

CLIMATE CHANGE

10/2019

# Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid- Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2018



CLIMATE CHANGE 10/2019

# **Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2018**

Petra Icha  
Umweltbundesamt

Unter Mitarbeit von  
Geschäftsstelle der AGEE Stat und 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  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Abschlussdatum:

März 2019

### Redaktion:

Fachgebiet V1.5 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, April 2019

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 Kohlendioxid-emissionen 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 sowie der Stromerzeugung entsprechend der Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, des statistischen Bundesamtes für die Zeitreihe 1990 –2017 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 und eine Neubewertung des Stromhandelssaldos 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 52 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat. Vorläufige Daten bilden für 2018 einen geringen Rückgang ab. 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<sub>2</sub>-Emissionen der Nettoausfuhr von Strom zuzurechnen ist. Die Zunahme des Außenhandelsüberschusses des Stromes zwischen 2012 und 2018 um fast 28 Mrd. kWh ist wesentlich stärker als die Steigerung der Bruttostromerzeugung im gleichen Zeitraum um ca. 19 Mrd. kWh.

Insgesamt werden 8 % der deutschen Bruttostromerzeugung netto exportiert. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem deutschen Stromsektor würden um 23 Mio. t CO<sub>2</sub> 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 |
| 2.6 Für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge inländischer Erzeugung .....       | 13 |
| 2.7 Inländischer Stromverbrauch .....                                                         | 13 |
| 3 Zeitliche Entwicklung des Indikators .....                                                  | 15 |
| 3.1 Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen des deutschen Strommixes .....                    | 15 |
| 3.2 Entwicklung gesamte CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Stromerzeugung .....              | 20 |
| Zusammenfassung.....                                                                          | 22 |
| 4 Quellenverzeichnis .....                                                                    | 23 |
| A Anhang 1: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE [Mio. t] ..... | 25 |
| B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch .....                     | 26 |
| C 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 <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 Strommix .....                       | 16 |
| Tabelle 3: | Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung <sup>1</sup> .....                                                             | 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 <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 2016 durchschnittlich 523 g Kohlendioxid als direkte Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert. Das sind ca. 241 g CO<sub>2</sub>/kWh oder ca. 31 % weniger als im Jahr 1990.

Für das Jahr 2017 sind dies auf der Basis vorläufiger Daten 486 g CO<sub>2</sub>/kWh. Hochgerechnete Werte für das Jahr 2017 ergeben 474 g CO<sub>2</sub>/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<sub>2</sub>-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 52 TWh einen neuen Höchststand erreicht hat. Im Jahr 2018 befindet sich dieser mit 49 TWh weiterhin auf sehr hohem Niveau. Daher 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 dieses Faktors ist neben dem „Emissionsfaktor Strommix“ in Tabelle 1 dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Bilanzierungsmethoden liegt im Jahr 2018 bei 44 g CO<sub>2</sub>/kWh bzw. 23 Mio. t CO<sub>2</sub>. Um diese Menge würden sich die deutschen CO<sub>2</sub>-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).

Ab dem Jahr 2018 erfolgte die Umstellung der Datengrundlage für den Stromhandelssaldo von der Tabelle der Bruttostromerzeugung der AGEB auf die amtliche Statistik „Monatsberichts der Elektrizitätsversorgung“ des Statistischen Bundesamtes.

Methodenverbesserungen und Datenaktualisierungen entsprechend der internationalen Emissionsberichterstattung wurden übernommen.

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   | Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung <sup>1</sup> [Mio. t] | Stromverbrauch <sup>2</sup> [TWh] | CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix <sup>3</sup> [g/kWh] | Stromverbrauch unter Berücksichtigung des Stromhandels-saldos <sup>4</sup> [TWh] | CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch <sup>5</sup> [g/kWh] | Kohlendioxidemissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo <sup>6</sup> [Mio. t] | CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Handelssaldos <sup>7</sup> [g/kWh] |
|--------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1990   | 366                                                             | 479                               | 764                                                            | 480                                                                              | 763                                                                         | 367                                                                                                 | 764                                                                                            |
| 1991   | 361                                                             | 473                               | 764                                                            | 473                                                                              | 765                                                                         | 361                                                                                                 | 764                                                                                            |
| 1992   | 345                                                             | 472                               | 730                                                            | 467                                                                              | 739                                                                         | 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                                                             | 490                               | 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                                                            | 510                                                                              | 640                                                                         | 329                                                                                                 | 644                                                                                            |
| 2001   | 336                                                             | 509                               | 659                                                            | 512                                                                              | 656                                                                         | 337                                                                                                 | 659                                                                                            |
| 2002   | 338                                                             | 517                               | 654                                                            | 524                                                                              | 646                                                                         | 343                                                                                                 | 654                                                                                            |
| 2003   | 340                                                             | 536                               | 634                                                            | 533                                                                              | 638                                                                         | 338                                                                                                 | 634                                                                                            |
| 2004   | 333                                                             | 543                               | 614                                                            | 540                                                                              | 617                                                                         | 331                                                                                                 | 614                                                                                            |
| 2005   | 333                                                             | 545                               | 610                                                            | 541                                                                              | 616                                                                         | 330                                                                                                 | 610                                                                                            |
| 2006   | 339                                                             | 563                               | 603                                                            | 546                                                                              | 622                                                                         | 329                                                                                                 | 603                                                                                            |
| 2007   | 351                                                             | 564                               | 622                                                            | 547                                                                              | 640                                                                         | 340                                                                                                 | 622                                                                                            |
| 2008   | 329                                                             | 565                               | 583                                                            | 545                                                                              | 604                                                                         | 318                                                                                                 | 583                                                                                            |
| 2009   | 300                                                             | 528                               | 567                                                            | 516                                                                              | 581                                                                         | 293                                                                                                 | 567                                                                                            |
| 2010   | 314                                                             | 564                               | 558                                                            | 549                                                                              | 573                                                                         | 306                                                                                                 | 558                                                                                            |
| 2011   | 310                                                             | 546                               | 568                                                            | 542                                                                              | 572                                                                         | 308                                                                                                 | 568                                                                                            |
| 2012   | 321                                                             | 559                               | 573                                                            | 539                                                                              | 595                                                                         | 309                                                                                                 | 573                                                                                            |
| 2013   | 326                                                             | 569                               | 572                                                            | 537                                                                              | 606                                                                         | 307                                                                                                 | 572                                                                                            |
| 2014   | 312                                                             | 560                               | 557                                                            | 526                                                                              | 593                                                                         | 293                                                                                                 | 557                                                                                            |
| 2015   | 304                                                             | 578                               | 527                                                            | 529                                                                              | 575                                                                         | 279                                                                                                 | 527                                                                                            |
| 2016   | 303                                                             | 581                               | 523                                                            | 530                                                                              | 572                                                                         | 277                                                                                                 | 523                                                                                            |
| 2017*  | 284                                                             | 584                               | 486                                                            | 532                                                                              | 534                                                                         | 259                                                                                                 | 486                                                                                            |
| 2018** | 273                                                             | 576                               | 474                                                            | 527                                                                              | 518                                                                         | 250                                                                                                 | 474                                                                                            |

2017\* vorläufig

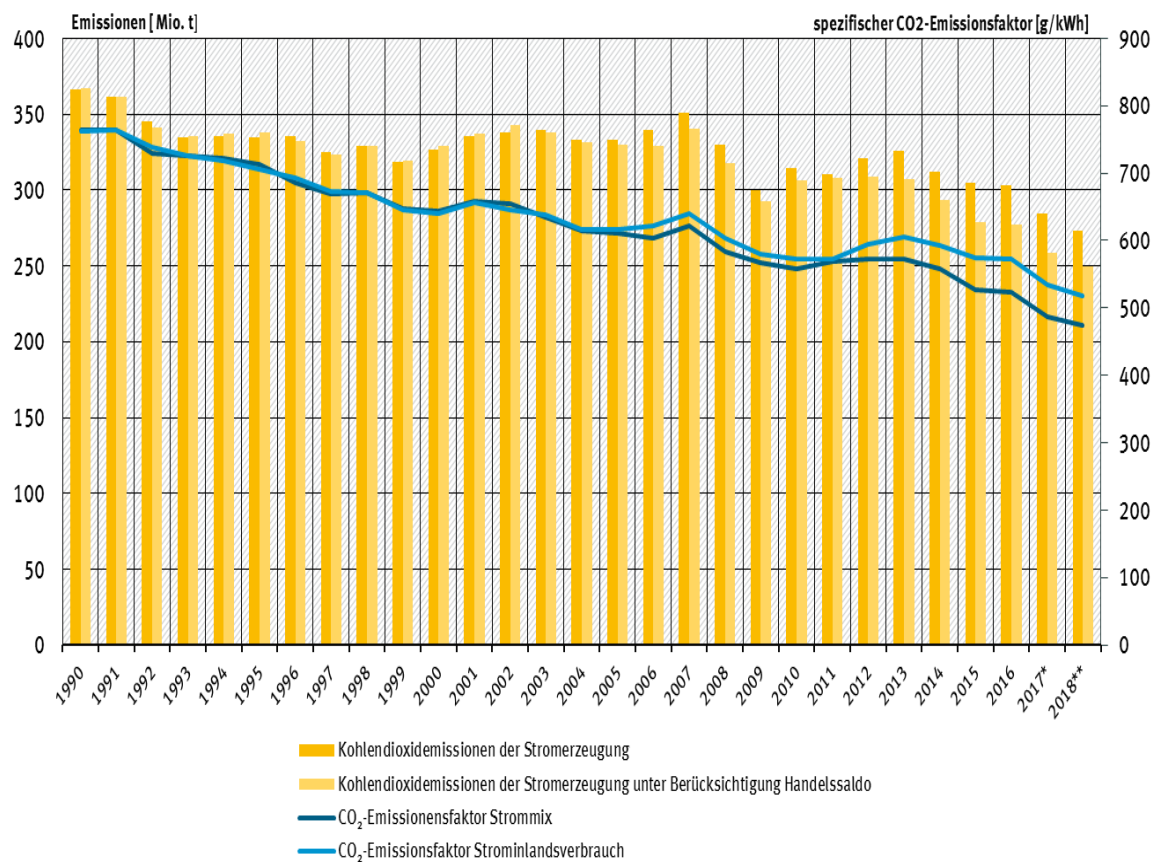
2018\*\* geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2019

<sup>1</sup> UBA Berechnungen auf Grundlage des deutschen Treibhausgasinventars 1990-2017 (Quelle 3)<sup>2</sup> Stromverbrauch = Bruttostromerzeugung (UBA eigene Berechnungen) - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumpstrom-Leitungsverluste<sup>3</sup> UBA-Berechnungen auf der Grundlage der Quellen 3, 5 und 6<sup>4</sup> Stromverbrauch inklusive Stromhandelsaldo = Bruttostromerzeugung (UBA eigene Berechnungen) - Kraftwerkseigenverbrauch - Pumparbeit-Leitungsverluste + Stromeinfuhr - Stromausfuhr<sup>5</sup> UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos<sup>6</sup> Emissionen der Stromerzeugung abzüglich der Emissionen die dem Stromhandelsaldo zugerechnet wurden<sup>7</sup> UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelsaldos 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 Handelssaldo [Mio. t] |
|--------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1990   | 366                                                 | 764                                               | 763                                                            | 367                                                                                     |
| 1991   | 361                                                 | 764                                               | 765                                                            | 361                                                                                     |
| 1992   | 345                                                 | 730                                               | 739                                                            | 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                                                            | 343                                                                                     |
| 2003   | 340                                                 | 634                                               | 638                                                            | 338                                                                                     |
| 2004   | 333                                                 | 614                                               | 617                                                            | 331                                                                                     |
| 2005   | 333                                                 | 610                                               | 616                                                            | 330                                                                                     |
| 2006   | 339                                                 | 603                                               | 622                                                            | 329                                                                                     |
| 2007   | 351                                                 | 622                                               | 640                                                            | 340                                                                                     |
| 2008   | 329                                                 | 583                                               | 604                                                            | 318                                                                                     |
| 2009   | 300                                                 | 567                                               | 581                                                            | 293                                                                                     |
| 2010   | 314                                                 | 558                                               | 573                                                            | 306                                                                                     |
| 2011   | 310                                                 | 568                                               | 572                                                            | 308                                                                                     |
| 2012   | 321                                                 | 573                                               | 595                                                            | 309                                                                                     |
| 2013   | 326                                                 | 572                                               | 606                                                            | 307                                                                                     |
| 2014   | 312                                                 | 557                                               | 593                                                            | 293                                                                                     |
| 2015   | 304                                                 | 527                                               | 575                                                            | 279                                                                                     |
| 2016   | 303                                                 | 523                                               | 572                                                            | 277                                                                                     |
| 2017*  | 284                                                 | 486                                               | 534                                                            | 259                                                                                     |
| 2018** | 273                                                 | 474                                               | 518                                                            | 250                                                                                     |

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2017 und erste Schätzungen 2018 im Vergleich zu CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung



2017\* vorläufig 2018\*\* geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2019

## 2 Methode zur Berechnung

Eine Aktualisierung der Emissionsfaktoren in den Treibhausgasinventaren für „sonstige Gase“ 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<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 berechnete Stromverbrauch in Anhang 2.

Die Bruttostromerzeugung wird auf der Grundlage der Daten der AGEb für die konventionellen Brennstoffe und für die erneuerbaren Energien auf der Grundlage der Daten der AGEE-Stat in die Berechnung einbezogen

### 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). Ab 2018 wird für die Berechnung auf den Stromhandelssaldo aus der amtlichen Statistik „Monatsbericht der Elektrizitätsversorgung“ des Statistischen Bundesamtes abgestellt(12).

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

### 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).

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

### 2.4 Kohlendioxidemissionen aus der gesamten Stromerzeugung

**I. Menge der direkten Kohlendioxidemissionen eines Kalenderjahres aus der Verbrennung fossiler Energieträger zur Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland.**

In dieser Angabe sind Kohlendioxidemissionen aus den der Stromerzeugung vorgelagerten Erzeugungsstufen (Vorketten) wie z.B. Brennstoffgewinnung und -transport, die so genannten „indirekten Emissionen“ (Vorketten), nicht enthalten. Die Kohlendioxidemissionen für die

Stromerzeugung werden aus der Datenbank des Umweltbundesamtes (Zentrales System der Emissionen –ZSE) (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 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.**

$$\begin{aligned} & \text{Emissionen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos} \\ &= \text{Emissionen laut ZSE} - (\text{Stromhandelssaldo} * \text{Emissionsfaktor}) \end{aligned}$$

Im Ergebnis werden die Emissionen ausgewiesen, welche dem tatsächlich in der Bundesrepublik verbrauchten Strom zugeordnet werden können.

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

**III. Die gesamte, im jeweiligen Kalenderjahr für den Endverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge, welche in der Bundesrepublik Deutschland erzeugt wurde (umfasst fossil, nuklear und regenerativ erzeugten Strom).**

Diese berechnet sich durch den Abzug des Kraftwerkseigenverbrauchs, der Leitungsverluste und der Pumpstromarbeit von der gesamten Bruttostromerzeugung. Die Angaben zu Pumpströmen wurden auf die Pumparbeit aktualisiert; welche in der amtlichen Statistik „Monatsbericht der Energieerzeugung“ [12] ausgewiesen wird. Die Größe gibt in Quantität und Qualität sehr gut den in Haushalt, Gewerbe und Industrie zum Endverbrauch zur Verfügung stehenden Strom wieder, berücksichtigt jedoch nicht Stromimporte und Exporte. Daher ist sie nicht mit dem inländischen Stromverbrauch gleichzusetzen. Die Datenbasis für die konventionellen Brennstoffe für die Bruttostromerzeugung ist die Tabelle „Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2018 nach Energieträgern“ welche im Auftrag des BMWi erarbeitet und auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. veröffentlicht wird (6). Für die erneuerbaren Energien werden seit dem Jahr 2018 auf die von der AGEE-Stat berechneten und beim BMWi veröffentlichten Daten zur Stromerzeugung zugrunde gelegt. 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).

*Strommenge Endverbrauch*

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

## 2.7 Inländischer Stromverbrauch

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

*inländischer Stromverbrauch*

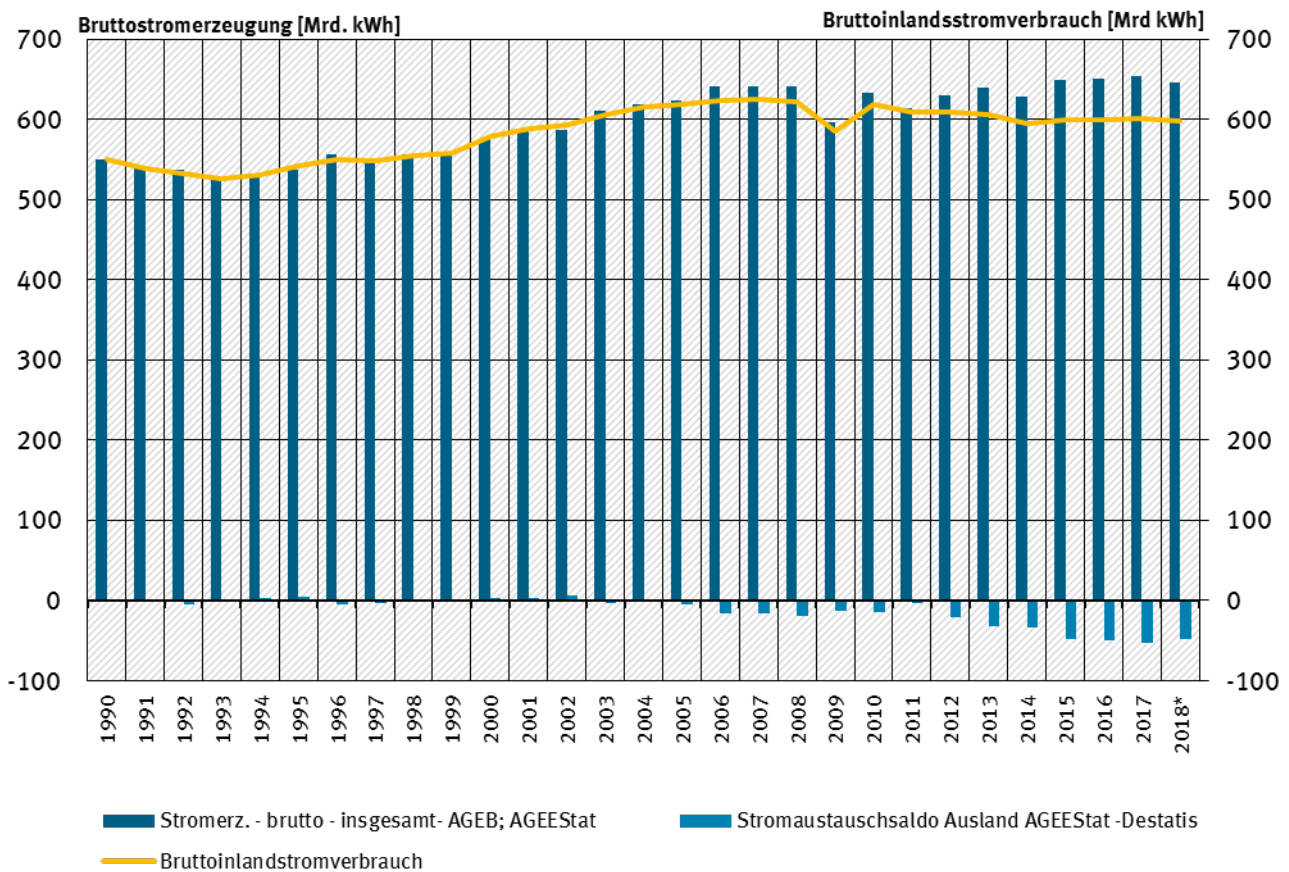
$$\begin{aligned} &= \text{Bruttostromerzeugung} - \text{Kraftwerkseigenverbrauch} - \text{Leitungsverluste} - \text{Pumparbeit} \\ &- \text{Stromhandelssaldo (absolut)} \end{aligned}$$

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. 3,1 % der



Bruttostromerzeugung stabilisierte, hat er im Jahr 2017 ca. 8,0 % erreicht um im Jahr 2018 auf ca. 7,5 % (vorläufig) zu sinken. Die Bruttostromerzeugung stieg in den Jahren 2015 und 2016 wieder an, nachdem sie im Jahr 2014 gegenüber dem Vorjahr gesunken war. Im Vergleich dazu hat sich der Bruttoinlandsstromverbrauch seit dem Jahr 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 03-2019; AGEe – Stat 03/2019 UBA eigene Berechnungen

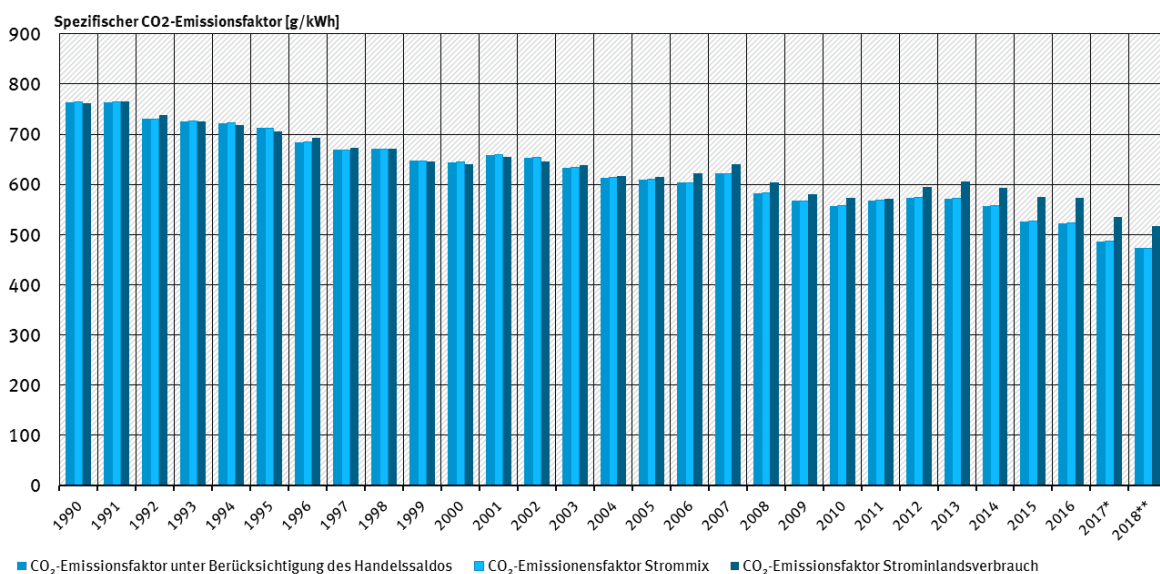
### 3 Zeitliche Entwicklung des Indikators

#### 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 2016 von 764 g CO<sub>2</sub>/kWh auf 523 g CO<sub>2</sub>/kWh (siehe Abbildung 2). Das entspricht einer Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um ca. 32 % pro Kilowattstunde Strom. Für die Folgejahre 2017 und 2018 erfolgte die Berechnung mit vorläufigen und geschätzten Daten. Die vorläufigen Ergebnisse für 2017 weisen eine deutliche Verringerung auf 486 g CO<sub>2</sub>/kWh aus, während auf der Grundlage von geschätzten Daten für 2018 473 g CO<sub>2</sub>/kWh ermittelt wurden. Hier kommt die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung zum Tragen. Die vorläufigen Werte von 2018 zeigen eine Steigerung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung von ca. 35 %. Eine weitere Ursache ist eine Verringerung des Einsatzes an Stein- und Braunkohle zur Stromerzeugung bei gleichzeitiger Zunahme des emissionsärmeren Erdgases. Der Stromexportüberschuss im Jahr 2017 mit 52 Mrd. kWh und 2018 mit 49 Mrd. kWh zeigt eine Stabilisierung auf hohem Niveau, auch wenn für 2018 vorläufig eine geringe Absenkung gegenüber 2017 erwartet wird. hat ein neues Rekordniveau gegenüber 32 Mrd. kWh aus 2013 erreicht. (Anhang 2).

Aufgrund der steigerten Nettostromexporte führt der stagnierende Strominlandsverbrauch, insbesondere ab dem Jahr 2013, zu einem im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor Strommix signifikant höheren CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Strominlandsverbrauch, d.h. die deutsche Emissionsbilanz kann nur in reduziertem Maße vom gesunkenen CO<sub>2</sub>-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



2017\* vorläufig 2018\*\* geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2019



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 Braun- oder Steinkohle, 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 Strommix. Tabelle 2 zeigt die direkten Emissionsfaktoren der drei wichtigsten fossilen Brennstoffe im Vergleich zum Emissionsfaktor des deutschen Strommix gesamt.

Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2017\*

|                   | CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor bezogen auf den Brennstoffeinsatz [g/kWh] | Brennstoffaus-nutzungsgrad netto bezogen auf den Stromverbrauch [%] | CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor bezogen auf den Stromverbrauch [g/kWh] | Vergleich CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh] |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Erdgas</b>     | 201                                                                        | 54                                                                  | 374                                                                     | 486                                                         |
| <b>Steinkohle</b> | 336                                                                        | 41                                                                  | 815                                                                     |                                                             |
| <b>Braunkohle</b> | 407                                                                        | 36                                                                  | 1.142                                                                   |                                                             |

\*vorläufig

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2019

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2019

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<sub>el</sub>) aus UBA-internen Angaben aus der Kraftwerksdatenbank von durchschnittlich 39 % für Steinkohlenkraftwerke, 38 % für Braunkohlenkraftwerke und für Erdgas für Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD) von 52 %, sowie Gasturbinenkraftwerke von 40 % . Neue Kraftwerke erreichen Nettowirkungsgrade von 46 % (Steinkohlenkraftwerke), 43 % (Braunkohlenkraftwerke) und 61 % (GuD-Kraftwerke) (7).

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

**Tabelle 3: Durchschnittliche Brennstoffausnutzungsgrade bezogen auf die Bruttostromerzeugung<sup>1</sup>**

| Jahr  | Steinkohlen | Braunkohlen | Erdgas <sup>2</sup> | 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  | 43%         | 39%         | 57%                 | 47%                     |
| 2017* | 46%         | 39%         | 59%                 | 50%                     |

2017\* vorläufig

Quellen: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2019

<sup>1</sup> Die Trennung zwischen Strom- und Wärmeerzeugung in KWK -Anlagen erfolgt über die finnische Methode<sup>2</sup> Bei der Finnischen Methode wird die Stromerzeugung in gasbetriebenen KWK-Anlagen durch die Referenzwirkungsgrade höher bewertet

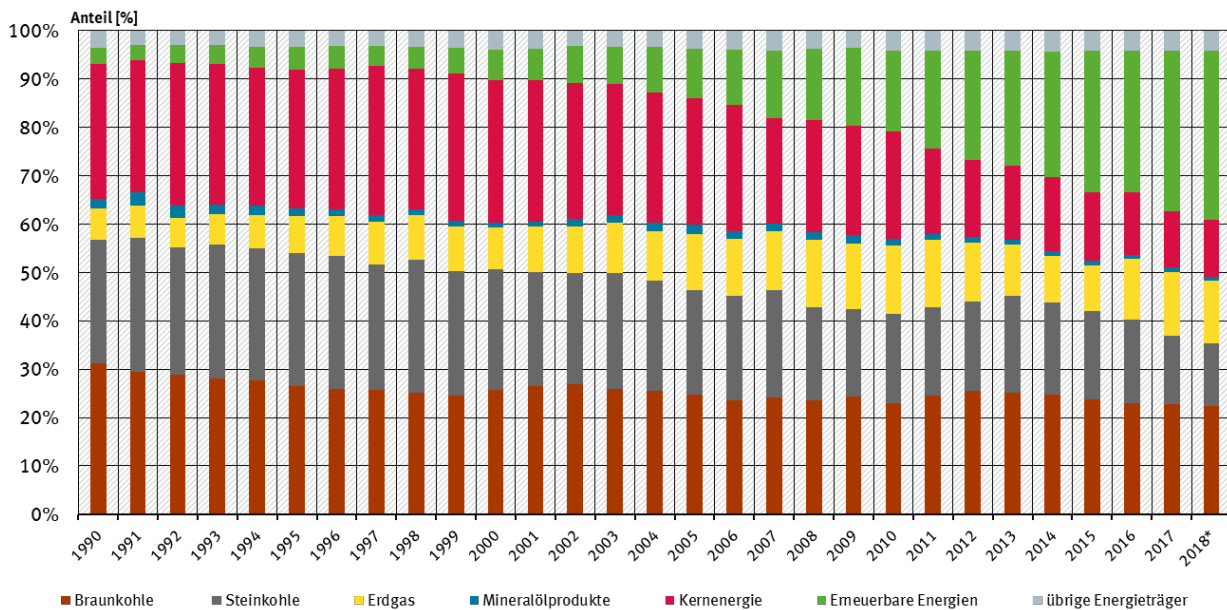
Von 1990 bis 2005 sinkt der Emissionsfaktor mit deutlichen Schwankungen in einzelnen Jahren, die auf signifikante Veränderungen im Kraftwerkspark zurückzuführen sind. Es lassen sich verschiedene

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 2014 ergibt sich trotz Anstieg des Stromverbrauchs auf Grund der gleichzeitig erhöhten Anteile 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 wirken sich der verminderte Einsatz der 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 fast 4 Mrd. kWh, um im Jahr 2014 mit ca. 34 Mrd. kWh eine erneute Steigerung sowie im Jahr 2015 mit über 48 Mrd. kWh eine sprunghafte Erhöhung zu erfahren. Mit ca. 52 Mrd. kWh im Jahr 2017 erreicht er wiederholt einen höchsten Stand und sinkt geringfügig im Jahr 2018 auf 49 Mrd. kWh (Anhang 2).

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 5 Mrd. kWh zu einer Überschätzung des „Emissionsfaktors Strominlandsverbrauch“ von 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<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (vgl. 2.7).

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

\* vorläufig z.T. geschätzt

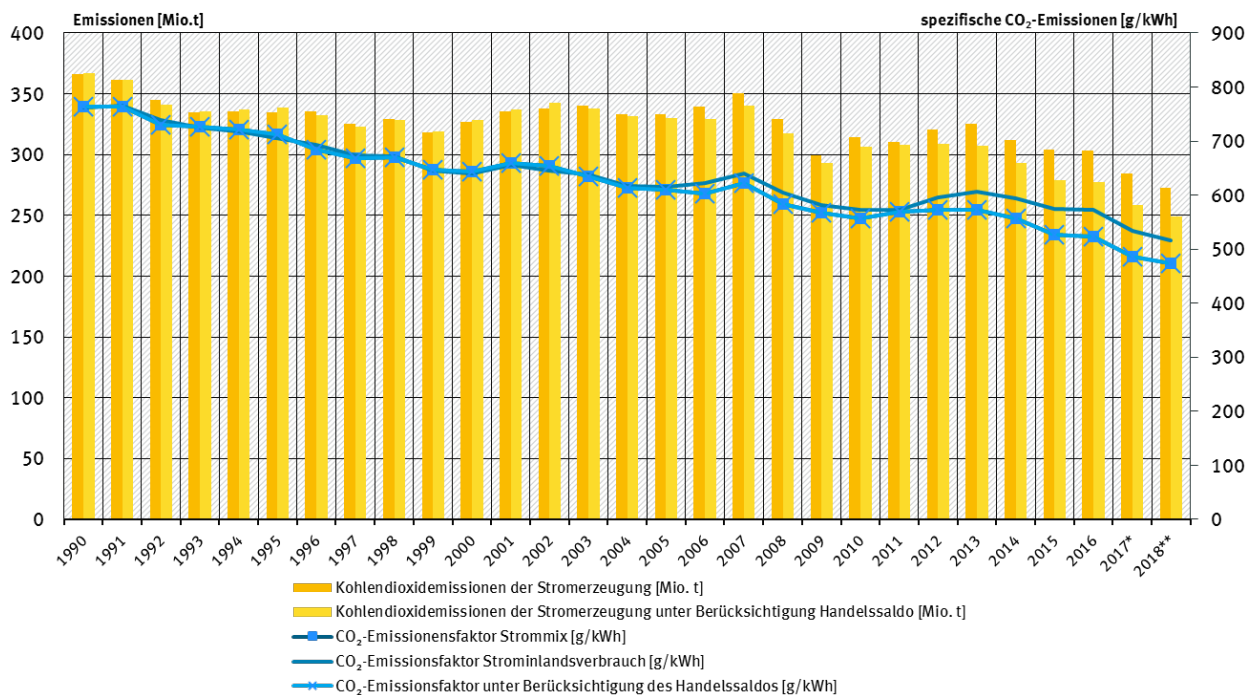
Quelle: AGEB Stand 03./2019, eigene Berechnungen UBA, AGEE - Stat 03/2019

Ab dem Jahr 1999 nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energieträger am Strommix deutlich zu. So steigt der Anteil regenerativ erzeugten Stroms zwischen 1998 und 2017 von ca. 4,5 % auf ca. 33 %, um 2018 mit über 43 % einen neuen Höchststand zu erreichen. 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 zu Gunsten des Erdgases wieder umgekehrt. (Abb. 3)

### 3.2 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)



2017\* vorläufig 2018\*\* geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2019

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 gegangenen Kraftwerken

Wurden im Jahr 1990 noch 366 Mio. Tonnen Kohlendioxid aus der Stromerzeugung emittiert, so waren es 303 Mio. Tonnen im Jahr 2016. Dies entspricht einer Reduzierung der Gesamtemissionen der Stromerzeugung von ca. 17 %. Für das Jahr 2018 wird eine Verringerung der Kohlendioxidsparung im Stromsektor um ca. 25 % (absolut gesamt 273 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

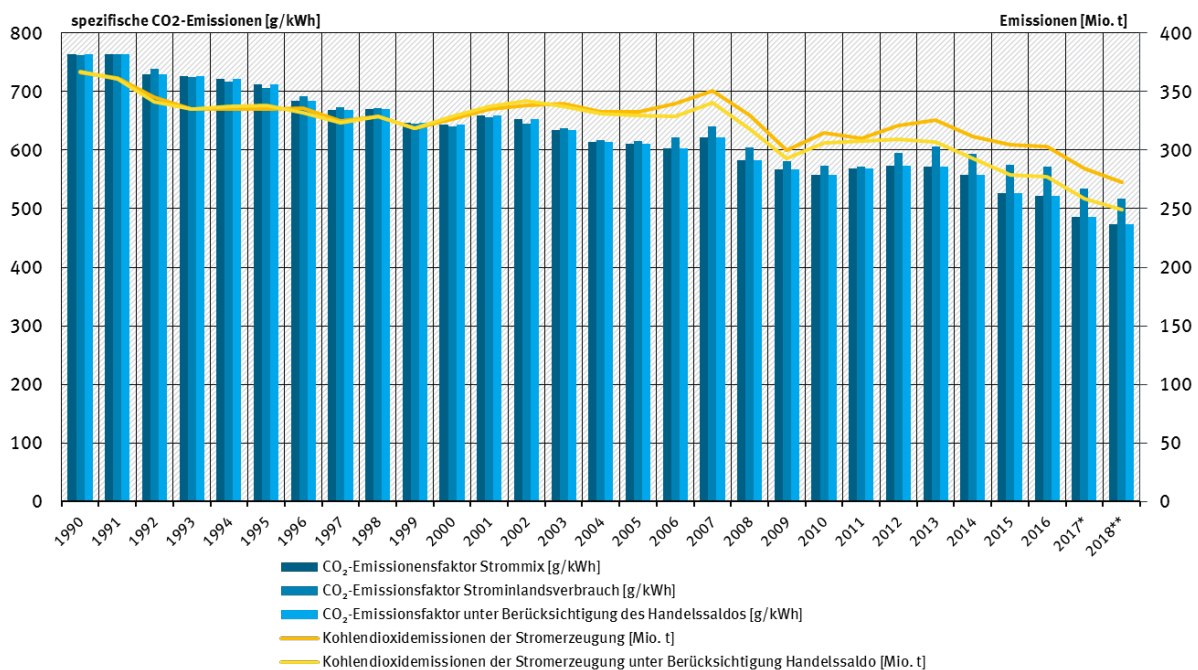


bis 2009“ mit Stand vom 08.10.2012 dokumentiert und ist auf der Internetseite der AGEB abrufbar (8). Die Aktualisierungen zu Berechnungen der Emissionen aus Abfällen und Sekundärbrennstoffen sind im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR) dokumentiert (9). Die Daten zur Bruttostromerzeugung 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 2016 der „Emissionsfaktor“ 523 g CO<sub>2</sub>/kWh und der „Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch“ 572 g CO<sub>2</sub>/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 572 g CO<sub>2</sub>/kWh auf 486 g CO<sub>2</sub>/kWh im Jahr 2017 (vorläufig). Unter Schwankungen ist ein sinkender Trend feststellbar.

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



2017\* vorläufig 2018\*\* geschätzt

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt März 2019

## 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<sub>2</sub>/kWh im Jahr 1990 (Emissionsfaktor Strommix) auf 523 g CO<sub>2</sub>/kWh im Jahr 2016 ist positiv zu bewerten.

Auch der für 2017 hochgerechnete CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor in Höhe von 486 g CO<sub>2</sub>/kWh und der für 2018 geschätzte Wert von 474 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 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<sub>2</sub>-Emissionen.

Für 2017 wird trotz leicht gestiegenem Stromverbrauch 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 Berichtskonventionen sind Emissionen 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. Für 2018 wird erstmalig von einer geringfügigen Senkung des Stromhandelssaldos ausgegangen.

Vergleichsweise wurden auch die Emissionen berechnet, die sich ohne eine Anrechnung des Stromhandelsexportüberschusses auf den deutschen Stromverbrauch ergeben würde. Für das Jahr 2016 würden sich die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Stromerzeugung von 303 Mio. t auf 277 Mio. t (ohne Stromhandelssaldo) verringern. Für 2018 wird diese Differenz auf 23 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<sub>2</sub>-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.

## 4 Quellenverzeichnis

- (1) IPCC-Guidelines 2006: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (aufgerufen am 20.04.2015)
- (2) AGEb; Stand November 2015 "Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland" Seite 10  
<http://www.ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf> (aufgerufen am 25.03.2019)
- (3) Umweltbundesamt, FG I 2.6; Datenbank Zentrales System der Emissionen (ZSE) Stand 03/2019
- (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=20181214\\_brd\\_stromerzeugung1990-2018.xlsx](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20181214_brd_stromerzeugung1990-2018.xlsx)
- (4a) Tabelle „Stromerzeugung nach Energieträgern 1990-2017“ der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEb)  
[https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=20181214\\_brd\\_stromerzeugung1990-2018.xlsx](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20181214_brd_stromerzeugung1990-2018.xlsx)  
(aufgerufen am 14.03.2019)  
[https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=ageb\\_pressedienst\\_02\\_2019.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_pressedienst_02_2019.pdf)  
(aufgerufen am 27.03.2019)
- (5) Destatis, 2016, Stand März 2019, Fachserie 19 Reihe 1
- (6) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2018 nach Energieträgern - AGEb - Stand 14.12.2018  
[https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=20181214\\_brd\\_stromerzeugung1990-2018.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20181214_brd_stromerzeugung1990-2018.pdf)  
(aufgerufen am 15.03.2019)
- (7) Kraftwerksdatenbank des UBAs-UBA-interne Angaben zu Wirkungsgraden  
<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenbank-kraftwerke-in-deutschland> (aufgerufen am 14.03.2019)
- (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/](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envwqujha/) (aufgerufen am 20.03.2018);
- (9a) Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2019 , Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018, Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017  
2019 noch unveröffentlicht, Daten unter [https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envxiohmw/](https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envxiohmw/)  
(aufgerufen am 15.03.2019)
- (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/du\\_eu\\_2004\\_nir\\_30apr.zip](http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/du_eu_2004_nir_30apr.zip), Kapitel 13.8
- (11) AGEb, Stand März 2019, Energiebilanzen 2016 (Stand 29.08.2018), [https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=bilanz16d.xls](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz16d.xls) (aufgerufen am 14.03.2019)



(12) Destatis; 2016; Stand März-2018, Monatserhebung der Elektrizitätsversorgung;–Code 43311-0003 <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> Bericht-Code: 43311 – 0003(aufgerufen am 14.03.2019)

(13) AGEE – Stat; Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand: Februar 2019 , Tabelle 3 „ Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien 1990-2018“ [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html) (aufgerufen am 23.03.2019)

**A Anhang 1: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE [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     | 9          | 8             | 17       | 333    |
| 2006   | 159         | 116         | 29     | 8          | 9             | 19       | 339    |
| 2007   | 164         | 118         | 29     | 7          | 10            | 22       | 351    |
| 2008   | 158         | 102         | 33     | 7          | 9             | 20       | 329    |
| 2009   | 153         | 89          | 30     | 7          | 9             | 12       | 300    |
| 2010   | 151         | 95          | 32     | 6          | 10            | 20       | 314    |
| 2011   | 156         | 91          | 30     | 5          | 9             | 19       | 310    |
| 2012   | 166         | 94          | 27     | 5          | 9             | 19       | 321    |
| 2013   | 163         | 104         | 24     | 5          | 9             | 21       | 326    |
| 2014   | 159         | 97          | 22     | 5          | 10            | 19       | 312    |
| 2015   | 157         | 92          | 22     | 4          | 9             | 20       | 304    |
| 2016   | 153         | 88          | 29     | 4          | 10            | 20       | 303    |
| 2017*  | 151         | 69          | 29     | 4          | 10            | 21       | 284    |
| 2018** | 148         | 61          | 28     | 4          | 10            | 21       | 273    |

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

Quellen: Umweltbundesamt, ZSE; März 2019

\* vorläufige Daten \*\* geschätzte Daten  
Umweltbundesamt, ZSE; März 2019

Rundungen können zu abweichenden Summen führen Quellen:

## B Anhang 2: Aus der Bruttostromerzeugung berechneter Stromverbrauch

| Jahr | Kern-<br>energie | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Erdgas        | Mineral-<br>öl-<br>produkt<br>e | Wasser-<br>kraft<br>Lauf-<br>wasser | Wind-<br>energie | Biomass<br>e  | Photo-<br>voltaik | Müll          | übrige<br>Energie-<br>träger | Wasser-<br>kraft<br>Pump-<br>arbeit<br>(ab-<br>züglich) | Strom-<br>verbrauch<br>insgesamt | Einfuhr       | Ausfuhr       | Strom-<br>handels-<br>saldo |
|------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------|-------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|
|      | [Mrd.<br>kWh]    | [Mrd.<br>kWh]   | [Mrd.<br>kWh]   | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]                   | [Mrd.<br>kWh]                       | [Mrd.<br>kWh]    | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]     | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]                | [Mrd.<br>kWh]                                           | [Mrd.<br>kWh]                    | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>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             | 131             | 29            | 9                               | 16                                  | 1                | 0             | 0                 | 1             | 14                           | 5                                                       | 462                              | 34            | 33            | 1                           |
| 1994 | 134              | 128             | 130             | 32            | 9                               | 18                                  | 1                | 1             | 0                 | 1             | 15                           | 5                                                       | 464                              | 36            | 34            | 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                                                       | 490                              | 37            | 43            | -5                          |
| 1997 | 152              | 128             | 127             | 43            | 7                               | 16                                  | 3                | 1             | 0                 | 1             | 16                           | 6                                                       | 486                              | 38            | 40            | -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            | 40            | 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                              | 44            | 45            | 3                           |
| 2002 | 147              | 120             | 141             | 50            | 8                               | 21                                  | 14               | 4             | 0                 | 2             | 16                           | 6                                                       | 517                              | 46            | 46            | 7                           |
| 2003 | 147              | 131             | 141             | 56            | 9                               | 16                                  | 17               | 6             | 0                 | 2             | 18                           | 8                                                       | 536                              | 46            | 54            | -3                          |
| 2004 | 149              | 126             | 141             | 56            | 10                              | 19                                  | 23               | 7             | 0                 | 2             | 19                           | 9                                                       | 543                              | 44            | 52            | -3                          |

| Jahr   | Kern-<br>energie | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Erdgas        | Mineral-<br>öl-<br>produkt<br>e | Wasser-<br>kraft<br>Lauf-<br>wasser | Wind-<br>energie | Biomass<br>e  | Photo-<br>voltaik | Müll          | übrige<br>Energie-<br>träger | Wasser-<br>kraft<br>Pump-<br>arbeit<br>(ab-<br>züglich) | Strom-<br>verbrauch<br>insgesamt | Einfuhr       | Ausfuhr       | Strom-<br>handels-<br>saldo |
|--------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------|-------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|
|        | [Mrd.<br>kWh]    | [Mrd.<br>kWh]   | [Mrd.<br>kWh]   | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]                   | [Mrd.<br>kWh]                       | [Mrd.<br>kWh]    | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]     | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]                | [Mrd.<br>kWh]                                           | [Mrd.<br>kWh]                    | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh] | [Mrd.<br>kWh]               |
| 2005   | 145              | 119             | 137             | 65            | 11                              | 17                                  | 25               | 10            | 1                 | 3             | 21                           | 10                                                      | 545                              | 53            | 62            | -5                          |
| 2006   | 149              | 123             | 135             | 67            | 10                              | 18                                  | 28               | 13            | 2                 | 3             | 23                           | 9                                                       | 563                              | 46            | 66            | -17                         |
| 2007   | 126              | 127             | 139             | 70            | 9                               | 19                                  | 36               | 18            | 3                 | 4             | 24                           | 9                                                       | 564                              | 44            | 63            | -17                         |
| 2008   | 133              | 111             | 135             | 80            | 9                               | 18                                  | 37               | 21            | 4                 | 4             | 22                           | 8                                                       | 565                              | 40            | 63            | -20                         |
| 2009   | 121              | 97              | 131             | 73            | 9                               | 17                                  | 35               | 24            | 6                 | 4             | 19                           | 8                                                       | 528                              | 41            | 55            | -12                         |
| 2010   | 127              | 106             | 132             | 81            | 8                               | 19                                  | 35               | 26            | 11                | 4             | 24                           | 9                                                       | 564                              | 42            | 60            | -15                         |
| 2011   | 98               | 101             | 136             | 78            | 7                               | 16                                  | 45               | 29            | 18                | 4             | 23                           | 8                                                       | 546                              | 50            | 56            | -4                          |
| 2012   | 90               | 105             | 145             | 69            | 7                               | 20                                  | 47               | 35            | 24                | 4             | 23                           | 8                                                       | 559                              | 44            | 67            | -21                         |
| 2013   | 88               | 115             | 145             | 61            | 7                               | 21                                  | 48               | 36            | 28                | 5             | 24                           | 8                                                       | 569                              | 38            | 72            | -32                         |
| 2014   | 88               | 107             | 141             | 55            | 5                               | 18                                  | 53               | 38            | 33                | 5             | 24                           | 8                                                       | 560                              | 39            | 75            | -34                         |
| 2015   | 83               | 106             | 140             | 56            | 6                               | 17                                  | 73               | 40            | 35                | 5             | 25                           | 8                                                       | 578                              | 34            | 85            | -48                         |
| 2016   | 77               | 102             | 135             | 74            | 5                               | 19                                  | 72               | 41            | 34                | 5             | 25                           | 7                                                       | 581                              | 27            | 81            | -51                         |
| 2017*  | 69               | 84              | 135             | 79            | 5                               | 18                                  | 96               | 41            | 36                | 5             | 25                           | 8                                                       | 584                              | 28            | 83            | -52                         |
| 2018** | 69               | 75              | 132             | 75            | 5                               | 15                                  | 101              | 41            | 42                | 6             | 24                           | 8                                                       | 576                              | 32            | 81            | -49                         |

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

Quellen: Umweltbundesamt, eigene Berechnungen, März 2019

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

## C Anhang 3: Emissionsfaktoren entsprechend ZSE

| Material                             | [kg CO <sub>2</sub> /TJ]   |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Andere Mineralölprodukte             | 82998                      |
| Braunkohlenbriketts                  | 99308                      |
| Braunkohlenstaub-/Wirbelschichtkohle | 98086                      |
| Deponiegas                           | 111396                     |
| Dieselmkraftstoff                    | 74027                      |
| Erdgas                               | 55827                      |
| Flüssiggas                           | 66333                      |
| Gicht- u. Konvertergas               | 258318                     |
| Grubengas                            | 68118                      |
| Hartbraunkohle                       | 94640                      |
| Hausmüll/Siedlungsabfall fossil      | 91510                      |
| Heizöl, leicht                       | 74020                      |
| Heizöl, schwer                       | 80834                      |
| Industriemüll fossil                 | 71133                      |
| Klärgas                              | 104894                     |
| Kokerei-/Stadtgas                    | 40706                      |
| Petrolkoks                           | 104279                     |
| Raffineriegas                        | 53333                      |
| Rohbraunkohle Helmstedt              | 97920                      |
| Rohbraunkohle Hessen                 | 102472                     |
| Rohbraunkohle Lausitz                | 111488                     |
| Rohbraunkohle Mitteldeutschland      | 104314                     |
| Rohbraunkohle Rheinland              | 113031                     |
| Rückstände Papierindustrie, fossil   | 86222                      |
| Sonderabfall                         | 82989                      |
| Sonstige hergestellte Gase           | 1770 kg/1000m <sup>3</sup> |
| Steinkohle                           | 93369                      |
| Steinkohlenbriketts                  | 95913                      |
| Steinkohlenkoks                      | 108264                     |

Quelle: Umweltbundesamt, ZSE Submission 2019 Stand 03/2019 unveröffentlicht