachserie 19 Reihe 1
- (4) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2012 nach Energieträgern Stand 14.12.2012
- (5) 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
- (6) Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2013, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013, Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2011, 15.01.2013. Veröffentlichung unter [http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envuppzuq/NIR\\_2013\\_EU-Submission\\_de.pdf/manage\\_document](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envuppzuq/NIR_2013_EU-Submission_de.pdf/manage_document)
- (7) ÖKO-INSTITUT, 2004c CO<sub>2</sub> Emissionsfaktoren für die Erstellung der nationalen Inventare. Teilbereich für den nationalen Inventarbericht 2004. Veröffentlichung unter [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
- (8) AGEB, Stand Februar 2013, Energiebilanzen 1990-2010. <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=63> aufgerufen am 01.02.2013

### Anhang 1: CO<sub>2</sub>- Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE

Stand für NIR 2013 - 01.02.2013		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>CO<sub>2</sub> - Emissionen aus der Stromerzeugung</b>													
Braunkohlen	[Mio t]	201	187	180	171	168	163	160	156	150	149	158	168
Steinkohlen	[Mio t]	119	126	120	124	122	124	128	120	128	119	119	116
Erdgas	[Mio t]	18	18	16	15	18	19	21	21	22	22	22	22
Mineralöle	[Mio t]	9	10	10	8	8	7	7	6	6	6	6	7
Müll (fossil)	[Mio t]	4	4	4	3	4	6	6	6	7	6	6	7
sonstige	[Mio t]	7	7	7	6	7	7	7	7	8	7	7	8
gesamt	[Mio t]	357	353	336	328	327	327	328	317	321	310	319	327

Stand für NIR 2013 - 01.02.2013		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011*	2012**
<b>CO<sub>2</sub> - Emissionen aus der Stromerzeugung</b>													
Braunkohlen	[Mio t]	168	172	169	167	163	161	165	159	153	153	158	167
Steinkohlen	[Mio t]	116	113	116	111	109	116	118	102	87	95	93	98
Erdgas	[Mio t]	22	23	24	25	28	29	29	33	30	32	30	26
Mineralöle	[Mio t]	7	7	7	8	8	7	6	6	7	6	5	8
Müll (fossil)	[Mio t]	7	6	9	7	8	9	9	9	9	11	10	11
sonstige	[Mio t]	8	8	7	7	8	8	10	9	5	9	8	9
gesamt	[Mio t]	327	329	332	324	324	330	339	319	292	305	305	317

\*Vorläufige Daten

\*\*geschätzte Daten

## Anhang 2 Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

Energieträger	Einheit	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Kernenergie	Mrd. kWh	135	131	141	136	134	137	144	152	144	152	151
Steinkohle	Mrd. kWh	124	133	126	130	128	130	136	128	137	128	128
Braunkohle	Mrd. kWh	151	140	137	131	130	126	129	127	124	122	132
Erdgas	Mrd. kWh	32	32	29	29	32	36	41	43	45	46	44
Mineralölprodukte	Mrd. kWh	10	13	12	9	9	8	7	7	6	6	5
Wasserkraft Pumpspeicher	Mrd. kWh	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-5	-5	-6
Wasserkraft Laufwasser	Mrd. kWh	17	14	17	17	18	19	17	17	17	19	22
Windenergie	Mrd. kWh	0	0	0	1	1	1	2	3	4	5	8
Biomasse	Mrd. kWh	0	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3
Fotovoltaik	Mrd. kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
übrige Energieträger	Mrd. kWh	17	14	14	14	15	16	16	16	17	18	20
Stromverbrauch insgesamt	Mrd. kWh	480	474	474	463	464	470	487	488	492	492	509
Einfuhr	Mrd. kWh	31,9	30,4	28,4	33,6	35,9	39,7	37,4	38,0	38,3	40,6	45,1
Ausfuhr	Mrd. kWh	31,1	31,0	33,7	32,8	33,6	34,9	42,7	40,4	38,9	39,6	42,1
Stromhandelssaldo	Mrd. kWh	0,8	-0,6	-5,3	0,9	2,3	4,8	-5,3	-2,3	-0,6	1,0	3,1

Spezifische Kohlendioxid-Emissionen im deutschen Strommix

<b>Energieträger</b>	<b>Einheit</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Kernenergie	Mrd. kWh	151	147	147	149	145	149	125	133	121	127	97	89
Steinkohle	Mrd. kWh	122	120	131	126	119	123	127	111	97	106	101	107
Braunkohle	Mrd. kWh	136	141	141	141	137	135	139	134	131	132	135	143
Erdgas	Mrd. kWh	49	50	55	55	63	66	68	77	71	78	74	63
Mineralölprodukte	Mrd. kWh	5	8	9	9	10	9	9	8	9	8	6	9
Wasserkraft Pumpspeicher	Mrd. kWh	-6	-6	-8	-9	-10	-9	-9	-8	-8	-9	-8	-8
Wasserkraft Laufwasser	Mrd. kWh	20	21	16	18	17	18	19	18	17	19	16	19
Windenergie	Mrd. kWh	9	14	17	23	24	27	35	36	35	34	44	41
Biomasse	Mrd. kWh	5	6	8	9	13	16	21	24	27	30	34	37
Fotovoltaik	Mrd. kWh	0	0	0	1	1	2	3	4	6	11	17	26
übrige Energieträger	Mrd. kWh	19	16	18	19	21	23	24	22	19	24	23	24
Stromverbrauch insgesamt	Mrd. kWh	509	518	533	539	543	559	560	561	524	560	541	550
Einfuhr	Mrd. kWh	43,5	46,2	45,8	44,2	53,4	46,1	44,3	40,2	40,6	42,2	49,7	44,2
Ausfuhr	Mrd. kWh	44,8	45,5	53,8	51,5	61,9	65,9	63,4	62,7	54,9	59,9	56	67,3
Stromhandelssaldo	Mrd. kWh	-1,3	0,7	-8,1	-7,3	-8,5	-19,8	-19,1	-22,4	-14,3	-17,7	-6,3	-23

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

### Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

Material [kg/TJ]	2011
Andere Mineralölprodukte	80.000
Braunkohlenbriketts	99.900
Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle	98.000
Diesekraftstoff	74.000
Erdgas	56.000
Flüssiggas	65.000
Gicht- u. Konvertergas	105.000
Grubengas	55.000
Hartbraunkohle	97.000
Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91.510
Heizöl, leicht	74.000
Heizöl, schwer	78.000
Industriemüll fossil	71.133
Kokerei-/Stadtgas	40.000
Petrolkoks	101.000
Raffineriegas	60.000
Rohbraunkohle	109.600
Rohbraunkohle Helmstedt	99.000
Rohbraunkohle Hessen	111.000
Rohbraunkohle Lausitz	113.000
Rohbraunkohle Mitteldeutschland	104.000
Rohbraunkohle Rheinland	114.000
Rückstände Papierindustrie, fossil	86.222
Sonderabfall	82.989
Sonstige Gase	60.000
Steinkohle	94.200
Steinkohlenbriketts	93.000
Steinkohlenkoks	105.000

Emissionsfaktoren aus dem Zentralen System der Emissionen (ZSE)  
Submission 2013 – Stand Februar 2013