

Umwelteffekte der Strom- und Wärmebereitstellung sowie Kraftstoffnutzung: Zeitreihen von 1990 bis 2004

- Schlussfassung des Endberichts -

erstellt von

Uwe R. Fritsche, Lothar Rausch
Bereich Energie & Klimaschutz
Öko-Institut, Büro Darmstadt

in Kooperation mit

Günther Frey, Juri Horst
IZES (Institut für ZukunftsEnergieSysteme),
Saarbrücken

Darmstadt, Februar 2007

Öko-Institut e.V.

Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Tel.: (06151) 8191-0
Fax: (06151) 8191-33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 6226
D-79038 Freiburg
Tel.: +49-(0)761-452950
Fax: +49-(0)761-475437

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Tel.: +49-(0)30-280486-80
Fax: +49-(0)30-280486-88

www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis..... iii

Abbildungsverzeichnis v

1 Einleitung und Fragestellung..... 1

2 Zur Methodik und den Datengrundlagen 2

2.1 Umweltdaten der deutschen Strombereitstellung 1990-2004 3

2.2 Mengengerüst der deutschen Strombereitstellung 1990-2004 9

2.3 Substitutionslogik für Strom aus erneuerbaren Energien..... 12

2.4 Mengengerüst für Strom aus erneuerbaren Energien 1990-2004..... 12

2.5 Umweltdaten der Wärmebereitstellung in Haushalten 1990-2004..... 14

2.6 Mengengerüst der Wärmebereitstellung in Haushalten 1990-2004..... 15

2.7 Substitutionslogik für Wärme aus erneuerbaren Energien..... 18

2.8 Umweltdaten der deutschen Kraftstoffnutzung von 1990 bis 2004..... 19

2.9 Mengengerüst der deutschen Kraftstoffnutzung von 1990 bis 2004..... 21

2.10 Substitutionslogik für die erneuerbare Kraftstoffnutzung..... 21

3 Einsparung von Emissionen durch Erneuerbare Energien..... 23

3.1 Einsparungen durch erneuerbare Energien im Bereich der Stromerzeugung von 1990 bis 2004 23

3.2 Einsparungen im Wärmebereich von 1990 bis 2004..... 25

3.3 Einsparungen im Bereich fossiler Kraftstoffe durch erneuerbare Energien von 1990 bis 2004 31

3.4 Gesamtbilanzen der Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien 32

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5 | Einsparungen fossiler Brenn- und Kraftstoffe durch erneuerbare Energien von 1990-2004..... | 33 |
| 4 | Folgerungen für die künftige Berechnung von Emissionsdaten im Rahmen der EEG-Berichterstattung und EE-Statistik..... | 35 |
| 4.1 | Brutto- versus Nettobilanzierung..... | 35 |
| 4.2 | Direkte versus Gesamtbilanzierung | 35 |
| 4.3 | Statistische Erfassungs- und Detaillierungsfragen..... | 36 |
| | Literatur | 37 |
| | Abkürzungsverzeichnis | 39 |
| | Datenanhang | 40 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| <i>Tabelle 1</i> | <i>Brennstoffbezogene direkte Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung aus ZSE für das Jahr 2004.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Tabelle 2</i> | <i>Direkte Emissionsfaktoren für biogene und Grubengas-Stromerzeugung.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Tabelle 3</i> | <i>Direkte Emissionsfaktoren der fossilen Stromerzeugung 1990-2004.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Tabelle 4</i> | <i>Brennstoffeinsatz zur öffentlichen Stromerzeugung seit 1990.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Tabelle 5</i> | <i>Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland 1990-2004.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Tabelle 6</i> | <i>Berechnete Brutto-Nutzungsgrade der fossilen Stromerzeugung in Deutschland von 1990-2004.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Tabelle 7</i> | <i>Verwendete Brutto-Nutzungsgrade der fossilen Stromerzeugung in Deutschland von 1990-2004.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Tabelle 8</i> | <i>Substitutionsanteile fossiler Stromerzeugung durch Strom aus erneuerbaren Energien nach ISI.....</i> | <i>12</i> |
| <i>Tabelle 9</i> | <i>Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien 1990-2004.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Tabelle 10</i> | <i>Direkte Emissionsfaktoren der Wärmebereitstellung im Jahr 2004.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Tabelle 11</i> | <i>Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Tabelle 12</i> | <i>Brennstoffeinsatz in den Haushalten von 1990-2004.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabelle 13</i> | <i>Substitutionsanteile für Heizöl und Erdgas beim Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärmebereich der Haushalte in Deutschland.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabelle 14</i> | <i>Direkte Emissionsfaktoren der fossilen Kraftstoffnutzung in Pkw.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Tabelle 15</i> | <i>Direkte Emissionsfaktoren der biogenen Kraftstoffnutzung in Pkw.....</i> | <i>20</i> |

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabelle 16 Gesamtemissionsfaktoren der Kraftstoffnutzung in Pkw (inkl. Vorketten).....</i> | <i>20</i> |
| <i>Tabelle 17 Kraftstoffeinsätze in Diesel- und Otto-Pkw in Deutschland 1995-2004</i> | <i>22</i> |
| <i>Tabelle 18 Emissionsvermeidung durch Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Bruttobilanz) von 1990-2004.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tabelle 19 Emissionsvermeidung durch Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Nettobilanz) von 1990-2004.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabelle 20 Vergleich der direkten und gesamten Emissionsvermeidung durch erneuerbaren Strom (Nettobilanz) im Jahr 2004.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Tabelle 21 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Bruttobilanz) 1990-2004 bei Substitutionslogik „Durchschnitt“</i> | <i>26</i> |
| <i>Tabelle 22 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Bruttobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Heizöl“.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Tabelle 23 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Bruttobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Mix Öl/Gas“</i> | <i>27</i> |
| <i>Tabelle 24 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Durchschnitt“.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Tabelle 25 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Heizöl“.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Tabelle 26 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Mix Öl/Gas“.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Tabelle 27 Vergleich der direkten und gesamten Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) im Jahr 2004 bei Substitutionslogik „Mix Öl/Gas“</i> | <i>30</i> |
| <i>Tabelle 28 Emissionsvermeidung durch biogene Kraftstoffe (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitution von Diesel bzw. Benzin</i> | <i>31</i> |
| <i>Tabelle 29 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien (Nettobilanz) von 1990-2004.....</i> | <i>32</i> |

Tabelle 30 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien (Nettobilanz) in Deutschland im Jahr 2004 für die gesamten Emissionen..... 33

Tabelle 31 Direkte Brennstoffvermeidung durch erneuerbare Energien in allen Sektoren von 1990-2004 33

Tabelle 32 Vermeidung fossiler Primärenergien durch Erneuerbare in allen Sektoren von 1990-2004..... 34

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 Entwicklung der strombezogenen fossilen Emissionsfaktoren und des Brennstoffaufwands in Deutschland..... 8

Bild 2 Vergleich der Einsparung von Treibhausgasen durch erneuerbare Wärme von 1990-2004 für die drei Varianten zur Substitutionslogik 29

Bild 3 Vergleich der Einsparung von SO₂-Äquivalenten durch erneuerbare Wärme von 1990-2004 für die drei Varianten zur Substitutionslogik 30

1 Einleitung und Fragestellung

Das Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.) bearbeitet in Kooperation mit IZES (Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken) im Auftrag des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) eine Kurzstudie zur Ermittlung und Darstellung von Zeitreihen zu Umwelteffekten der deutschen Strom- und Wärmebereitstellung sowie Kraftstoffnutzung. Dies steht im Kontext der Arbeiten der *Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik* (AGEE-Stat).

Der vorliegende Endbericht fasst die Ergebnisse dieser Arbeiten zusammen und wurde nach Rückmeldungen von ZSW und Umweltbundesamt überarbeitet.

Er umfasst im Kapitel 2 eine Beschreibung der Daten-/Literaturgrundlage für die ermittelten Emissionsfaktoren und verwendeten Energiedaten (Jahre 1990-2004) sowie die Methodik der Bilanzierung.

Im Kapitel 3 werden die Ergebnisse der Bilanzen für Treibhausgase, Luftschadstoffe und Brennstoffbilanzen dargestellt.

Im Kapitel 4 wird auf bisherige Probleme und Vorschläge für die künftige Bilanzierung eingegangen.

Im Anhang sind wesentliche Daten in Tabellenform aufgenommen.

Die Datengrundlagen und Bilanzen wurden parallel zu diesem Bericht auch als Excel-Dateien vorgelegt.

Dieser Bericht fasst zwei Teilvorhaben zusammen, die einerseits die Daten für das Jahr 2004 und andererseits die Zeitreihen von 1990-2003 betreffen.

Gegenüber früheren Versionen wurden in dieser Schlussfassung des Endberichts

- die Daten auf den Stand von GEMiS 4.4 aktualisiert (release November 2006),
- die Anteile von Scheitholzfeuerungen bei der biogenen Wärmebereitstellung nach Daten des UBA und der AGEb sowie Verbändeinformationen korrigiert und
- die biogenen Anteile bei der Müllverbrennung im Strommix berücksichtigt.

Zudem wurden einige Erläuterungen im Text aufgenommen.

2 Zur Methodik und den Datengrundlagen

Die inputbezogenen direkten Emissionsfaktoren¹ der Jahre 1990-2004 für die Strom- und Wärmebereitstellung sowie Kraftstoffnutzung aus fossilen und erneuerbaren Energien wurden auf Basis der ZSE-Datenbank des UBA ermittelt. Hier liegen die Daten z.T. sehr differenziert vor, so dass eine Aggregation zu „typischen“ Emissionsfaktoren notwendig wurde.

Diese Aggregation erfolgte auf Basis der Brenn- bzw. Kraftstoffeinsätze (sog. Aktivitätsfaktoren), die in der ZSE-Datenbank parallel zu den Emissionsfaktoren mitgeführt werden. Um die einzelnen Werte aus ZSE-UBA mit den Daten z.B. zur Stromerzeugung und Heizwärmebedarf nach den offiziellen Energiestatistiken zu verrechnen, wurde die Aggregation mit Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) zum Brennstoffeinsatz in der öffentlichen Stromerzeugung (1990-2004) im gleichen Zeitraum (vgl. AGEB 2005) abgeglichen.

Die typischen Emissionsfaktoren sind dann strombezogen und können direkt mit der Substitutionsmethode nach ISI (2005) verrechnet werden.

Die durch den erneuerbaren Wärme- und Kraftstoffeinsatz vermiedenen fossilen Brennstoffe und deren Emissionen können auf Basis der inputbezogenen Emissionsfaktoren aus UBA-ZSE bestimmt werden, wobei auch hier einige Aggregationsschritte erforderlich waren. Weiterhin wurden die Zeitreihen des ZSE um den biogenen Brennstoffbedarf der Haushalte nach AGEB-Daten für 1990-1996 ergänzt.

Die *ergänzenden* Überlegungen zur Einbeziehung auch der indirekten Emissionen aus den Vorketten der Energieträger- und Kraftstoff*bereitstellung* beziehen sich datenseitig auf die Ergebnisse der Stoffstromdatenbank GEMiS Version 4.4, wie sie im Oktober 2006 in aktualisierter Form vorgelegt wurde².

Die Berechnung der in den Tabellen aufgeführten Äquivalentwerte für Emissionen an Treibhausgasen (CO₂-Äquivalente) erfolgte auf Basis der Treibhauspotenziale (THP) nach IPCC (2001), d.h. mit den massebezogenen THP für CH₄ von 23 und für N₂O von 296, jeweils für 100 Jahre Integrationszeitraum.

Bei den SO₂-Äquivalenten wurde SO₂ mit dem relativen Versauerungspotenzial von 1 und NO_x mit 0,696 (jeweils massebezogen) umgerechnet.

Im Folgenden werden die jeweiligen Hintergründe der Daten beschrieben.

¹ Dies sind die unmittelbar bei der Verbrennung von Energieträgern in Kraft- und Heizkraftwerken sowie Heizungen und die bei der Verbrennung von Kraftstoffen in Fahrzeugen freigesetzten Emissionen. Die *indirekten* Emissionen durch vorgelagerte Prozesse (Förderung, Aufbereitung, Transport) der Energieträger und Kraftstoffe sowie durch die Herstellung der Anlagen sind darin *nicht* enthalten.

² GEMiS steht für **G**lobales **E**missions-**M**odell integrierter **S**ysteme. Für nähere Information und kostenlosen Bezug siehe www.gemis.de

2.1 Umweltdaten der deutschen Strombereitstellung 1990-2004

Basis der Berechnungen sind die brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren (in $\text{kg/TJ}_{\text{input}}$) aus der ZSE-Datenbank des UBA sowie zugehörige Aktivitätsraten (in TJ_{input}), die als Zeitreihen von 1995 an vorliegen (vgl. UBA 2006)³.

In ZSE werden die direkten Emissionsfaktoren für CO_2 , CH_4 und N_2O sowie SO_2 , NO_x , Staub, CO und NMVOC für einzelne Emittentengruppen ausgewiesen. Für die Stromerzeugung wird zwischen der Öffentlichen Erzeugung, den Gruben- und Zechenkraftwerken, der Raffinerieerzeugung sowie den Kraftwerken des Steinkohlebergbaus differenziert und jeweils nach eingesetzter Brennstoffart unterschieden. Die Raffinerieerzeugung wird aus systematischen Gründen hier nicht weiter betrachtet, da diese Eigenerzeugung – wie die der anderen Industriesektoren auch – nicht durch die EEG-Einspeisung betroffen ist.

Die verwendeten Rohdaten der Stromerzeugung nach UBA-ZSE am Beispiel⁴ des Jahres 2004 zeigt die folgende Tabelle 1. Dabei steht GFA für Großfeuerungsanlagen und MVA für Müllverbrennungsanlagen. Die Daten in ZSE sind vergleichsweise disaggregiert. Für die hier interessierende Frage der Substitution der Stromerzeugung in fossilen Kraftwerken durch Strom aus erneuerbaren Energien (vgl. Abschnitt 2.3) sind typische, jahresbezogene Werte für die Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle sowie Erdgas nötig. Um solche Werte abzuleiten, wurde eine Aggregation der ZSE-Einzelwerte auf Brennstoffklassen, Kraftwerkstechniken (Dampfturbinen und Gasmotoren/Gasturbinen) sowie regionale Brennstoffe (ost- und westdeutsche Braunkohle) durchgeführt.

Grundlage dazu sind die Brennstoffeinsätze nach ZSE, die eine anteilige (prozentuale) Umrechnung auf die höhere Aggregationsstufe erlauben. Da für 1990 bis 1994 keine Einzelwerte aus ZSE vorliegen, wurde hierfür eine Abschätzung auf Basis der AGEB-Daten zum Brennstoffeinsatz durchgeführt.

Hinsichtlich der erneuerbaren Energien sind biogene Energieträger emissionsrelevant.

³ Die früheren Jahre (1990-1994) sind in ZSE zwar z.T. vorhanden, aber noch nicht qualitätsgesichert.

⁴ Eine Gesamtdarstellung der inputbezogenen Emissionsfaktoren von 1995-2004 aus ZSE gibt der Datenanhang.

In ZSE finden sich inputbezogene Emissionsfaktoren für Deponie- und Klärgas sowie Hausmüll. Bei letzterem wurden die *Durchschnittsemissionen* für die Luftschadstoffe und Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen des *biogenen* Hausmüllanteils verwendet, während die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung biogener Hausmüllanteile mit Null angesetzt wurden. Für Strom aus Biogas und (Alt)Holz wurden Neuanlagen-Emissionsfaktoren aus GEMiS 4.4 (Biogas-GM-BHKW, Altholz-DT-KW) verwendet, da hierzu keine UBA-Daten vorliegen (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 1 Brennstoffbezogene direkte Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung aus ZSE für das Jahr 2004

| Emittentengruppe | Brennstoff | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|--------|-----------------|-----------------|------------------|
| Dieselmotoren öff. Kraftwerke | Dieselmotoren öff. Kraftwerke | 0,4 | 684,0 | 0,9 | 177,0 | 3,5 | 74000 | 3,5 | 1,7 |
| Gasmaschinen öff. Kraftwerke | Deponiegas | 0,5 | 130,8 | 0,3 | 123,4 | 0,3 | 0 | 0,3 | 1,0 |
| Gasmaschinen öff. Kraftwerke | Erdgas | 0,5 | 132,0 | 0,3 | 125,0 | 0,3 | 56000 | 0,3 | 1,2 |
| Gasmaschinen öff. Kraftwerke | Heizöl, leicht | 65,6 | 132,0 | 1,5 | 125,0 | 3,5 | 74000 | 3,5 | 1,7 |
| Gasmaschinen öff. Kraftwerke | Klärgas | 0,5 | 129,0 | 0,3 | 123,3 | 0,3 | 0 | 0,3 | 1,2 |
| Gasturbinen öff. Kraftwerke | Erdgas | 0,5 | 74,8 | 0,4 | 56,7 | 0,3 | 56000 | 2,0 | 1,1 |
| Gasturbinen öff. Kraftwerke | Heizöl, leicht | 64,0 | 106,5 | 0,8 | 65,5 | 2,0 | 74000 | 0,5 | 1,5 |
| GFA der Grubenkraftwerke | Heizöl, schwer | 195,0 | 88,5 | 14,8 | 6,8 | 6,0 | 78000 | 3,5 | 1,0 |
| GFA der Grubenkraftwerke | Rohbraunkohle | 118,5 | 99,3 | 4,7 | 11,8 | 1,3 | 112200 | 1,5 | 8 |
| GFA der Grubenkraftwerke | Staub-/Trockenkohle | 400,0 | 100,7 | 4,8 | 11,8 | 1,3 | 97900 | 1,5 | 3,5 |
| GFA öff. Kraftwerke | Erdgas | 0,5 | 35,7 | 0,3 | 1,7 | 2,0 | 56000 | 0,3 | 0,5 |
| GFA öff. Kraftwerke | Gichtgas | 13,2 | 35,7 | 0,3 | 1,7 | 2,0 | 105000 | 0 | 0,5 |
| GFA öff. Kraftwerke | Heizöl, leicht | 65,6 | 47,5 | 1,9 | 5,0 | 3,0 | 74000 | 3,5 | 1,0 |
| GFA öff. Kraftwerke | Heizöl, schwer | 138,2 | 55,4 | 6,4 | 6,5 | 6,0 | 78000 | 3,5 | 1,0 |
| GFA öff. Kraftwerke | Staub-/Trockenkohle | 113,0 | 80,6 | 6,5 | 61,2 | 1,3 | 97900 | 1,5 | 3,5 |
| GFA öff. Kraftwerke | Steinkohle | 66,8 | 40,4 | 3,6 | 8,7 | 3,0 | 94000 | 1,5 | 4,3 |
| GFA des Steinkohlenbergbaus | Grubengas | 0,5 | 55,4 | 0,3 | 1,7 | 2,0 | 55000 | 0,3 | 0,5 |
| GFA des Steinkohlenbergbaus | Heizöl, schwer | 138,2 | 40,4 | 6,4 | 6,5 | 6,0 | 78000 | 3,5 | 1,0 |
| GFA des Steinkohlenbergbaus | Steinkohle | 85,7 | 60,0 | 2,4 | 6,7 | 3,0 | 94000 | 1,5 | 3,9 |
| GFA öff. Hartbraunkohlekraftwerke | Hartbraunkohle Arzberg | 2,0 | 51,0 | 12,0 | 32,0 | 1,3 | 97000 | 1,5 | 3,5 |
| GFA öff. Rohbraunkohlekraftwerke | Rohbraunkohle Helmstedt | 192,0 | 75,3 | 20,0 | 22,6 | 1,3 | 111000 | 1,5 | 3,5 |
| GFA öff. Rohbraunkohlekraftwerke | Rohbraunkohle Rheinland | 42,6 | 75,3 | 2,3 | 56,9 | 1,3 | 114000 | 1,5 | 3,6 |
| GFA öff. Rohbraunkohlekraftwerke | Rohbraunkohle Sachsen-Anhalt | 42,6 | 75,3 | 2,3 | 56,9 | 1,3 | 104000 | 1,5 | 3,3 |
| GFA öff. Rohbraunkohlekraftwerke | Rohbraunkohle Brandenburg | 42,6 | 75,3 | 2,3 | 56,9 | 1,3 | 113000 | 1,5 | 3,3 |
| GFA öff. Rohbraunkohlekraftwerke | Rohbraunkohle Sachsen | 42,6 | 77,0 | 2,3 | 56,9 | 1,3 | 109200 | 1,5 | 3,3 |
| MVA öff. Kraftwerke | Hausmüll/Siedlungsabfall | 23,0 | 0,0 | 9,7 | 23,0 | 1,8 | 15000 | 1,8 | 3,0 |

Quelle: UBA (2006); Angaben in kg/T_{J_{input}}

Tabelle 2 Direkte Emissionsfaktoren für biogene und Grubengas-Stromerzeugung

| Stromerzeugung aus | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|--------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|------------------|
| Biogas* | 24,8 | 66,5 | 1,7 | 13,5 | 1,5 | 0 | 2,0 | 1,7 |
| Deponie/Klärgas | 0,5 | 138,0 | 0,3 | 127,0 | 0,3 | 0 | 0,3 | 1,2 |
| Holz* | 5,4 | 187,4 | 7,9 | 94,6 | 37,9 | 0 | 9,5 | 4,7 |
| Grubengas | 0,5 | 55,4 | 0,3 | 1,7 | 2,0 | 55.000 | 0,3 | 0,5 |
| Hausmüll (biogen) | 23,0 | 77,0 | 9,7 | 23,0 | 1,8 | 0 | 1,8 | 3,0 |

Quelle: UBA (2006); Angaben in kg/TJ_{input}; * = Daten für Altholz A1-A4 in 20 MW_{el}-DT-Kraftwerk aus GEMIS 4.4

Die über den Energieeinsatz zu inputbezogenen Emissionsfaktoren für typische fossile Kraftwerke aggregierten Daten sind noch auf strombezogene Werte umzurechnen. Dazu dienen die elektrischen Jahresnutzungsgrade (vgl. Abschnitt 2.2). Die sich nach der Umrechnung ergebenden *strombezogenen* Emissionsfaktoren zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3 Direkte Emissionsfaktoren der fossilen Stromerzeugung 1990-2004

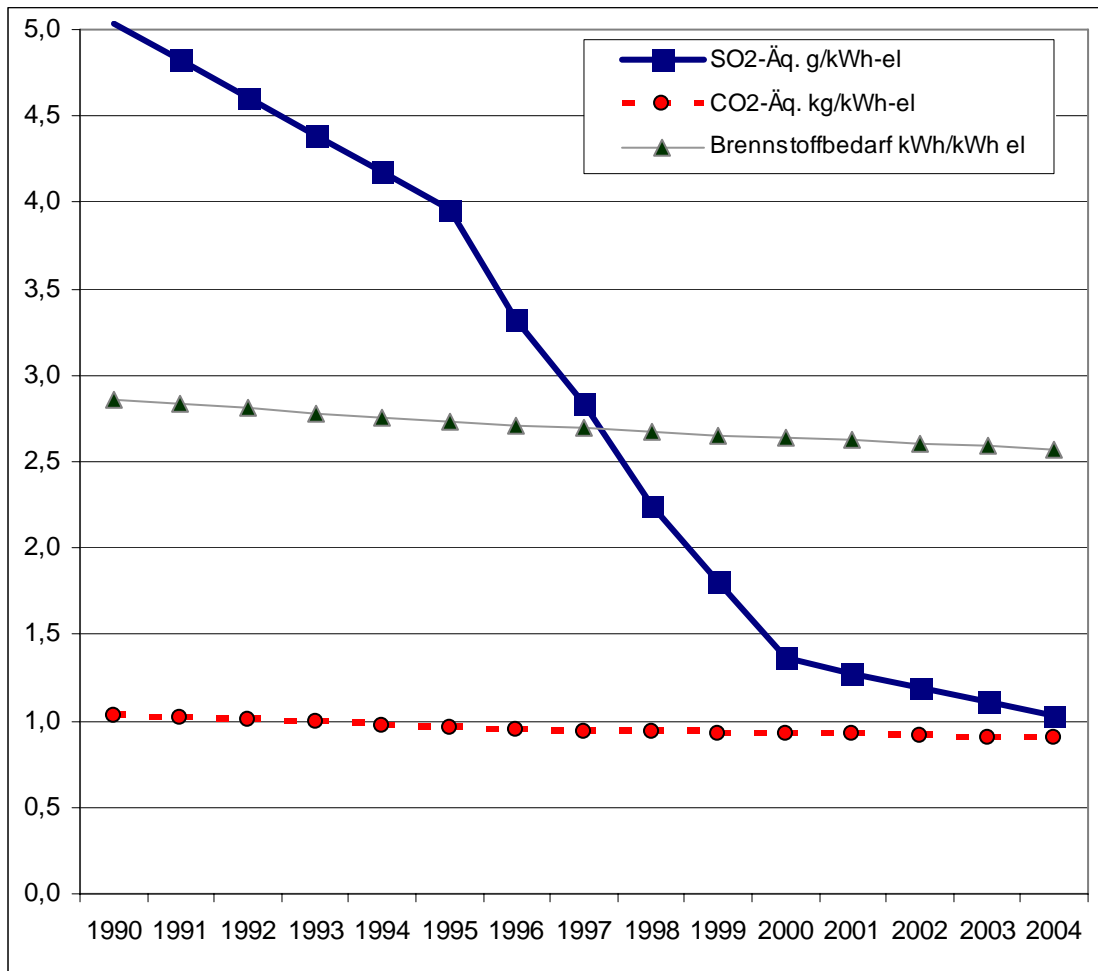
| Jahr | aus | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | Strom-fossil | 1,03 | 0,44 | 0,85 | 0,02 | 0,30 | 0,02 | 900 | 891 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 0,91 | 0,41 | 0,72 | 0,02 | 0,55 | 0,01 | 1099 | 1088 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,43 | 0,60 | 1,19 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 858 | 846 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,35 | 0,00 | 0,49 | 0,00 | 0,24 | 0,01 | 523 | 521 | 0,01 | 0,01 |
| 2003 | Strom-fossil | 1,11 | 0,51 | 0,86 | 0,02 | 0,30 | 0,02 | 904 | 895 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 1,08 | 0,57 | 0,72 | 0,02 | 0,55 | 0,01 | 1101 | 1090 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,44 | 0,60 | 1,20 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 863 | 851 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,35 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 0,24 | 0,01 | 529 | 527 | 0,01 | 0,01 |
| 2002 | Strom-fossil | 1,19 | 0,59 | 0,87 | 0,03 | 0,31 | 0,02 | 916 | 907 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 1,25 | 0,75 | 0,73 | 0,03 | 0,55 | 0,01 | 1104 | 1094 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,45 | 0,61 | 1,20 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 869 | 857 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,37 | 0,00 | 0,52 | 0,00 | 0,25 | 0,01 | 537 | 535 | 0,01 | 0,01 |
| 2001 | Strom-fossil | 1,28 | 0,66 | 0,88 | 0,03 | 0,31 | 0,02 | 922 | 912 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 1,42 | 0,92 | 0,73 | 0,03 | 0,55 | 0,01 | 1108 | 1097 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,46 | 0,61 | 1,21 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 873 | 861 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,38 | 0,00 | 0,54 | 0,00 | 0,26 | 0,01 | 546 | 544 | 0,01 | 0,01 |
| 2000 | Strom-fossil | 1,37 | 0,74 | 0,90 | 0,03 | 0,31 | 0,02 | 929 | 919 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 1,60 | 1,09 | 0,73 | 0,03 | 0,55 | 0,01 | 1111 | 1101 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,46 | 0,62 | 1,22 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 877 | 865 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,39 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | 0,26 | 0,01 | 554 | 551 | 0,01 | 0,01 |
| 1999 | Strom-fossil | 1,80 | 1,16 | 0,91 | 0,03 | 0,30 | 0,02 | 925 | 915 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 2,67 | 2,16 | 0,74 | 0,04 | 0,56 | 0,01 | 1120 | 1109 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,47 | 0,62 | 1,22 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 879 | 867 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,68 | 0,01 | 0,96 | 0,00 | 0,70 | 0,00 | 643 | 638 | 0,02 | 0,01 |

| Jahr | aus | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|------|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1998 | Strom-fossil | 2,25 | 1,60 | 0,93 | 0,04 | 0,30 | 0,02 | 932 | 922 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 3,77 | 3,25 | 0,74 | 0,04 | 0,56 | 0,01 | 1129 | 1118 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,47 | 0,62 | 1,22 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 882 | 869 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,70 | 0,01 | 0,99 | 0,00 | 0,72 | 0,00 | 651 | 646 | 0,02 | 0,01 |
| 1997 | Strom-fossil | 2,84 | 2,19 | 0,93 | 0,04 | 0,31 | 0,02 | 943 | 933 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 5,03 | 4,51 | 0,75 | 0,05 | 0,56 | 0,01 | 1137 | 1126 | 0,01 | 0,03 |
| | Steinkohle | 1,48 | 0,62 | 1,23 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 883 | 871 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,72 | 0,01 | 1,02 | 0,00 | 0,74 | 0,00 | 660 | 655 | 0,02 | 0,02 |
| 1996 | Strom-fossil | 3,32 | 2,66 | 0,95 | 0,04 | 0,31 | 0,02 | 950 | 940 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 6,17 | 5,65 | 0,76 | 0,06 | 0,57 | 0,01 | 1146 | 1135 | 0,01 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,48 | 0,63 | 1,23 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 884 | 872 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,74 | 0,01 | 1,05 | 0,00 | 0,75 | 0,00 | 668 | 663 | 0,02 | 0,02 |
| 1995 | Strom-fossil | 3,96 | 3,29 | 0,96 | 0,05 | 0,32 | 0,02 | 962 | 951 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 7,53 | 7,00 | 0,76 | 0,07 | 0,57 | 0,01 | 1155 | 1144 | 0,02 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,49 | 0,63 | 1,23 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 886 | 873 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,76 | 0,01 | 1,08 | 0,00 | 0,77 | 0,00 | 678 | 672 | 0,02 | 0,02 |
| 1994 | Strom-fossil | 4,17 | 3,50 | 0,98 | 0,05 | 0,33 | 0,02 | 976 | 965 | 0,01 | 0,03 |
| | Braunkohle | 7,79 | 7,25 | 0,78 | 0,07 | 0,58 | 0,01 | 1166 | 1155 | 0,02 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,51 | 0,64 | 1,25 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 888 | 876 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,81 | 0,01 | 1,15 | 0,01 | 0,82 | 0,00 | 721 | 715 | 0,02 | 0,02 |
| 1993 | Strom-fossil | 4,39 | 3,70 | 0,99 | 0,05 | 0,34 | 0,02 | 990 | 979 | 0,02 | 0,03 |
| | Braunkohle | 8,05 | 7,49 | 0,79 | 0,07 | 0,58 | 0,01 | 1176 | 1165 | 0,02 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,54 | 0,66 | 1,27 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 891 | 879 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,86 | 0,01 | 1,22 | 0,01 | 0,87 | 0,00 | 764 | 758 | 0,03 | 0,02 |
| 1992 | Strom-fossil | 4,61 | 3,91 | 1,01 | 0,05 | 0,35 | 0,02 | 1004 | 993 | 0,02 | 0,03 |
| | Braunkohle | 8,31 | 7,74 | 0,81 | 0,07 | 0,59 | 0,01 | 1187 | 1176 | 0,02 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,56 | 0,67 | 1,28 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 894 | 881 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,90 | 0,01 | 1,29 | 0,01 | 0,92 | 0,00 | 807 | 801 | 0,03 | 0,02 |
| 1991 | Strom-fossil | 4,82 | 4,11 | 1,02 | 0,05 | 0,36 | 0,02 | 1018 | 1007 | 0,02 | 0,04 |
| | Braunkohle | 8,57 | 7,99 | 0,82 | 0,07 | 0,60 | 0,01 | 1197 | 1186 | 0,02 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,59 | 0,69 | 1,30 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 896 | 884 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 0,95 | 0,01 | 1,36 | 0,01 | 0,97 | 0,00 | 850 | 844 | 0,03 | 0,02 |
| 1990 | Strom-fossil | 5,04 | 4,32 | 1,04 | 0,05 | 0,37 | 0,02 | 1032 | 1021 | 0,02 | 0,04 |
| | Braunkohle | 8,82 | 8,24 | 0,84 | 0,07 | 0,60 | 0,01 | 1208 | 1196 | 0,02 | 0,04 |
| | Steinkohle | 1,62 | 0,70 | 1,32 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 899 | 887 | 0,01 | 0,04 |
| | Erdgas | 1,00 | 0,01 | 1,43 | 0,01 | 1,02 | 0,00 | 894 | 887 | 0,03 | 0,02 |

Quelle: eigene Berechnungen nach UBA (2006) und AGE B (2005); Angaben in g/kWh_{el} für direkte Emissionen, d.h. ohne vorgelagerte Prozessketten und Materialvorleistungen; Angaben zwischen 1990 und 1995 interpoliert.

Die folgende Grafik zeigt die Entwicklung der mittleren SO₂- und CO₂-Äquivalent-Emissionen des fossilen Strommixes in Deutschland sowie den mittleren Brennstoffbedarf im zeitlichen Verlauf.

Bild 1 Entwicklung der strombezogenen fossilen Emissionsfaktoren und des Brennstoffaufwands in Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen nach UBA (2006) und AGEBA (2005); zwischen 1990 und 1995 interpoliert.

Deutlich sichtbar sind die relativ stark fallenden Emissionen an versauernden Schadstoffen (inb. SO₂), die durch schwefelarme Brennstoffe (Brennstoffentschwefelung) sowie Abgasreinigung in den Kraftwerken erreicht wurden. Die Treibhausgasemissionen sinken dagegen nur relativ langsam, da hier im Wesentlichen nur Effizienzverbesserung bei der Stromerzeugung (Senkung des spezifischen Brennstoffbedarfs) und Verschiebung der Brennstoffanteile am fossilen Strommix eingehen.

2.2 Mengengerüst der deutschen Strombereitstellung 1990-2004

Parallel zur Struktur der Emissionsfaktoren enthält UBA-ZSE auch die Brennstoffeinsatzmengen im Bereich der Großfeuerungen⁵ für das jeweilige Jahr.

Hieraus wurde eine *Anteilsrechnung* für die einzelnen Emittentenzeilen nach Technologie und Brennstoff durchgeführt und damit Aggregate der entsprechenden Brennstoffeinsätze zu brennstoffspezifischen Kraftwerkstypen erzeugt, die mit den statistischen Daten zur öffentlichen Stromerzeugung nach AGEB kompatibel sind.

Da für 1990-1995 keine gesicherten Daten in ZSE vorliegen, wurde der Brennstoffeinsatz für diese Jahre aus AGEB-Daten abgeleitet.

Die entsprechenden Daten zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 4 Brennstoffeinsatz zur öffentlichen Stromerzeugung seit 1990

| Jahr | Braunkohle | Steinkohle | Erdgas | Gicht/Hochofengas | Heizöl |
|------|------------|------------|--------|-------------------|--------|
| 1990 | 1.795 | 1.270 | 332 | 99 | 109 |
| 1991 | 1.678 | 1.354 | 322 | 90 | 125 |
| 1992 | 1.617 | 1.285 | 278 | 86 | 113 |
| 1993 | 1.532 | 1.323 | 277 | 80 | 81 |
| 1994 | 1.506 | 1.308 | 322 | 87 | 79 |
| 1995 | 1.455 | 1.332 | 341 | 85 | 82 |
| 1996 | 1.433 | 1.370 | 367 | 80 | 78 |
| 1997 | 1.392 | 1.281 | 379 | 92 | 68 |
| 1998 | 1.346 | 1.365 | 389 | 95 | 66 |
| 1999 | 1.335 | 1.273 | 390 | 93 | 62 |
| 2000 | 1.420 | 1.268 | 391 | 85 | 63 |
| 2001 | 1.507 | 1.231 | 398 | 87 | 71 |
| 2002 | 1.544 | 1.200 | 406 | 92 | 64 |
| 2003 | 1.539 | 1.298 | 410 | 94 | 73 |
| 2004 | 1.536 | 1.246 | 410 | 153 | 70 |

Quelle: AGEB (2006); Angaben in PJ

Diesem Brennstoffeinsatz steht die folgende Stromerzeugung gegenüber:

⁵ Dies sind thermische Kraftwerke über 50 MW_{th} Feuerungswärmeleistung.

Tabelle 5 Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland 1990-2004

| Jahr | Braun- kohle | Stein- kohle | Erdgas | Öl | Kern- energie | Wasser | Übrige | gesamt |
|------|-----------------|-----------------|--------|------|------------------|--------|--------|--------|
| 1990 | 170,9 | 140,8 | 35,9 | 10,8 | 152,5 | 19,7 | 19,3 | 549,9 |
| 1991 | 158,3 | 149,8 | 36,3 | 14,8 | 147,4 | 19,2 | 14,4 | 540,2 |
| 1992 | 154,5 | 141,9 | 33 | 13,2 | 158,8 | 21,9 | 14,8 | 538,1 |
| 1993 | 147,5 | 146,2 | 32,8 | 10,1 | 153,5 | 22,3 | 14,7 | 527,1 |
| 1994 | 146,1 | 144,6 | 36,1 | 10,1 | 151,2 | 23,5 | 16,9 | 528,5 |
| 1995 | 142,6 | 147,1 | 41,1 | 9,1 | 154,1 | 25,2 | 17,6 | 536,8 |
| 1996 | 144,3 | 152,7 | 45,6 | 8,1 | 161,6 | 22,7 | 17,7 | 552,7 |
| 1997 | 141,7 | 143,1 | 48,1 | 7,4 | 170,3 | 22 | 19,7 | 552,3 |
| 1998 | 139,4 | 153,4 | 50,7 | 6,7 | 161,6 | 22,5 | 22,9 | 557,2 |
| 1999 | 136 | 143,1 | 51,8 | 6,3 | 170 | 24,7 | 24,5 | 556,4 |
| 2000 | 148,3 | 143,1 | 49,2 | 5,2 | 169,6 | 29,4 | 30,3 | 575,1 |
| 2001 | 154,8 | 138,4 | 55,5 | 6,1 | 171,3 | 27,8 | 30,2 | 584,1 |
| 2002 | 158 | 134,6 | 56,3 | 8,7 | 164,8 | 27,9 | 33 | 583,3 |
| 2003 | 158,2 | 146,6 | 61,5 | 9,7 | 165,1 | 25 | 37,8 | 603,9 |
| 2004 | 158 | 140,9 | 61,5 | 10,1 | 167,1 | 27,5 | 50,8 | 615,9 |

Quelle: AGEB (2006); Angaben in TWh

Aus Tabelle 5 und Tabelle 4 wurden aggregierte Brutto-Jahresnutzungsgrade für die fossilen Brennstoffe errechnet (vgl. folgende Tabelle).

Tabelle 6 Berechnete Brutto-Nutzungsgrade der fossilen Stromerzeugung in Deutschland von 1990-2004

| Jahr | Braunkohle | Steinkohle | Erdgas | Öl |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1990 | 34,3% | 39,9% | 29,7% | 35,7% |
| 1991 | 34,0% | 39,8% | 31,4% | 42,6% |
| 1992 | 34,4% | 39,8% | 32,3% | 42,1% |
| 1993 | 34,7% | 39,8% | 32,6% | 44,9% |
| 1994 | 34,9% | 39,8% | 31,4% | 46,0% |
| 1995 | 35,3% | 39,8% | 34,2% | 40,0% |
| 1996 | 36,3% | 40,1% | 35,9% | 37,4% |
| 1997 | 36,6% | 40,2% | 36,2% | 39,2% |
| 1998 | 37,3% | 40,5% | 37,0% | 36,5% |
| 1999 | 36,7% | 40,5% | 37,9% | 36,6% |
| 2000 | 37,6% | 40,6% | 36,8% | 29,7% |
| 2001 | 37,0% | 40,5% | 40,9% | 30,9% |
| 2002 | 36,8% | 40,4% | 40,3% | 48,9% |
| 2003 | 37,0% | 40,7% | 43,4% | 47,8% |
| 2004 | 37,0% | 40,7% | 38,9% | 51,9% |

Quelle: eigene Berechnungen nach AGEB (2006)

Die AGEB-Werte für 2004 stellen z.T. Artefakte dar, insbesondere bei Öl erscheinen die berechneten Nutzungsgrade zu hoch, so dass im Weiteren eine eigene Abschätzung erfolgt. Grundlage dafür sind die Daten der Kraftwerksdatenbank von IZES sowie die Daten für typische Neuanlagen in GEMIS 4.4.

Daraus wurde der Zeitverlauf der Nutzungsgradentwicklung abgeschätzt, den die folgende Tabelle wiedergibt.

Tabelle 7 Verwendete Brutto-Nutzungsgrade der fossilen Stromerzeugung in Deutschland von 1990-2004

| Jahr | Braunkohle (DT) | | Steinkohle | Erdgas | Öl |
|------|-----------------|------------|------------|---------|-------|
| | westdeutsch | ostdeutsch | (DT) | (GT/DT) | |
| 1990 | 35,0% | 33,2% | 37,9% | 30,0% | 33,0% |
| 1991 | 35,1% | 33,8% | 38,0% | 31,2% | 33,5% |
| 1992 | 35,2% | 34,3% | 38,1% | 32,4% | 34,0% |
| 1993 | 35,3% | 34,9% | 38,3% | 33,6% | 34,5% |
| 1994 | 35,4% | 35,4% | 38,4% | 34,8% | 35,0% |
| 1995 | 35,5% | 36,0% | 38,5% | 36,0% | 35,5% |
| 1996 | 35,7% | 36,4% | 38,6% | 36,8% | 36,2% |
| 1997 | 35,9% | 36,8% | 38,7% | 37,6% | 36,9% |
| 1998 | 36,1% | 37,2% | 38,8% | 38,4% | 37,6% |
| 1999 | 36,3% | 37,6% | 38,9% | 39,2% | 38,3% |
| 2000 | 36,5% | 38,0% | 39,0% | 40,0% | 39,0% |
| 2001 | 36,6% | 38,2% | 39,3% | 40,5% | 39,5% |
| 2002 | 36,7% | 38,4% | 39,6% | 41,0% | 40,0% |
| 2003 | 36,8% | 38,6% | 39,9% | 41,5% | 40,5% |
| 2004 | 37,0% | 39,0% | 40,5% | 42,5% | 41,5% |

Quelle: eigene Abschätzung auf Basis von AGEB (2005), GEMIS 4.4 sowie IZES-Kraftwerksdatenbank;
DT = Dampfturbine; GT = Gasturbine

Die o.g. *Referenz-Nutzungsgrade* wurden mit den aggregierten inputbezogenen Emissionsfaktoren von UBA-ZSE auf outputbezogene Werte in g/kWh_{el} für die fossile Stromerzeugung umgerechnet (vgl. Tabelle 3).

Diese repräsentieren die typischen Emissionsfaktoren für die fossile Stromerzeugung von 1990 bis 2004.

2.3 Substitutionslogik für Strom aus erneuerbaren Energien

Als Grundlage der Substitutionseffekte von Strom aus Erneuerbaren Energien wird nach Vorgabe des Auftraggebers die Arbeit von ISI (2005) angesetzt, wonach die Substitution konventioneller Stromerzeugung durch Erneuerbare Energie sich wie folgt darstellt:

Tabelle 8 Substitutionsanteile fossiler Stromerzeugung durch Strom aus erneuerbaren Energien nach ISI

| Erneuerbarer Strom aus | ersetzt je kWh anteilig Strom aus | | |
|------------------------|-----------------------------------|------------|-----|
| | Braunkohle | Steinkohle | Gas |
| Wind | 20% | 70% | 10% |
| Geothermie & Wasser | 100% | 0% | 0% |
| Biomasse* | 30% | 60% | 10% |
| Fotovoltaik | 0% | 50% | 50% |
| Biogas | 0% | 70% | 30% |
| Klär- u. Deponiegas | 100% | 0% | 0% |

Quelle: ISI (2005); *= für feste Biomasse (Holz, Altholz) und biogene Hausmüllanteile

Dieser Substitutionsschlüssel wurde, da keine anderen Informationen vorlagen, für den gesamten Zeitraum von 1990-2004 benutzt, jedoch jeweils auf die unterschiedlichen Emissionsfaktoren der Kraftwerke bezogen.

2.4 Mengengerüst für Strom aus erneuerbaren Energien 1990-2004

Die Daten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die seit 1990 in das öffentliche Netz eingespeist wurden, liegen in unterschiedlicher Differenzierung aus verschiedenen Quellen vor.

Mit den jüngsten Daten des Monitoring zum EEG (BMU 2005) und Daten der AGEb (2005) wurde das in Tabelle 9 dargestellte Mengengerüst entwickelt.

Dabei stellen die Daten für Bio-, Klär- und Deponiegas von 1990-1997 eigene *Schätzungen* auf Basis von AGEb-Daten dar, ab 1998 sind statistische Daten aus BMU (2005) unterlegt. Für Abfälle wurde nur der *biogene* Anteil bilanziert.

Für Strom aus Wasser- und Windkraft sowie Fotovoltaik sind die Daten komplett für die ganze Zeitreihe verfügbar.

Tabelle 9 Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien 1990-2004

| Jahr | Was- ser | Wind | Biomasse | | | | | Klär/Depo- niegas | Foto- voltaik | Summe |
|------|-------------|--------|---------------|--------|------|---------|------|----------------------|------------------|-------|
| | | | Bio- Summe | Abfall | fest | Biogas* | | | | |
| 2004 | 21.000 | 25.000 | 9.367 | 2170 | 3900 | 1427 | 1870 | 459 | 55.826 | |
| 2003 | 20.350 | 18.919 | 7.982 | 2162 | 2775 | 1177 | 1868 | 333 | 47.584 | |
| 2002 | 23.824 | 15.856 | 5.962 | 1950 | 1200 | 985 | 1827 | 188 | 45.830 | |
| 2001 | 23.383 | 10.456 | 5.065 | 1859 | 1114 | 604 | 1488 | 116 | 39.020 | |
| 2000 | 24.936 | 9.500 | 4.129 | 1850 | 362 | 459 | 1458 | 64 | 38.629 | |
| 1999 | 21.300 | 5.528 | 3.020 | 1850 | 245 | 149 | 776 | 42 | 29.890 | |
| 1998 | 19.000 | 4.489 | 2.800 | 1750 | 210 | 122 | 718 | 32 | 26.321 | |
| 1997 | 19.000 | 3.000 | 2.479 | 1679 | 100 | 100 | 600 | 26 | 24.505 | |
| 1996 | 18.800 | 2.200 | 2.203 | 1528 | 50 | 75 | 550 | 16 | 23.219 | |
| 1995 | 21.600 | 1.800 | 2.020 | 1445 | 25 | 50 | 500 | 11 | 25.431 | |
| 1994 | 20.200 | 940 | 1.870 | 1370 | | 50 | 450 | 8 | 23.018 | |
| 1993 | 19.000 | 670 | 1.570 | 1160 | | 10 | 400 | 6 | 21.246 | |
| 1992 | 18.600 | 230 | 1.545 | 1190 | | 5 | 350 | 3 | 20.378 | |
| 1991 | 15.900 | 140 | 1.450 | 1150 | | | 300 | 2 | 17.492 | |
| 1990 | 17.000 | 40 | 1.422 | 1172 | | | 250 | 1 | 18.463 | |

Quelle: BMU (2005); Angaben in GWh_{el}; Bio-Werte bis 1997 eig. Schätzung n. AGEB-Daten; *= inkl. Pflanzenöle

Für die Vollständigkeit sind in der Tabelle auch die Strommengen enthalten, die aus den *biogenen* Anteilen des Hausmülls stammen, der in Müllverbrennungsanlagen (MVA) verbrannt wird und dabei Strom (mit)erzeugt. Diese Strommengen sind zwar als *erneuerbar* anzusehen, werden jedoch *nicht* nach dem EEG vergütet.

2.5 Umweltdaten der Wärmebereitstellung in Haushalten 1990-2004

Basis der Berechnungen sind wieder die brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren (in kg/TJ_{input}) aus der UBA-ZSE-Datenbank sowie die zugehörigen Aktivitätsraten (in TJ_{input}), die als Zeitreihen von 1995 an vorliegen (vgl. UBA 2006). In ZSE werden die direkten Emissionsfaktoren für die Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O sowie die Luftschadstoffe SO₂, NO_x, Staub, CO und NMVOC für die Emittentengruppe „Haushalte“ ausgewiesen, wobei *keine* Differenzierung nach Heiztechnologien erfolgt und bei den biogenen Energieträgern nur Brennholz ausgewiesen wird. Das Brennholz wird überwiegend in handbeschickten Scheitholzkesseln und Kaminen eingesetzt, so dass als Ergänzung für neue (geförderte) Anlagen eine Holz-Pelletheizung mit aufgenommen wurde (Daten aus GEMIS 4.4). Die Aufteilung des biogenen Brennstoffeinsatzes auf die Heiztechnologien erfolgt nach AGEB-Daten und Schätzungen des UBA auf Basis von Angaben des Pellet-Verbands.

Die entsprechenden Emissionsfaktoren zeigt die folgende Tabelle für das Jahr 2004.

Tabelle 10 Direkte Emissionsfaktoren der Wärmebereitstellung im Jahr 2004

| | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|--------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,236 | 0,150 | 0,006 | 0,081 | 0,005 | 266,4 | 0,000 | 0,002 |
| Erdgas | 0,002 | 0,119 | 0,000 | 0,047 | 0,003 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| StK-Briketts | 2,020 | 0,194 | 0,796 | 15,286 | 0,526 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| StK-Koks | 1,840 | 0,216 | 0,058 | 23,267 | 0,028 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| BrK-Briketts | 0,889 | 0,260 | 0,287 | 12,468 | 0,725 | 349,2 | 0,351 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,024 | 0,183 | 0,418 | 12,772 | 1,006 | 0,0 | 0,411 | 0,005 |
| Holz-Pellets | 0,113 | 0,285 | 0,061 | 0,238 | 0,059 | 0,0 | 0,012 | 0,005 |

Quelle: UBA (2006); Angaben in g/kWh_{input}; * = aus GEMIS 4.4; StK = Steinkohle; BrK = Braunkohle

Deutlich sichtbar ist, dass Scheitholzfeuerungen erhebliche Luftschadstoffemissionen (CO, NMVOC) bewirken, während (neue) Pelletfeuerungen – außer bei Staub und NO_x - im Bereich von Öl- und Gasheizungen liegen. Daher ist hier eine Differenzierung erforderlich. Demgegenüber sind fossile Festbrennstoffheizungen *wesentlich* emissionsintensiver, insbesondere bei SO₂ und CO₂. Eine Übersicht zu den Emissionsfaktoren der Wärmebereitstellung für die anderen Bezugsjahre findet sich im Datenanhang.

2.6 Mengengerüst der Wärmebereitstellung in Haushalten 1990-2004

Die Daten des Monitoring zum EEG (BMU 2005) bietet disaggregierte Daten für die Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien von 2004 bis zurück in das Jahr 1997 (vgl. folgende Tabelle), davor gibt es Teildaten für Solar- und Geothermie. Dies wurde bei den biogenen Brennstoffen durch AGEB-Daten für 1990-1996 (Brennholz) ergänzt.

Tabelle 11 Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland

| Jahr | Biomasse | Solarthermie | Geothermie | Summe |
|------|----------|--------------|------------|--------|
| 2004 | 59.806 | 2.573 | 1.558 | 63.937 |
| 2003 | 59.248 | 2.465 | 1.532 | 63.245 |
| 2002 | 54.626 | 1.955 | 1.483 | 58.064 |
| 2001 | 55.326 | 1.626 | 1.447 | 58.399 |
| 2000 | 54.314 | 1.279 | 1.433 | 57.026 |
| 1999 | 50.951 | 1.037 | 1.429 | 53.417 |
| 1998 | 51.613 | 857 | 1.384 | 53.854 |
| 1997 | 48.546 | 695 | 1.335 | 50.576 |
| 1996 | 25.524 | 550 | 1.383 | 27.457 |
| 1995 | 25.529 | 440 | 1.425 | 27.394 |
| 1994 | 15.589 | 351 | -* | 15.940 |
| 1993 | 10.867 | 279 | -* | 11.146 |
| 1992 | 10.542 | 218 | -* | 10.760 |
| 1991 | 10.826 | 166 | -* | 10.992 |
| 1990 | 10.661 | 130 | -* | 10.791 |

Quelle: BMU (2005) und AGEB (für Biomasse 1990-1996); Angaben in GWh; *= keine Daten verfügbar

Zur Berechnung der Emissionsvermeidung durch regenerative Wärme sind wieder Daten zu den Emissionsfaktoren für die (fossile und biogene) Wärme erforderlich.

Da in ZSE die Daten zum Energieträgereinsatz für Wärme in den Haushalten nur von 1995 bis 2004 hinterlegt sind, wurden die Daten zum Energieträgereinsatz in den Haushalten für die gesamte Periode nach AGEB verwendet. Dabei ist zu unterstellen, dass der fossile Energieeinsatz zur Wärmebereitstellung dient⁶.

Die entsprechenden Werte zeigt Tabelle 12, in deren mittleren Teil die prozentualen Anteile genannt sind.

⁶ Die geringen Anteile für Prozesswärme (Kochen) bei Öl und Erdgas sind vernachlässigbar.

Da entsprechend der Substitutionslogik für erneuerbare Wärme (vgl. Abschnitt 2.7) nur der fossile Anteil an der Wärme interessiert, wurden im unteren Teil von Tabelle 12 auch die entsprechenden Anteile des fossilen Wärmemixes mit aufgeführt.

Bei der Nutzung der festen Biomasse zur Wärmeerzeugung in den Haushalten wird entsprechend der UBA-Mengenschätzungen angenommen, dass vorwiegend *Scheitholzheizungen* zum Einsatz kommen (von 1990 =100% absinkend bis 2004 = 98%) und Pellet-Heizungen als „Stellvertreter“ für moderne Holzheizungen (Holz-Hackschnitzel, Scheitholzvergaserheizungen, Pelletkessel) die Differenz bilden (von 1990 = 0% bis 2004 = 2%).

Die (geringen) Anteile von Biomasse an der Bereitstellung von Nah- und Fernwärme bleiben in der Bilanz aufgrund von Datenmangel unberücksichtigt.

Tabelle 12 Brennstoffeinsatz in den Haushalten von 1990-2004

| Energieträger | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003** | 2004** |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Steinkohle | 9 | 15 | 12 | 10 | 11 | 14 | 12 | 14 | 6 | 10 | 17 | 19 | 21 | 21 | 23 |
| Steinkohlenkoks | 16 | 19 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 12 | 11 | 9 | 8 | 8 | 5 | 6 | 6 |
| Steinkohlenbriketts | 13 | 13 | 12 | 13 | 11 | 9 | 10 | 6 | 7 | 7 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Braunkohlenbriketts | 325 | 208 | 137 | 123 | 103 | 66 | 70 | 37 | 29 | 26 | 20 | 22 | 18 | 19 | 17 |
| Übr. Festbrennstoffe* | 65 | 40 | 40 | 39 | 54 | 96 | 97 | 159 | 165 | 170 | 171 | 196 | 192 | 199 | 202 |
| Heizöl | 739 | 871 | 857 | 948 | 913 | 899 | 953 | 1013 | 943 | 796 | 777 | 894 | 787 | 765 | 692 |
| Erdgas | 633 | 743 | 757 | 852 | 836 | 925 | 1086 | 1000 | 1008 | 989 | 984 | 1062 | 1036 | 1114 | 1102 |
| Strom | 422 | 440 | 442 | 453 | 448 | 458 | 483 | 471 | 470 | 473 | 470 | 484 | 491 | 501 | 504 |
| Fernwärme | 160 | 166 | 164 | 164 | 165 | 171 | 163 | 140 | 141 | 131 | 131 | 132 | 135 | 161 | 161 |
| Insgesamt | 2383 | 2516 | 2436 | 2617 | 2558 | 2655 | 2890 | 2854 | 2782 | 2613 | 2584 | 2822 | 2690 | 2792 | 2712 |
| Steinkohle | 0,4% | 0,6% | 0,5% | 0,4% | 0,4% | 0,5% | 0,4% | 0,5% | 0,2% | 0,4% | 0,6% | 0,7% | 0,8% | 0,8% | 0,8% |
| Steinkohlenkoks | 0,7% | 0,8% | 0,6% | 0,6% | 0,6% | 0,6% | 0,5% | 0,4% | 0,4% | 0,3% | 0,3% | 0,3% | 0,2% | 0,2% | 0,2% |
| Steinkohlenbriketts | 0,5% | 0,5% | 0,5% | 0,5% | 0,4% | 0,3% | 0,3% | 0,2% | 0,3% | 0,3% | 0,2% | 0,1% | 0,1% | 0,1% | 0,1% |
| Braunkohlenbriketts | 13,6% | 8,3% | 5,6% | 4,7% | 4,0% | 2,5% | 2,4% | 1,3% | 1,0% | 1,0% | 0,8% | 0,8% | 0,7% | 0,7% | 0,6% |
| Übr. Festbrennstoffe* | 2,7% | 1,6% | 1,6% | 1,5% | 2,1% | 3,6% | 3,4% | 5,6% | 5,9% | 6,5% | 6,6% | 6,9% | 7,1% | 7,1% | 7,4% |
| Heizöl | 31,0% | 34,6% | 35,2% | 36,2% | 35,7% | 33,9% | 33,0% | 35,5% | 33,9% | 30,5% | 30,1% | 31,7% | 29,3% | 27,4% | 25,5% |
| Erdgas | 26,6% | 29,5% | 31,1% | 32,6% | 32,7% | 34,8% | 37,6% | 35,0% | 36,2% | 37,8% | 38,1% | 37,6% | 38,5% | 39,9% | 40,6% |
| Strom | 17,7% | 17,5% | 18,1% | 17,3% | 17,5% | 17,3% | 16,7% | 16,5% | 16,9% | 18,1% | 18,2% | 17,2% | 18,3% | 17,9% | 18,6% |
| Fernwärme | 6,7% | 6,6% | 6,7% | 6,3% | 6,5% | 6,4% | 5,6% | 4,9% | 5,1% | 5,0% | 5,1% | 4,7% | 5,0% | 5,8% | 5,9% |
| Mix nur für fossile, ohne Strom/Fernwärme und Übrige Festbrennstoffe | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003** | 2004** |
| Steinkohle | 0,5% | 0,8% | 0,7% | 0,5% | 0,6% | 0,7% | 0,6% | 0,7% | 0,3% | 0,5% | 0,9% | 0,9% | 1,1% | 1,1% | 1,2% |
| Steinkohlenkoks | 0,9% | 1,0% | 0,8% | 0,8% | 0,8% | 0,8% | 0,7% | 0,6% | 0,5% | 0,5% | 0,4% | 0,4% | 0,3% | 0,3% | 0,3% |
| Steinkohlenbriketts | 0,7% | 0,7% | 0,7% | 0,7% | 0,6% | 0,5% | 0,5% | 0,3% | 0,3% | 0,4% | 0,2% | 0,1% | 0,2% | 0,2% | 0,2% |
| Braunkohlenbriketts | 18,7% | 11,1% | 7,7% | 6,3% | 5,5% | 3,4% | 3,3% | 1,8% | 1,4% | 1,4% | 1,1% | 1,1% | 1,0% | 1,0% | 0,9% |
| Heizöl | 42,6% | 46,6% | 47,9% | 48,3% | 48,3% | 46,6% | 44,4% | 48,7% | 47,1% | 43,3% | 42,9% | 44,5% | 42,1% | 39,7% | 37,5% |
| Erdgas | 36,5% | 39,8% | 42,3% | 43,4% | 44,3% | 48,0% | 50,6% | 48,0% | 50,3% | 53,8% | 54,4% | 52,9% | 55,4% | 57,8% | 59,8% |

* = Einschließlich sonstige Energieträger (Solarthermie, Wärmepumpen u.a.); ** = Vorläufige Angaben; Daten nach AGEB (2006) und eigenen Berechnungen

2.7 Substitutionslogik für Wärme aus erneuerbaren Energien

Die Daten zum Energieeinsatz belegen, dass für Wärme in den Haushalten ganz überwiegend Heizöl (mit abnehmendem Trend) und Erdgas (mit steigendem Trend) eingesetzt werden. Bei einer *Durchschnittsbetrachtung* über alle Energieträger sollten Fernwärme und Strom ausgeschlossen werden, da sie kaum für eine Substitution durch erneuerbare Energien geeignet erscheinen⁷.

Für die Berechnung der vermiedenen Emissionen im Wärmebereich kommen daher drei Varianten in Frage:

- a) *Durchschnittsbetrachtung* für das Wärmemix *ohne* Fernwärme und Strom (Mindestvariante) mit Anteilen nach Tabelle 12,
- b) *Grenzbetrachtung* nur für Heizölersatz (Maximalvariante), sowie
- c) *Mixbetrachtung* für anteiligen Heizöl- und Erdgasersatz je nach erneuerbarem Energieträger.

Für Variante c) wurde folgender Zurechnungsschlüssel des Wärmemixes gewählt:

Tabelle 13 Substitutionsanteile für Heizöl und Erdgas beim Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärmebereich der Haushalte in Deutschland

| | Biomasse | Solarthermie | Geothermie |
|-------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Heizöl | 60% | 25% | 40% |
| Erdgas | 40% | 75% | 60% |
| Begründung | primär Ölersatz | meist Warmwasser | nur Zentralheizung |

Quelle: eigene Abschätzungen

Die Ergebnisse der entsprechenden Emissionsbilanzen für die erneuerbare Wärme finden sich im Abschnitt 3.2.

Es ist darauf hinzuweisen, dass bei einem gezielten Ersatz von *fossilen Festbrennstoffen* durch erneuerbare Energieträger die höchsten Einsparungen erzielt werden könnten. Dies ist jedoch aufgrund der ohnehin rückläufigen Mengen der fossilen Festbrennstoffe im Wärmemarkt eine eher theoretische Berechnungsvariante, die hier nicht weiter verfolgt wurde.

⁷ Fernwärme ist einerseits vergleichsweise emissionsarm, andererseits wird sie vorwiegend im Geschosswohnungsbau (Mehrfamilienhäuser) eingesetzt, wo oft die Möglichkeiten zur Speicherung von z.B. Biomasse fehlen und die anteiligen Dachflächen für Solarwärme relativ gering sind. Beim Strom kommen oft Speichergeräte zum Einsatz, so dass eine Zentralheizungsverteilung nachgerüstet werden müsste, was hohe Investitionskosten zur Folge hätte.

2.8 Umweltdaten der deutschen Kraftstoffnutzung 1990 bis 2004

Abschließend wurden die direkten Emissionen der Diesel- und Benzinnutzung in Pkw auf Basis der ZSE-Daten (UBA 2006) zusammengestellt. Die folgende Tabelle zeigt diese Werte, umgerechnet von kg/TJ im Original auf g/kWh_{input}.

Tabelle 14 Direkte Emissionsfaktoren der fossilen Kraftstoffnutzung in Pkw

| Benzin | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| g/kWh _{input} | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
| 2004 | 0,001 | 0,409 | 0,000 | 4,527 | 0,244 | 259,2 | 0,023 | 0,008 |
| 2003 | 0,001 | 0,453 | 0,000 | 4,901 | 0,276 | 259,2 | 0,025 | 0,009 |
| 2002 | 0,004 | 0,515 | 0,000 | 5,191 | 0,326 | 259,2 | 0,029 | 0,009 |
| 2001 | 0,009 | 0,589 | 0,000 | 5,587 | 0,384 | 259,2 | 0,033 | 0,010 |
| 2000 | 0,012 | 0,647 | 0,000 | 6,043 | 0,420 | 259,2 | 0,036 | 0,010 |
| 1999 | 0,025 | 0,770 | 0,000 | 6,655 | 0,532 | 259,2 | 0,044 | 0,011 |
| 1998 | 0,028 | 0,887 | 0,000 | 7,345 | 0,667 | 259,2 | 0,053 | 0,011 |
| 1997 | 0,030 | 1,008 | 0,000 | 8,003 | 0,779 | 259,2 | 0,060 | 0,011 |
| 1996 | 0,030 | 1,142 | 0,000 | 8,759 | 0,916 | 259,2 | 0,068 | 0,011 |
| 1995 | 0,030 | 1,268 | 0,000 | 9,498 | 1,036 | 259,2 | 0,074 | 0,011 |
| 1994 | 0,030 | 1,270 | 0,000 | 9,650 | 1,045 | 259,2 | 0,075 | 0,012 |
| 1993 | 0,030 | 1,272 | 0,000 | 9,803 | 1,054 | 259,2 | 0,075 | 0,014 |
| 1992 | 0,030 | 1,274 | 0,000 | 9,955 | 1,063 | 259,2 | 0,075 | 0,015 |
| 1991 | 0,030 | 1,276 | 0,000 | 10,108 | 1,073 | 259,2 | 0,076 | 0,017 |
| 1990 | 0,031 | 1,278 | 0,000 | 10,260 | 1,082 | 259,2 | 0,076 | 0,018 |
| Diesel | | | | | | | | |
| g/kWh _{input} | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
| 2004 | 0,001 | 0,834 | 0,068 | 0,485 | 0,089 | 266,4 | 0,002 | 0,007 |
| 2003 | 0,001 | 0,863 | 0,074 | 0,497 | 0,091 | 266,4 | 0,002 | 0,007 |
| 2002 | 0,007 | 0,878 | 0,082 | 0,509 | 0,093 | 266,4 | 0,002 | 0,006 |
| 2001 | 0,042 | 0,893 | 0,091 | 0,528 | 0,096 | 266,4 | 0,002 | 0,006 |
| 2000 | 0,050 | 0,891 | 0,101 | 0,539 | 0,097 | 266,4 | 0,002 | 0,004 |
| 1999 | 0,055 | 0,882 | 0,107 | 0,550 | 0,099 | 266,4 | 0,002 | 0,004 |
| 1998 | 0,060 | 0,864 | 0,116 | 0,563 | 0,101 | 266,4 | 0,002 | 0,002 |
| 1997 | 0,067 | 0,843 | 0,128 | 0,576 | 0,103 | 266,4 | 0,003 | 0,002 |
| 1996 | 0,101 | 0,822 | 0,133 | 0,585 | 0,104 | 266,4 | 0,003 | 0,001 |
| 1995 | 0,218 | 0,809 | 0,139 | 0,594 | 0,106 | 266,4 | 0,003 | 0,000 |
| 1994 | 0,220 | 0,867 | 0,147 | 0,649 | 0,114 | 266,4 | 0,003 | 0,002 |
| 1993 | 0,223 | 0,925 | 0,155 | 0,705 | 0,122 | 266,4 | 0,003 | 0,004 |
| 1992 | 0,225 | 0,982 | 0,163 | 0,760 | 0,130 | 266,4 | 0,003 | 0,007 |
| 1991 | 0,228 | 1,040 | 0,170 | 0,816 | 0,138 | 266,4 | 0,003 | 0,009 |
| 1990 | 0,230 | 1,098 | 0,178 | 0,871 | 0,146 | 266,4 | 0,004 | 0,011 |

Quelle: UBA (2006); Daten umgerechnet auf g/kWh_{input}

Für die biogenen Kraftstoffe Rapsöl, RME und Bioethanol (aus Weizen) wurden mit Ausnahme von SO₂ und CO₂ mit den gleichen Werten angesetzt wie die fossilen Kraftstoffe. Die entsprechenden Werte zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 15 Direkte Emissionsfaktoren der biogenen Kraftstoffnutzung in Pkw

| Kraftstoff | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|------------|-----------------|-----------------|-------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|
| EtOH | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 1,02 | 0,03 | - | 0,00 | 0,01 |
| Rapsöl/RME | 0,00 | 0,25 | 0,01 | 0,25 | 0,04 | - | 0,00 | 0,01 |

Quelle: UBA (2006); Angaben in g/kWh_{nput}; direkte Emissionen der Biokraftstoffe außer SO₂ und CO₂ gleich zu fossilen (Benzin und Diesel) angenommen

Um der methodischen Festlegung der Bundesregierung bezüglich Biokraftstoffen zu genügen, wurden - abweichend von den vorstehenden Bilanzierungen für Strom und Wärme - bei den Kraftstoffen mit den *Gesamtemissionen* (Vorkette + Herstellungsaufwand) gerechnet, die mit GEMIS 4.4 ermittelt wurden (vgl. folgende Tabelle). Dabei sind neben den deutschen Emissionen *auch die im Ausland* stattfindenden einbezogen, also die der Ölförderung und –aufbereitung sowie der Transporte von Rohöl von den ausländischen Förderstellen nach Deutschland.

Tabelle 16 Gesamtemissionsfaktoren der Kraftstoffnutzung in Pkw (inkl. Vorketten)

| | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|--------------|-----------------|-----------------|-------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|
| Benzin | 0,22 | 0,23 | 0,02 | 1,07 | 0,58 | 322,5 | 0,15 | 0,01 |
| Diesel | 0,43 | 0,36 | 0,02 | 0,29 | 0,11 | 306,9 | 0,14 | 0,01 |
| EtOH Weizen | 0,14 | 0,59 | 0,05 | 1,18 | 0,55 | 179,7 | 0,40 | 0,33 |
| EtOH Weizen* | 0,11 | 0,52 | 0,04 | 1,16 | 0,54 | 168,0 | 0,38 | 0,25 |
| Rapsöl | 0,16 | 0,73 | 0,07 | 0,38 | 0,09 | 94,1 | 0,17 | 0,43 |
| Rapsöl* | -0,08 | 0,31 | 0,03 | 0,28 | 0,01 | 34,0 | 0,13 | 0,40 |
| RME | 0,19 | 0,78 | 0,07 | 0,40 | 0,09 | 116,0 | 0,30 | 0,44 |
| RME* | -0,16 | 0,22 | 0,02 | 0,24 | 0,00 | -45,2 | 0,04 | 0,40 |

Quelle: GEMIS 4.4; Angaben in g/kWh_{nput}; * = netto, d.h. inkl. Gutschriften für Nebenprodukte (Rapskuchen, Glycerin, DDGS) in der Vorkette

Die z.T. negativen Emissionsfaktoren bei RME und EtOH (Nettobilanzen) ergeben sich durch die Anrechnung von Koppelprodukten (Rapskuchen, Glycerin, DDGS) mit entsprechender Emissionsvermeidung durch Gutschriften.

2.9 Mengengerüst der deutschen Kraftstoffnutzung von 1990 bis 2004

Die Daten zu den im Verkehr eingesetzten Energieträgern (Kraftstoffe) sind in ZSE für die gesamte Zeitreihe enthalten und können daher verwendet werden. Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Kraftstoffeinsätze in den jeweiligen Fahrzeugen.

2.10 Substitutionslogik für die erneuerbare Kraftstoffnutzung

Die Substitution fossiler Kraftstoffe durch biogene erfolgt so, dass Biodiesel Diesel ersetzt und EtOH Benzin. Dabei werden *nur Pkw* einbezogen, da über die Verteilung des Biokraftstoffeinsatzes zwischen Personen- und Güterverkehr keine Daten vorliegen.

Tabelle 17 Kraftstoffeinsätze in Diesel- und Otto-Pkw in Deutschland 1995-2004

| Diesel-Pkw | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Autobahn, konv. | 81.333 | 75.742 | 67.207 | 57.692 | 50.083 | 42.029 | 32.307 | 26.352 | 20.452 | 17.795 |
| außerorts, konv. | 94.786 | 89.145 | 78.341 | 66.944 | 58.505 | 49.496 | 39.458 | 32.717 | 25.949 | 22.999 |
| innerorts, konv. | 87.422 | 81.307 | 71.132 | 61.751 | 54.961 | 45.957 | 38.271 | 31.739 | 24.062 | 21.472 |
| Autobahn, Minderung | 3.098 | 9.790 | 18.155 | 28.507 | 43.289 | 53.830 | 74.398 | 91.626 | 102.745 | 126.943 |
| außerorts, Minderung | 3.110 | 9.866 | 18.007 | 27.905 | 42.044 | 51.811 | 72.050 | 88.099 | 98.984 | 122.343 |
| innerorts, Minderung | 2.938 | 9.343 | 17.068 | 26.922 | 41.444 | 50.506 | 73.452 | 90.067 | 97.174 | 121.515 |
| Autobahn, konv. | 127 | 161 | 251 | 230 | 245 | 353 | 383 | 487 | 459 | 508 |
| außerorts, konv. | 148 | 189 | 292 | 267 | 286 | 415 | 468 | 605 | 582 | 657 |
| innerorts, konv. | 136 | 172 | 265 | 246 | 269 | 386 | 454 | 587 | 540 | 613 |
| Autobahn, Minderung | 5 | 21 | 68 | 114 | 212 | 452 | 883 | 1.694 | 2.306 | 3.627 |
| außerorts, Minderung | 5 | 21 | 67 | 111 | 206 | 435 | 855 | 1.629 | 2.221 | 3.495 |
| innerorts, Minderung | 5 | 20 | 64 | 107 | 203 | 424 | 871 | 1.665 | 2.181 | 3.471 |
| Diesel, inkl. Bio | 273.112 | 275.776 | 270.917 | 270.798 | 291.747 | 296.094 | 333.850 | 367.268 | 377.656 | 445.438 |
| Otto-Pkw | | | | | | | | | | |
| Autobahn, konv. | 106.711 | 87.899 | 71.467 | 57.096 | 44.367 | 32.423 | 24.657 | 18.596 | 13.984 | 10.545 |
| außerorts, konv. | 157.020 | 133.197 | 108.902 | 87.218 | 67.488 | 48.852 | 38.287 | 28.754 | 21.509 | 15.943 |
| innerorts, konv. | 168.242 | 140.792 | 114.187 | 92.574 | 72.962 | 52.201 | 42.551 | 32.043 | 23.089 | 17.192 |
| Autobahn, Minderung | 255.962 | 274.788 | 296.900 | 316.821 | 330.767 | 329.991 | 324.316 | 322.735 | 316.956 | 309.383 |
| außerorts, Minderung | 287.578 | 314.542 | 336.637 | 354.315 | 369.014 | 366.024 | 356.254 | 352.971 | 346.248 | 337.669 |
| innerorts, Minderung | 290.451 | 314.406 | 334.629 | 357.570 | 380.330 | 372.529 | 379.403 | 377.054 | 355.010 | 351.273 |
| Otto, o. Flüssiggas | 1.265.963 | 1.265.624 | 1.262.722 | 1.265.593 | 1.264.929 | 1.202.020 | 1.165.468 | 1.132.153 | 1.076.796 | 1.042.004 |
| Flüssiggas, innerorts, konv. | 138 | 115 | 106 | 106 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Quelle: nach UBA (2006); Angaben in PJ Kraftstoffeinsatz in den Fahrzeugen

3 Emissionseinsparung durch Erneuerbare Energien

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Bilanzierung für die Einspeisung von Strom sowie für die Bereitstellung von Wärme im Bereich der Haushalte und von Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien dargestellt. Ergänzend werden auch die vermiedenen Brennstoff- und Primärenergiemengen ausgewiesen (vgl. Abschnitt 0).

3.1 Einsparungen durch erneuerbare Energien im Bereich der Stromerzeugung von 1990 bis 2004

Die Strommengen nach Tabelle 9 wurden entsprechend der Substitutionslogik (vgl. Tabelle 8) mit den hier abgeleiteten Emissionsfaktoren (vgl. Tabelle 3) verrechnet und so die vermiedenen Emissionen durch Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien bestimmt⁸. Die entsprechenden Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle, wobei hier die direkten Emissionen aus der biogenen Stromerzeugung noch nicht mit berücksichtigt sind (Bruttobilanz).

Tabelle 18 Emissionsvermeidung durch Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Bruttobilanz) von 1990-2004

| Jahr | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 60.278 | 25.583 | 49.849 | 1.391 | 18.849 | 1.017 | 53.772.875 | 53.198.025 | 766 | 1.883 |
| 2003 | 55.329 | 26.180 | 41.881 | 1.235 | 17.069 | 844 | 46.624.728 | 46.134.108 | 657 | 1.606 |
| 2002 | 57.975 | 30.595 | 39.339 | 1.247 | 17.974 | 776 | 46.051.061 | 45.577.044 | 641 | 1.552 |
| 2001 | 54.182 | 31.410 | 32.719 | 1.121 | 16.491 | 633 | 40.082.175 | 39.677.449 | 551 | 1.324 |
| 2000 | 58.954 | 36.663 | 32.026 | 1.177 | 16.997 | 612 | 40.227.546 | 39.825.376 | 550 | 1.316 |
| 1999 | 71.859 | 54.639 | 24.741 | 1.090 | 14.245 | 451 | 31.813.342 | 31.497.673 | 441 | 1.032 |
| 1998 | 86.862 | 71.657 | 21.847 | 1.112 | 12.745 | 396 | 28.280.174 | 27.999.329 | 391 | 918 |
| 1997 | 109.522 | 95.572 | 20.043 | 1.221 | 12.359 | 360 | 26.783.997 | 26.520.478 | 366 | 862 |
| 1996 | 129.151 | 116.019 | 18.868 | 1.319 | 12.058 | 336 | 25.749.104 | 25.496.729 | 349 | 825 |
| 1995 | 171.219 | 158.024 | 18.958 | 1.606 | 13.168 | 332 | 27.254.419 | 26.991.206 | 363 | 861 |
| 1994 | 163.398 | 151.436 | 17.187 | 1.490 | 12.228 | 295 | 24.990.306 | 24.750.865 | 330 | 783 |
| 1993 | 157.969 | 146.722 | 16.160 | 1.407 | 11.528 | 274 | 23.458.537 | 23.234.428 | 309 | 733 |
| 1992 | 158.055 | 147.219 | 15.569 | 1.374 | 11.248 | 260 | 22.713.088 | 22.497.203 | 298 | 706 |
| 1991 | 139.166 | 129.783 | 13.481 | 1.187 | 9.685 | 223 | 19.531.632 | 19.346.154 | 256 | 607 |
| 1990 | 152.346 | 142.268 | 14.480 | 1.275 | 10.373 | 237 | 20.875.233 | 20.677.285 | 273 | 648 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben in t/a direkte vermiedene Emissionen ohne Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Stromerzeugung

⁸ Dabei wird vereinfachend von der gleichen energiewirtschaftlichen Zuordnung regenerativer Stromerzeugung zu konventionellen Kraftwerken ausgegangen wie in ISI (2005) für das Jahr 2000, d.h. gleiche Lastbereiche und Regenergiebedarfe. Jedoch wurde der Anlagenmix auf die Stromerzeugung der jeweiligen Jahre hochgerechnet.

Im zweiten Schritt wurden die *direkten* Emissionen der biogenen⁹ Stromerzeugung mit einbezogen, d.h. eine *Nettobilanz* der Einsparung erstellt. Die entsprechend korrigierten Werte zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 19 Emissionsvermeidung durch Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Nettobilanz) von 1990-2004

| Jahr | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 44.737 | 23.416 | 30.634 | 324 | 9.198 | -1.184 | 53.610.122 | 53.198.025 | 97 | 1.385 |
| 2003 | 42.147 | 24.177 | 25.819 | 298 | 8.948 | -759 | 46.489.002 | 46.134.108 | 144 | 1.188 |
| 2002 | 48.449 | 28.909 | 28.075 | 544 | 12.159 | 18 | 45.957.695 | 45.577.044 | 351 | 1.259 |
| 2001 | 45.737 | 29.906 | 22.746 | 462 | 11.428 | -67 | 39.997.104 | 39.677.449 | 288 | 1.058 |
| 2000 | 52.108 | 35.265 | 24.199 | 607 | 12.998 | 312 | 40.160.621 | 39.825.376 | 390 | 1.102 |
| 1999 | 66.289 | 53.346 | 18.596 | 541 | 11.491 | 220 | 31.754.004 | 31.497.673 | 306 | 842 |
| 1998 | 81.669 | 70.441 | 16.132 | 595 | 10.195 | 190 | 28.224.722 | 27.999.329 | 267 | 741 |
| 1997 | 104.849 | 94.419 | 14.986 | 737 | 10.185 | 216 | 26.733.563 | 26.520.478 | 261 | 700 |
| 1996 | 124.984 | 114.977 | 14.378 | 884 | 10.129 | 227 | 25.704.211 | 25.496.729 | 260 | 681 |
| 1995 | 167.362 | 157.047 | 14.821 | 1.197 | 11.408 | 241 | 27.212.686 | 26.991.206 | 282 | 726 |
| 1994 | 159.812 | 150.511 | 13.364 | 1.104 | 10.626 | 222 | 24.951.357 | 24.750.865 | 257 | 657 |
| 1993 | 154.939 | 145.948 | 12.918 | 1.082 | 10.148 | 213 | 23.425.685 | 23.234.428 | 247 | 627 |
| 1992 | 155.020 | 146.427 | 12.347 | 1.041 | 9.925 | 197 | 22.679.682 | 22.497.203 | 235 | 598 |
| 1991 | 136.282 | 129.019 | 10.434 | 865 | 8.466 | 163 | 19.499.546 | 19.346.154 | 195 | 503 |
| 1990 | 149.472 | 141.490 | 11.467 | 946 | 9.216 | 176 | 20.842.776 | 20.677.285 | 212 | 543 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben in t/a direkte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Stromerzeugung

Es zeigt sich, dass im Jahr 2004 bei den NMVOC keine Netto-Entlastung mehr eintritt, sondern eine (geringfügige) Erhöhung.

Die hier erstellte Nettobilanz unterscheidet sich aufgrund aktualisierter Daten geringfügig von den früheren Rechnungen (vgl. BMU 2005), die für CO₂ eine Einsparung von rd. 52 Mio. t ergaben und für CO₂-Äquivalente rd. 52,7 Mio. t (jeweils für 2004). Damit bestätigt die hier erstellte Bilanz die früheren Ergebnisse bei den Treibhausgasen.

Bei den SO₂-Äquivalenten gibt BMU (2005) dagegen rd. 51,6 kt als vermieden an, was in etwa der hier bilanzierten *Bruttomenge* von rund 60 kt (vgl. Tabelle 18) entspricht, in der die Stromerzeugungsanteile durch biogenen Hausmüll enthalten sind. Durch die methodische Erweiterung zur *Nettobilanz* sinkt die anzusetzende Emissionsvermeidung jedoch auf rd. 45 kt ab.

⁹ Da nur direkte Emissionen bilanziert werden, sind die Netto-Beiträge von Solarthermie und Geothermie Null. Erst bei der *Gesamtbilanzierung mit* Vorketten (Herstellungsaufwand, Hilfsstrom usw.) würden auch diese Energieträger mit Emissionen belastet – und parallel bei fossilen Systemen entsprechende Aufwendungen einbezogen.

Als Ergänzung zur Nettobilanzierung wurde untersucht, wie sich die Nettobilanz der *gesamten* Emissionen – *inklusive* der Vorketten und Herstellungsaufwand – darstellt.

Das Ergebnis zeigt die folgende Tabelle für das Beispieljahr 2004 im Vergleich zur Nettobilanz allein der *direkten* Emissionen.

Tabelle 20 Vergleich der direkten und gesamten Emissionsvermeidung durch erneuerbaren Strom (Nettbilanz) im Jahr 2004

| t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|--------|----------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|--------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| direkt | 44.737 | 23.416 | 30.634 | 324 | 9.198 | -1.184 | 53.610.122 | 53.198.025 | 97 | 1.385 |
| gesamt | 48.249 | 22.475 | 37.032 | 366 | 11.700 | -55 | 49.996.723 | 49.782.031 | -1.708 | 858 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für *gesamte* vermiedene Emissionen inkl. vorgelagerter Prozesse

Dieser Vergleich zeigt, dass die Einbeziehung der Vorketten und des Herstellungsaufwands sowohl für die (substituierte) fossile Stromerzeugung wie auch für die (substituierende) erneuerbare Stromerzeugung die Nettobilanz bei den Treibhausgasen *reduziert*, während bei den Luftschadstoffen eine *Erhöhung* der Einsparung (Ausnahme: Staub) die Folge ist.

Die Gesamtbilanz ist eine *realistischere* Größe, da sie den gesamten Lebenszyklus abbildet und so eine für die Erneuerbaren bei den Treibhausgasen „zu günstige“ Bilanz, die nur direkte Emissionen rechnet, korrigiert.

3.2 Einsparungen im Wärmebereich von 1990 bis 2004

Wie zuvor beim Strom wurden mit den o.g. Daten die vermiedenen direkten Emissionen aus der Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien in den Privathaushalten für die Zeitreihen berechnet, wobei nur aus dem BMU-Monitoring nur Daten von 1997 ab zur Verfügung stehen.

Daher wurde die Wärmebilanzen der Vorjahre über entsprechende AGEBA-Daten zum Holzeinsatz in den Sektoren Haushalte und GHD abgebildet.

Die *Bruttobilanzen* – ohne Anrechnung der Emissionen aus der biogenen Wärmebereitstellung – zeigen die folgenden Tabellen für die verschiedenen Varianten der Substitutionslogik.

Tabelle 21 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Bruttobilanz) 1990-2004 bei Substitutionslogik „Durchschnitt“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 12.284 | 6.262 | 8.653 | 2.953 | 92.600 | 6.815 | 13.068.229 | 12.968.068 | 2.968 | 108 |
| 2003 | 12.864 | 6.806 | 8.705 | 2.897 | 92.872 | 6.645 | 13.089.334 | 12.989.051 | 2.955 | 109 |
| 2002 | 13.139 | 7.468 | 8.148 | 2.754 | 92.824 | 6.086 | 12.220.250 | 12.121.244 | 2.909 | 108 |
| 2001 | 13.616 | 7.826 | 8.320 | 2.677 | 91.569 | 6.006 | 12.418.896 | 12.320.993 | 2.859 | 109 |
| 2000 | 13.254 | 7.563 | 8.177 | 2.553 | 89.421 | 5.794 | 12.089.206 | 11.993.539 | 2.790 | 106 |
| 1999 | 12.529 | 7.127 | 7.762 | 2.396 | 83.722 | 5.481 | 11.368.722 | 11.279.093 | 2.609 | 100 |
| 1998 | 13.012 | 7.484 | 7.943 | 2.229 | 77.437 | 5.089 | 11.663.144 | 11.579.050 | 2.403 | 97 |
| 1997 | 12.968 | 7.693 | 7.580 | 2.115 | 75.050 | 4.708 | 11.105.761 | 11.024.462 | 2.304 | 96 |
| 1996 | 7.350 | 4.462 | 4.149 | 978 | 36.921 | 2.080 | 6.195.596 | 6.153.748 | 1.106 | 55 |
| 1995 | 8.558 | 5.624 | 4.216 | 1.087 | 40.760 | 2.276 | 6.214.767 | 6.169.653 | 1.217 | 58 |
| 1994 | 5.229 | 3.436 | 2.576 | 664 | 24.903 | 1.298 | 3.652.359 | 3.625.846 | 715 | 34 |
| 1993 | 3.831 | 2.517 | 1.887 | 486 | 18.243 | 889 | 2.579.257 | 2.560.534 | 505 | 24 |
| 1992 | 3.866 | 2.540 | 1.905 | 491 | 18.411 | 840 | 2.514.217 | 2.495.966 | 492 | 23 |
| 1991 | 4.121 | 2.708 | 2.030 | 523 | 19.627 | 840 | 2.593.535 | 2.574.709 | 508 | 24 |
| 1990 | 4.214 | 2.769 | 2.076 | 535 | 20.069 | 807 | 2.570.395 | 2.551.736 | 503 | 24 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte vermiedene Emissionen ohne Berücksichtigung direkter Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Tabelle 22 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Bruttobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Heizöl“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------|--------------|------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 21.752 | 15.099 | 9.559 | 391 | 5.195 | 299 | 17.054.255 | 17.032.817 | 14 | 71 |
| 2003 | 21.596 | 14.936 | 9.568 | 387 | 5.200 | 296 | 16.869.674 | 16.848.468 | 14 | 71 |
| 2002 | 19.899 | 13.712 | 8.888 | 355 | 4.831 | 272 | 15.487.719 | 15.468.250 | 13 | 65 |
| 2001 | 20.086 | 13.792 | 9.044 | 357 | 4.915 | 273 | 15.577.075 | 15.557.494 | 13 | 65 |
| 2000 | 19.685 | 13.467 | 8.934 | 349 | 4.855 | 267 | 15.210.847 | 15.191.726 | 12 | 64 |
| 1999 | 18.506 | 12.615 | 8.464 | 323 | 4.600 | 250 | 14.248.200 | 14.230.289 | 12 | 60 |
| 1998 | 18.724 | 12.718 | 8.629 | 322 | 4.690 | 252 | 14.364.763 | 14.346.706 | 12 | 60 |
| 1997 | 17.647 | 11.944 | 8.194 | 299 | 4.454 | 237 | 13.490.405 | 13.473.446 | 11 | 56 |
| 1996 | 9.615 | 6.484 | 4.498 | 160 | 2.444 | 128 | 7.323.648 | 7.314.441 | 6 | 31 |
| 1995 | 11.540 | 8.383 | 4.536 | 158 | 2.465 | 128 | 7.306.991 | 7.297.806 | 6 | 31 |
| 1994 | 6.916 | 5.024 | 2.719 | 95 | 1.478 | 77 | 4.379.283 | 4.246.386 | 4 | 18 |
| 1993 | 4.977 | 3.615 | 1.957 | 68 | 1.063 | 55 | 3.151.476 | 2.969.354 | 3 | 13 |
| 1992 | 4.941 | 3.589 | 1.942 | 68 | 1.056 | 55 | 3.128.281 | 2.866.375 | 3 | 13 |
| 1991 | 5.186 | 3.767 | 2.039 | 71 | 1.108 | 58 | 3.283.905 | 2.928.372 | 3 | 14 |
| 1990 | 5.227 | 3.797 | 2.055 | 71 | 1.117 | 58 | 3.309.955 | 2.874.604 | 3 | 14 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte vermiedene Emissionen ohne Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Tabelle 23 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Bruttobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Mix Öl/Gas“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------|--------------|------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 14.912 | 8.822 | 8.750 | 230 | 4.284 | 242 | 15.320.767 | 15.297.022 | 114 | 71 |
| 2003 | 14.840 | 8.733 | 8.774 | 228 | 4.283 | 240 | 15.156.882 | 15.133.397 | 113 | 71 |
| 2002 | 13.722 | 8.039 | 8.165 | 210 | 3.977 | 220 | 13.921.225 | 13.899.672 | 103 | 65 |
| 2001 | 13.909 | 8.116 | 8.324 | 212 | 4.046 | 222 | 14.009.828 | 13.988.161 | 103 | 65 |
| 2000 | 13.683 | 7.949 | 8.237 | 207 | 3.996 | 217 | 13.687.182 | 13.666.033 | 100 | 64 |
| 1999 | 12.895 | 7.455 | 7.816 | 192 | 3.783 | 203 | 12.823.488 | 12.803.681 | 94 | 60 |
| 1998 | 13.090 | 7.535 | 7.982 | 192 | 3.855 | 205 | 12.933.399 | 12.913.437 | 94 | 60 |
| 1997 | 12.366 | 7.083 | 7.591 | 178 | 3.658 | 193 | 12.148.197 | 12.129.452 | 89 | 56 |
| 1996 | 6.700 | 3.800 | 4.166 | 95 | 1.998 | 104 | 6.582.561 | 6.572.368 | 49 | 31 |
| 1995 | 7.845 | 4.916 | 4.208 | 93 | 2.014 | 104 | 6.569.469 | 6.559.302 | 49 | 31 |
| 1994 | 4.746 | 2.988 | 2.526 | 57 | 1.213 | 63 | 3.946.103 | 3.825.264 | 29 | 18 |
| 1993 | 3.411 | 2.146 | 1.817 | 41 | 872 | 45 | 2.838.940 | 2.674.116 | 21 | 13 |
| 1992 | 3.392 | 2.136 | 1.805 | 41 | 866 | 45 | 2.819.313 | 2.582.540 | 20 | 13 |
| 1991 | 3.568 | 2.249 | 1.895 | 43 | 910 | 47 | 2.961.005 | 2.639.685 | 21 | 14 |
| 1990 | 3.601 | 2.271 | 1.910 | 43 | 918 | 47 | 2.985.352 | 2.591.964 | 21 | 14 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte vermiedene Emissionen ohne Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Die Ergebnisse belegen, dass bei der *Bruttobilanz* die in BMU (2005) veröffentlichten früheren Resultate von rd. 14,7 Mio. t CO₂-Äquivalenten durch die aktualisierten Daten noch leicht übertroffen werden, sofern nur Heizöl oder die Öl/Gas-Mixvariante als Substitutionslogik angenommen wird. Für den „fossilen-Mix“-Fall liegt die *Bruttobilanz* mit rd. 13 Mio. t CO₂-Äquivalenten leicht *unter* dem früheren Ergebnis.

Auch bei den SO₂-Äquivalenten weisen die nur Heizöl- und die Öl/Gas-Mischvariante jeweils höhere Emissionsvermeidungen aus als BMU (2005), wo rd. 13 kt genannt wurden. Beim „fossilen-Mix-Fall“ liegt die *Bruttobilanz* dagegen mit rd. 12,3 kt SO₂-Äquivalenten wieder leicht darunter.

Mit der hier entwickelten methodischen Erweiterung der *Nettobilanz* ergeben sich jedoch deutlich andere Resultate, wie die folgenden Tabellen zeigen.

Tabelle 24 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Durchschnitt“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 3.044 | 4.734 | -2.428 | -21.596 | -656.243 | -52.192 | 12.418.376 | 12.968.068 | -21.131 | -215 |
| 2003 | 3.711 | 5.292 | -2.272 | -21.422 | -648.984 | -51.812 | 12.445.544 | 12.989.051 | -20.919 | -211 |
| 2002 | 4.699 | 6.072 | -1.973 | -19.668 | -591.159 | -47.811 | 11.626.683 | 12.121.244 | -19.102 | -187 |
| 2001 | 5.069 | 6.412 | -1.931 | -20.032 | -601.179 | -48.582 | 11.817.723 | 12.320.993 | -19.434 | -190 |
| 2000 | 4.863 | 6.176 | -1.886 | -19.742 | -590.655 | -47.795 | 11.499.028 | 11.993.539 | -19.095 | -187 |
| 1999 | 4.658 | 5.826 | -1.678 | -18.517 | -554.246 | -44.789 | 10.815.087 | 11.279.093 | -17.922 | -175 |
| 1998 | 5.038 | 6.165 | -1.620 | -18.956 | -568.820 | -45.835 | 11.102.316 | 11.579.050 | -18.394 | -181 |
| 1997 | 5.468 | 6.453 | -1.414 | -17.812 | -532.804 | -43.190 | 10.578.259 | 11.024.462 | -17.257 | -167 |
| 1996 | 3.406 | 3.810 | -580 | -9.498 | -282.665 | -23.103 | 5.918.256 | 6.153.748 | -9.179 | -82 |
| 1995 | 4.614 | 4.972 | -514 | -9.392 | -278.896 | -22.912 | 5.937.367 | 6.169.653 | -9.070 | -80 |
| 1994 | 2.821 | 3.038 | -312 | -5.735 | -170.289 | -14.083 | 3.482.970 | 3.625.846 | -5.566 | -50 |
| 1993 | 2.152 | 2.239 | -126 | -3.974 | -117.828 | -9.833 | 2.461.174 | 2.560.534 | -3.874 | -35 |
| 1992 | 2.237 | 2.271 | -49 | -3.836 | -113.583 | -9.561 | 2.399.671 | 2.495.966 | -3.755 | -34 |
| 1991 | 2.448 | 2.431 | 24 | -3.921 | -115.933 | -9.842 | 2.475.896 | 2.574.709 | -3.855 | -34 |
| 1990 | 2.567 | 2.497 | 101 | -3.841 | -113.414 | -9.711 | 2.454.557 | 2.551.736 | -3.792 | -34 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Tabelle 25 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Heizöl“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 11.874 | 13.466 | -2.287 | -25.853 | -795.373 | -62.784 | 16.359.514 | 17.032.817 | -25.749 | -274 |
| 2003 | 11.824 | 13.320 | -2.149 | -25.573 | -786.703 | -62.105 | 16.182.453 | 16.848.468 | -25.470 | -271 |
| 2002 | 10.928 | 12.229 | -1.869 | -23.478 | -722.200 | -57.017 | 14.856.794 | 15.468.250 | -23.384 | -249 |
| 2001 | 11.064 | 12.300 | -1.776 | -23.614 | -726.310 | -57.346 | 14.942.510 | 15.557.494 | -23.519 | -250 |
| 2000 | 10.875 | 12.011 | -1.632 | -23.058 | -709.179 | -55.998 | 14.591.202 | 15.191.726 | -22.966 | -244 |
| 1999 | 10.253 | 11.250 | -1.433 | -21.603 | -664.245 | -52.454 | 13.667.770 | 14.230.289 | -21.512 | -229 |
| 1998 | 10.404 | 11.342 | -1.349 | -21.784 | -669.627 | -52.883 | 13.779.584 | 14.346.706 | -21.688 | -231 |
| 1997 | 9.834 | 10.652 | -1.176 | -20.461 | -628.819 | -49.664 | 12.940.845 | 13.473.446 | -20.368 | -217 |
| 1996 | 5.373 | 5.783 | -589 | -11.110 | -341.345 | -26.962 | 7.025.303 | 7.314.441 | -11.057 | -118 |
| 1995 | 7.308 | 7.683 | -539 | -11.087 | -340.542 | -26.900 | 7.009.326 | 7.297.806 | -11.032 | -117 |
| 1994 | 4.454 | 4.617 | -234 | -6.448 | -198.109 | -15.650 | 4.206.080 | 4.246.386 | -6.419 | -68 |
| 1993 | 3.255 | 3.331 | -109 | -4.507 | -138.501 | -10.942 | 3.030.361 | 2.969.354 | -4.489 | -47 |
| 1992 | 3.278 | 3.314 | -51 | -4.349 | -133.668 | -10.561 | 3.011.367 | 2.866.375 | -4.333 | -45 |
| 1991 | 3.488 | 3.487 | 2 | -4.441 | -136.530 | -10.788 | 3.164.462 | 2.928.372 | -4.427 | -46 |
| 1990 | 3.560 | 3.522 | 56 | -4.358 | -133.994 | -10.588 | 3.192.705 | 2.874.604 | -4.345 | -44 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

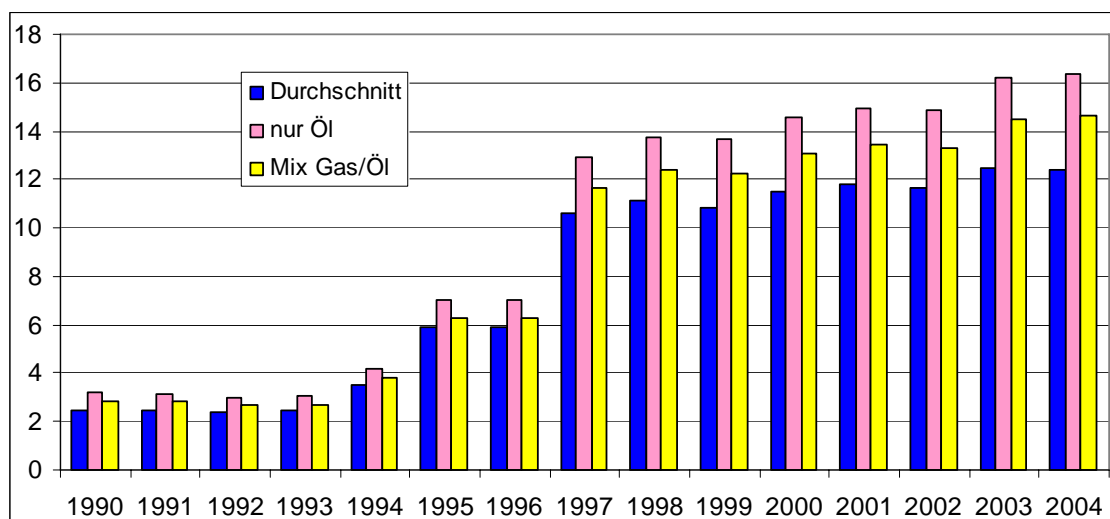
Tabelle 26 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitutionslogik „Mix Öl/Gas“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 5.672 | 7.294 | -2.330 | -24.318 | -744.559 | -58.765 | 14.670.914 | 15.297.022 | -23.984 | -252 |
| 2003 | 5.686 | 7.220 | -2.204 | -24.091 | -737.573 | -58.217 | 14.513.092 | 15.133.397 | -23.761 | -249 |
| 2002 | 5.283 | 6.644 | -1.956 | -22.212 | -680.006 | -53.676 | 13.327.658 | 13.899.672 | -21.908 | -230 |
| 2001 | 5.362 | 6.702 | -1.926 | -22.498 | -688.702 | -54.365 | 13.408.654 | 13.988.161 | -22.190 | -234 |
| 2000 | 5.291 | 6.562 | -1.826 | -22.087 | -676.081 | -53.372 | 13.097.005 | 13.666.033 | -21.785 | -230 |
| 1999 | 5.024 | 6.154 | -1.624 | -20.721 | -634.185 | -50.068 | 12.269.853 | 12.803.681 | -20.436 | -216 |
| 1998 | 5.116 | 6.216 | -1.581 | -20.993 | -642.402 | -50.719 | 12.372.571 | 12.913.437 | -20.703 | -219 |
| 1997 | 4.866 | 5.843 | -1.404 | -19.748 | -604.196 | -47.705 | 11.620.695 | 12.129.452 | -19.473 | -206 |
| 1996 | 2.757 | 3.148 | -563 | -10.382 | -317.588 | -25.079 | 6.305.221 | 6.572.368 | -10.236 | -107 |
| 1995 | 3.901 | 4.264 | -522 | -10.386 | -317.642 | -25.084 | 6.292.068 | 6.559.302 | -10.238 | -107 |
| 1994 | 2.337 | 2.589 | -362 | -6.342 | -193.979 | -15.318 | 3.776.714 | 3.825.264 | -6.253 | -66 |
| 1993 | 1.732 | 1.869 | -196 | -4.420 | -135.199 | -10.677 | 2.720.857 | 2.674.116 | -4.358 | -45 |
| 1992 | 1.764 | 1.867 | -148 | -4.286 | -131.128 | -10.356 | 2.704.767 | 2.582.540 | -4.227 | -44 |
| 1991 | 1.896 | 1.973 | -111 | -4.401 | -134.649 | -10.635 | 2.843.365 | 2.639.685 | -4.341 | -45 |
| 1990 | 1.954 | 1.999 | -65 | -4.333 | -132.565 | -10.471 | 2.869.514 | 2.591.964 | -4.274 | -44 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Für Treibhausgase sind die Unterschiede zur Bruttobilanz gering, da biogene CO₂-Äquivalent-Emissionen niedrig sind und das Ergebnis kaum beeinflussen.

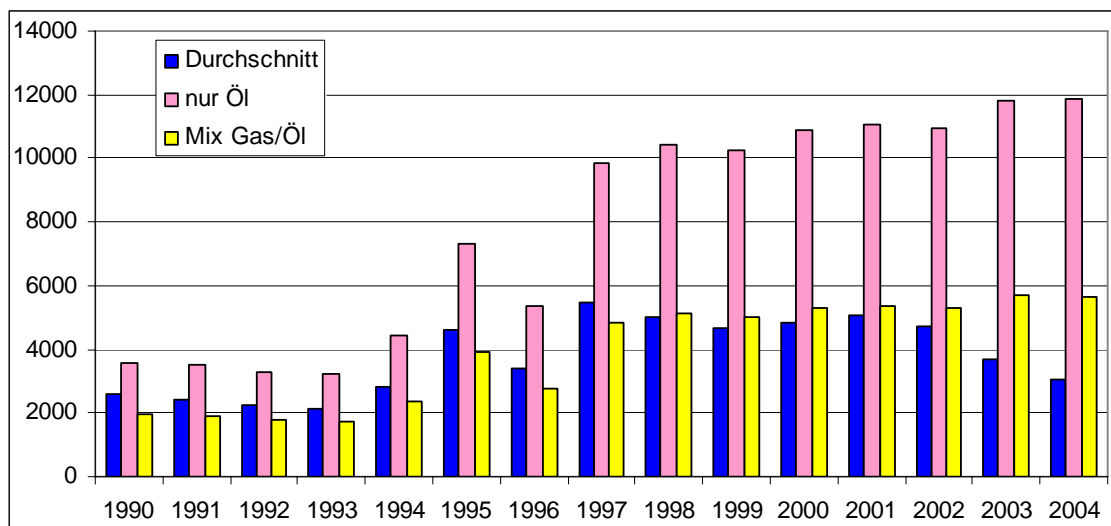
Bild 2 Vergleich der Einsparung von Treibhausgasen durch erneuerbare Wärme von 1990-2004 für die drei Varianten zur Substitutionslogik



Quelle: eigene Berechnungen; Angaben in Mio. t/a für direkte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Ganz anders ist dies jedoch bei den Luftschadstoffen: Hier führt die Nettobilanz mit Ausnahme der „nur-Öl“-Variante zu negativer Vermeidung, d.h. Belastungen, nur bei SO₂ ist weiterhin fast immer eine positive Vermeidung möglich.

Bild 3 Vergleich der Einsparung von SO₂-Äquivalenten durch erneuerbare Wärme von 1990-2004 für die drei Varianten zur Substitutionslogik



Quelle: eigene Berechnungen; Angaben in t/a für direkte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der direkten Emissionen der biogenen Wärmebereitstellung

Ergänzend zu der obigen Brutto- und Nettobilanzierung der Emissionsvermeidung für die direkten Emissionen wurde auch am Beispiel des Jahres 2004 ermittelt, wie sich die Verhältnisse bei der Nettobilanzierung für die gesamten Emissionen – also *inklusive der Vorketten für alle* Energieträger – auswirken. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle im Vergleich zu der direkten Nettobilanz am Beispiel der Substitution des Mixes von Heizöl und Erdgas.

Tabelle 27 Vergleich der direkten und gesamten Emissionsvermeidung durch erneuerbare Wärmebereitstellung (Nettobilanz) im Jahr 2004 bei Substitutionslogik „Mix Öl/Gas“

| in t/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|--------|----------------------|-----------------|-----------------|---------|----------|---------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| direkt | 5.672 | 7.294 | -2.330 | -24.318 | -744.559 | -58.765 | 14.670.914 | 15.297.022 | -23.984 | -252 |
| gesamt | 16.450 | 13.341 | 4.381 | -23.630 | -739.615 | -54.983 | 17.834.234 | 17.699.961 | 7.649 | -141 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für direkte und gesamte vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der Emissionen der erneuerbaren Wärmebereitstellung

Dies zeigt, dass die *gesamte* Emissionsvermeidung bei der Berücksichtigung der Vorketten sowohl für die fossilen wie auch für die erneuerbaren Energieträger zu einer *deutlichen Erhöhung der Einsparung* durch die Erneuerbaren führt.

Bei den Treibhausgasen ergibt sich für CO₂ eine Erhöhung der Einsparung um 16%, bei den CO₂-Äquivalenten um 22% und bei den SO₂-Äquivalenten kann dagegen gegenüber der *direkten* Nettobilanz eine fast dreimal so hohe Einsparung erreicht werden. Bei Staub und CO sowie NMVOC sinken die Mehremissionen leicht um einige Prozente

Dieses Beispiel spricht dafür, bei künftigen Berechnungen der vermiedenen Emissionen nicht nur die direkten Emissionseffekte, sondern - wie bei den Kraftstoffen - auf die *Gesamtnettobilanz* umzustellen (vgl. Abschnitt 4.2).

3.3 Einsparungen im Bereich fossiler Kraftstoffe durch erneuerbare Energien von 1990 bis 2004

Aus dem Mengengerüst der biogenen Kraftstoffbereitstellung und den *gesamten* Emissionsfaktoren für biogene *und* konventionelle Kraftstoffe wurde die Nettobilanz berechnet, die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 28 Emissionsvermeidung durch biogene Kraftstoffe (Nettobilanz) von 1990-2004 bei Substitution von Diesel bzw. Benzin

| in t/a | SO ₂ -Äquiv. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äquiv. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 8.825 | 3.410 | 7.780 | 628 | 4.629 | 1.776 | 2.600.771 | 3.837.162 | 1.073 | -4.260 |
| 2003 | 6.927 | 2.598 | 6.220 | 541 | 2.545 | 1.300 | 1.975.878 | 2.903.876 | 886 | -3.204 |
| 2002 | 4.850 | 1.816 | 4.359 | 419 | 1.821 | 906 | 1.357.439 | 1.996.217 | 609 | -2.205 |
| 2001 | 3.251 | 1.283 | 2.828 | 300 | 1.227 | 588 | 863.186 | 1.270.511 | 388 | -1.406 |
| 2000 | 2.341 | 938 | 2.016 | 239 | 903 | 422 | 615.510 | 907.307 | 277 | -1.007 |
| 1999 | 1.215 | 494 | 1.036 | 133 | 485 | 222 | 319.697 | 471.744 | 144 | -525 |
| 1998 | 927 | 386 | 778 | 111 | 387 | 173 | 245.570 | 362.853 | 111 | -405 |
| 1997 | 736 | 314 | 605 | 99 | 320 | 140 | 196.374 | 290.493 | 89 | -325 |
| 1996 | 470 | 214 | 368 | 65 | 204 | 88 | 122.651 | 181.602 | 56 | -203 |
| 1995 | 315 | 165 | 216 | 41 | 125 | 54 | 73.493 | 108.891 | 33 | -122 |
| 1994 | 273 | 138 | 195 | 36 | 119 | 47 | 61.327 | 90.625 | 28 | -101 |
| 1993 | 114 | 55 | 84 | 15 | 53 | 19 | 24.548 | 36.180 | 11 | -40 |
| 1992 | 60 | 28 | 45 | 8 | 30 | 10 | 12.426 | 18.266 | 6 | -20 |
| 1991 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 479 | 703 | 0 | -1 |
| 1990 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für *gesamte* vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der Emissionen der biogenen Kraftstoffbereitstellung und inklusive Vorketten nach GEMIS 4.4

Die Ergebnisse zeigen für Treibhausgase eine gute Übereinstimmung mit den Daten aus BMU (2005), wo für CO₂ im Jahr 2004 eine Einsparung von 3,9 Mio. t ermittelt wurde und für CO₂-Äquivalente von 2,7 Mio. t. Die geringen Unterschiede sind auf Aktualisierungen der Datenbasis für die Vorketten zurückzuführen.

Bei Luftschadstoffen führen die aktualisierten Daten zu Einsparungen, während BMU (2005) Belastungen von 2,6 Mio. t SO₂-Äquivalenten angab. Die aktualisierten Daten beziehen sich nur auf SO₂ und NO_x, da die anderen versauernden Schadstoffe (insb. NH₃ aus dem Anbau) hier nicht mit bilanziert wurden¹⁰.

3.4 Gesamtbilanzen der Emissionsvermeidung durch EE

Aus den vorgenannten Einzelbilanzen wurden die gesamten Einspareffekte durch die EE in allen Sektoren bestimmt. Dabei wurden stets die *Nettobilanzen* verwendet, d.h. die direkten Emissionen aus der Biomassenutzung einbezogen.

Tabelle 29 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien (Nettobilanz) von 1990-2004

| Jahr | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|------|----------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|--------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 59,1 | 34,1 | 35,9 | -23,1 | -732,7 | -56,6 | 73.953 | 72.347 | 109,6 | -3,1 |
| 2003 | 54,8 | 34,0 | 29,8 | -23,3 | -726,1 | -57,7 | 62.975 | 64.181 | -23,3 | -2,3 |
| 2002 | 58,6 | 37,4 | 30,5 | -21,2 | -666,0 | -52,7 | 60.641 | 61.479 | -21,3 | -1,2 |
| 2001 | 54,3 | 37,9 | 23,6 | -21,7 | -676,0 | -53,8 | 54.268 | 54.940 | -21,7 | -0,6 |
| 2000 | 59,7 | 42,8 | 24,4 | -21,2 | -662,2 | -52,6 | 53.872 | 54.402 | -21,3 | -0,1 |
| 1999 | 72,5 | 60,0 | 18,0 | -20,0 | -622,2 | -49,6 | 44.343 | 44.775 | -20,1 | 0,1 |
| 1998 | 87,7 | 77,0 | 15,3 | -20,3 | -631,8 | -50,4 | 40.843 | 41.277 | -20,4 | 0,1 |
| 1997 | 110,5 | 100,6 | 14,2 | -18,9 | -593,7 | -47,3 | 38.550 | 38.941 | -19,2 | 0,2 |
| 1996 | 128,2 | 118,3 | 14,2 | -9,4 | -307,3 | -24,8 | 32.132 | 32.251 | -10,0 | 0,4 |
| 1995 | 171,6 | 161,5 | 14,5 | -9,1 | -306,1 | -24,8 | 33.578 | 33.660 | -9,9 | 0,5 |
| 1994 | 162,4 | 153,2 | 13,2 | -5,2 | -183,2 | -15,0 | 28.789 | 28.667 | -6,0 | 0,5 |
| 1993 | 156,8 | 147,9 | 12,8 | -3,3 | -125,0 | -10,4 | 26.171 | 25.945 | -4,1 | 0,5 |
| 1992 | 156,8 | 148,3 | 12,2 | -3,2 | -121,2 | -10,1 | 25.397 | 25.098 | -4,0 | 0,5 |
| 1991 | 138,2 | 131,0 | 10,3 | -3,5 | -126,2 | -10,5 | 22.343 | 21.987 | -4,1 | 0,5 |
| 1990 | 151,4 | 143,5 | 11,4 | -3,4 | -123,3 | -10,3 | 23.712 | 23.269 | -4,1 | 0,5 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben in t/a für *direkte* (Strom, Wärme) bzw. *gesamte* (Kraftstoffe) vermiedene Emissionen *inklusive* Berücksichtigung der Emissionen der biogenen Emissionen; Angaben in kt

¹⁰ Würden die NH₃-Emissionen aus den biogenen Vorketten (insb. durch Düngung beim Anbau) mit berücksichtigt, so wäre die Netto-Bilanz der SO₂-Äquivalente negativ, d.h. es würde eine Belastung auftreten, die in der Größenordnung von – 2 kt läge. Diese Emissionsmenge beträgt jedoch nur wenige Prozent der NH₃-Emissionen anderer Emittenten und ist von relativ hohen Datenunsicherheiten geprägt, so dass hier – wie bei den anderen Emissionsbilanzen für Wärme und Strom – diese Anteile ausgeklammert wurden.

Die o.g. Summation erfolgte für EE-Wärme mit der Substitutionslogik „Öl/Gas“.

Wie zuvor wurde auch der Vergleich der Gesamtbilanzierung für alle Sektoren exemplarisch für 2004 durchgeführt, das Ergebnis zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 30 Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien (Nettobilanz) in Deutschland im Jahr 2004 für die gesamten Emissionen

| kt/a | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOG | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 73,4 | 39,2 | 49,0 | -22,4 | -725,2 | -51,7 | 73.503 | 71.334 | 139,4 | -3,5 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für *gesamte* vermiedene Emissionen (inkl. Vorketten)

Der Vergleich von Tabelle 29 mit Tabelle 30 zeigt, dass die *gesamte* Emissionsbilanz (inkl. Vorketten) bei Staub, CO, NMVOG und CO₂ zu *leicht geringeren Einsparungen* führt bzw. die Mehremissionen erhöht, aber bei den versauernden Luftschadstoffen sowie CO₂-Äquivalenten und CH₄ sowie N₂O zu *höheren Einsparungen* (15 bis 36%) führt.

3.5 Einsparungen fossiler Brenn- und Kraftstoffe durch erneuerbare Energien von 1990-2004

Ergänzend zu den Emissionen wurden die durch EE vermiedenen direkten Brennstoffeinsätze bilanziert, wobei dies aus den elektrischen bzw. thermischen Nutzungsgraden und Heizwerten der eingesetzten Brenn- bzw. Kraftstoffe bestimmt wurde. Bei Pkw lagen die Daten bereits als Kraftstoffbedarfe vor. Das Ergebnis dieser Bilanzierung zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 31 Direkte Brennstoffvermeidung durch EE von 1990-2004

| Jahr | Braunkohle | Steinkohle | Ölprodukte | Erdgas | Summe |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 2004 | 77.242 | 52.671 | 48.321 | 35.840 | 214.075 |
| 2003 | 71.526 | 39.997 | 45.045 | 33.410 | 189.977 |
| 2002 | 78.023 | 31.906 | 39.541 | 29.698 | 179.167 |
| 2001 | 73.225 | 21.576 | 37.798 | 27.938 | 160.537 |
| 2000 | 76.449 | 18.514 | 36.064 | 26.667 | 157.695 |
| 1999 | 63.081 | 10.648 | 32.744 | 23.779 | 130.252 |
| 1998 | 56.533 | 8.685 | 32.769 | 23.571 | 121.558 |
| 1997 | 55.721 | 5.796 | 30.662 | 21.737 | 113.916 |
| 1996 | 54.994 | 4.224 | 16.522 | 12.180 | 87.920 |
| 1995 | 62.884 | 3.417 | 16.308 | 11.992 | 94.600 |
| 1994 | 58.834 | 1.816 | 9.699 | 6.836 | 77.185 |
| 1993 | 55.639 | 1.252 | 6.693 | 4.780 | 68.363 |
| 1992 | 54.586 | 435 | 6.432 | 4.462 | 65.915 |
| 1991 | 47.048 | 260 | 6.539 | 4.503 | 58.351 |
| 1990 | 50.483 | 75 | 6.429 | 4.377 | 61.364 |

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben in GWh/a

Weiterhin wurden die durch erneuerbare Energien vermiedenen fossilen *Primärenergien* berechnet, wozu auf Basis von GEMIS 4.4 die Brennstoffvorketten erfasst wurden und diese auch Vorkettenanteile im Ausland (z.B. OPEC-Ölförderung, Überseetransport) beinhalten¹¹. Die entsprechenden Gesamtbilanzen zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 32 Gesamte Vermeidung fossiler Primärenergien durch Erneuerbare in allen Sektoren von 1990-2004

| Jahr | Braunkohle | Steinkohle | Erdöl | Erdgas | Summe |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 2004 | 79.339 | 56.024 | 56.861 | 41.417 | 233.642 |
| 2003 | 73.467 | 42.543 | 53.015 | 38.666 | 207.692 |
| 2002 | 80.141 | 33.937 | 46.561 | 34.397 | 195.036 |
| 2001 | 75.213 | 22.949 | 44.537 | 32.415 | 175.114 |
| 2000 | 78.525 | 19.693 | 42.508 | 30.956 | 171.682 |
| 1999 | 64.794 | 11.325 | 38.611 | 27.643 | 142.372 |
| 1998 | 58.068 | 9.238 | 38.644 | 27.413 | 133.362 |
| 1997 | 57.234 | 6.165 | 36.162 | 25.293 | 124.854 |
| 1996 | 56.487 | 4.493 | 19.484 | 14.166 | 94.631 |
| 1995 | 64.591 | 3.634 | 19.235 | 13.952 | 101.411 |
| 1994 | 60.431 | 1.932 | 11.439 | 7.954 | 81.755 |
| 1993 | 57.149 | 1.331 | 7.895 | 5.562 | 71.937 |
| 1992 | 56.068 | 463 | 7.587 | 5.197 | 69.314 |
| 1991 | 48.325 | 277 | 7.715 | 5.246 | 61.563 |
| 1990 | 51.854 | 80 | 7.585 | 5.100 | 64.618 |

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.4; Angaben in GWh/a

Bei Stein- und Braunkohle sind die Unterschiede zwischen den eingesparten Brennstoffmengen und den entsprechenden Primärenergiemengen relativ gering, bei Erdöl und insbesondere Erdgas jedoch mit ca. 10% deutlich ausgeprägt.

Dies liegt an den aufwändigeren Bereitstellungssystemen für Öl und Erdgas, die z.T. beachtliche Anteile für Förderung und Aufbereitung sowie z.T. lange Transportentfernungen aufweisen.

¹¹ Bei Bedarf kann GEMIS auch zwischen der nationalen und globalen Bilanz differenzieren.

4 Folgerungen für die künftige Berechnung von Emissionsdaten im Rahmen der EEG-Berichterstattung und EE-Statistik

In diesem letzten Abschnitt wird kurz die im Rahmen der Arbeiten gemachten Erfahrungen und methodischen Überlegungen reflektiert und daraus Konsequenzen für die künftige Bilanzierung abgeleitet.

4.1 Brutto- versus Nettobilanzierung

Aus den Arbeiten zeigt sich, dass bei der Emissionsbilanzierung mit Daten des UBA eine gute Datenqualität erreicht wurde und die neu eingeführt „Nettobilanz“ das Ergebnis konsistenter als bisher macht, ohne bei den Treibhausgas- und Brennstoffbilanzen das Ergebnis stark zu beeinflussen. Bei den Luftschadstoffen ist die Nettobilanz aus systematischen Gründen notwendig und sollte daher künftig generell verwendet werden.

Jedoch wird das Ergebnis – wie bei der Wärme auch – durch die unterstellte Substitutionslogik deutlich geprägt. Die hier verwendete Logik nach ISI (2005) sollte aus unserer Sicht hinsichtlich der historischen Repräsentanz überprüft, mindestens aber für die künftige Bilanzierung nach dem Jahr 2004 weiter entwickelt und differenziert werden, da z.B. die geringen Grundlastanteile (Braunkohle) für Biomasse und Biogas und die geringen Gasanteile für Wind *sehr fraglich* erscheinen¹².

Bei der Wärme sollte eine generelle Substitutionslogik festgelegt werden – die hier vorgeschlagenen Varianten können dazu als Grundlage dienen.

Bei den erneuerbaren Kraftstoffen sind die Substitutionsfragen aufgrund der Stoffeigenschaften klar.

4.2 Direkte versus Gesamtbilanzierung

Bei der Stromerzeugung stellt sich kaum die Frage der (ausländischen) Vorketten, da diese bei den fossilen Brennstoffen nur relativ geringe Anteile aufweisen¹³.

¹² Sowohl (feste) Biomasse – derzeit insbesondere Altholz – als auch Biogas werden real überwiegend ganzjährig mit hoher Ausnutzung betrieben, stellen also typischerweise Grundlaststrom bereit.

¹³ Die Ausnahme ist hier das Erdgas, bei dem sowohl für SO₂-Äquivalente wie auch für CO₂-Äquivalente überdurchschnittlich hohe Auslandsanteile bestehen und diese künftig durch die Verschiebung des Gasaufkommens in Richtung Russland und LNG noch – relativ – weiter ansteigen werden (vgl. ÖKO 2005).

Bei der Wärme ist deutlich sichtbar, dass die *Gesamtemissionen* (inkl. Vorketten) vor allem bei Öl- und Gasheizungen (dort insbesondere SO₂-Äquivalente) *erheblich über* den direkten Emissionen liegen. Daher wird bei alleinigem Bezug auf die direkten Emissionen ein *zu Ungunsten der Erneuerbaren verzerrtes* Bild erzeugt.

Bei den biogenen Kraftstoffen erfolgt aus systematischen Gründen schon die Bilanzierung *inklusive der Vorketten* - was wie bei der Wärme hohe Ergebnisrelevanz aufweist.

Daher wird hier vorgeschlagen, künftig aus Konsistenzgründen die *Gesamtbilanzierung* (inkl. Vorketten) für *alle* Erneuerbaren durchzuführen und auch bei den substituierten fossilen Energieträgern die Vorketten einzubeziehen, da sonst die erneuerbaren Energieträger benachteiligt würden.

Die Vorkettenbilanzen sind mittlerweile gut belegt und gehen auch in die Gesamtenergiebilanzen z.B. der EnEV ein. Weiterhin werden sie im 2-Jahres-Rhythmus fortgeschrieben.

4.3 Statistische Erfassungs- und Detaillierungsfragen

Bei der *Stromerzeugung* sollte die statistische Erfassung der erneuerbaren Anteile und der jeweiligen Nutzungstechniken vor allem im Bereich der Bioenergie vertieft und in die UBA-ZSE-Datenbank eingepflegt werden.

Bei der *Wärmebereitstellung* sollte die statistische Erfassung der erneuerbaren Anteile vor 1997 auf Basis der AGEBA-Daten zur Satellitenbilanz für regenerative Energien komplettiert und ebenfalls eine – fortschreibbare - *Disaggregation der Nutzungstechniken* (Kamin- bzw. Einzelofen für Scheitholz, Pelletheizung, Holz-Hackschnitzel-Heizwerk usw.) erfolgen, damit die Umwelteffekte besser bilanziert werden können.

Bei den *Kraftstoffen* ist künftig auf die Unterscheidung zwischen EtOH aus Weizen, Roggen und Zuckerrüben sowie ggf. Biogas zu achten und perspektivisch auch die *Einbeziehung von Importen* (Palmöl, EtOH aus Brasilien usw.). Mittelfristig, d.h. nach 2010, sind zudem auch Biokraftstoffe der 2. Generation (lignozellulotisches EtOH, BtL) als relevante Energieträger einzubeziehen.

Literatur

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) 2005: Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland – Stand November 2005; Berlin/Köln (www.ag-energiebilanzen.de)
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2005: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand Juni 2005; Berlin (www.erneuerbare-energien.de)
- IE (Institut für Energetik und Umwelt) 2004: Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), Endbericht für BMU, Leipzig; sowie laufende Projekte zum Monitoring der BiomasseVO für UBA und BMU
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2001: Climate Change - The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge
- ISI (Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung) u.a. 2004: Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) - Anhang: Wärmegewinnung aus Biomasse; Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Karlsruhe usw.
- ISI (Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung) 2005: Gutachten zur CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien; Bericht für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) i.A. des ZSW, M. Klobasa/M. Ragwitz, Karlsruhe
- ÖKO (Öko-Institut) u.a. 2004: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Endbericht zum BMU-Vorhaben von Öko-Institut und Partnern für das BMU, Darmstadt usw. - siehe www.oeko.de/service/bio
- ÖKO (Öko-Institut) 2005: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3, Darmstadt usw. – siehe www.gemis.de
- ÖKO (Öko-Institut) 2006: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.4, Darmstadt usw. – siehe www.gemis.de (ab Ende Oktober)
- UBA (Umweltbundesamt) 2005: Deutsches Treibhausgasinventar 1990 – 2003 (Nationaler Inventarbericht 2005); Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt) 2006: Datenübermittlung aus der Datenbank ZSE, Stand April 2006, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt)/ÖKO (Öko-Institut) 2004: ProBas - Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementinstrumente; Internet-Datenbank update August 2004 - siehe www.probas.umweltbundesamt.de

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|---|
| AGEB | Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen |
| AGEE | Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik |
| BHKW | Block-Heizkraftwerk |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BtL | biomass-to-liquid (Fischer-Tropsch-Kraftstoffe aus Biomassevergasung) |
| DDGS | Distillers' Dried Grains Solubles |
| DT | Dampfturbine |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EnEV | Energieeinspar-Verordnung |
| EtOH | Ethanol |
| GEMIS | <u>G</u> lobales <u>E</u> missions- <u>M</u> odell <u>I</u> ntegrierter <u>S</u> ysteme |
| GFA | Großfeuerungsanlagen |
| GM | Gasmaschine bzw. Gasmotor |
| GT | Gasturbine |
| IE | Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ISI | Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe |
| IZES | Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken |
| KW | Kraftwerk |
| LNG | Liquefied Natural Gas |
| MVA | Müllverbrennungsanlage |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| PV | Photovoltaik |
| RME | Rapsölmethylester (=Biodiesel) |
| THP | Treibhauspotenzial |
| UBA | Umweltbundesamt |

Datenanhang

Tabelle A-1 Gesamte Emissionsfaktoren für die fossile Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2004

| g/kWh _{el} | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|---------------------|-----------------|-----------------|-------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|
| Braunkohle (Ost) | 0,39 | 0,68 | 0,02 | 0,52 | 0,01 | 1011,8 | 0,10 | 0,03 |
| Braunkohle (West) | 0,42 | 0,75 | 0,03 | 0,56 | 0,01 | 1124,8 | 0,10 | 0,04 |
| Steinkohle | 0,67 | 0,62 | 0,04 | 0,12 | 0,03 | 912,3 | 4,94 | 0,04 |
| Gas-DT | 0,02 | 0,52 | 0,02 | 0,18 | 0,04 | 526,9 | 1,33 | 0,01 |
| Gas-GT | 0,03 | 1,18 | 0,02 | 0,87 | 0,03 | 677,7 | 1,73 | 0,01 |
| Öl-DT | 1,11 | 0,62 | 0,07 | 0,38 | 0,19 | 768,1 | 0,23 | 0,03 |
| Biogas (brutto) | 0,58 | 2,30 | 0,11 | 1,08 | 0,17 | 228,0 | 0,28 | 0,03 |
| Biogas (netto) | 0,55 | 1,89 | 0,10 | 0,78 | 0,06 | -301,0 | -2,20 | 0,03 |
| Deponie/Klärgas | 0,03 | 0,81 | 0,02 | 0,16 | 0,02 | 0,0 | 0,02 | 0,02 |
| Grubengas | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 466,7 | 0,00 | 0,00 |
| Holz (Altholz A1-4) | 0,03 | 0,76 | 0,03 | 0,35 | 0,14 | 13,7 | 0,05 | 0,02 |
| Wasser | 0,01 | 0,08 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 38,5 | 0,04 | 0,00 |
| Wind | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 22,6 | 0,04 | 0,00 |
| PV-mono | 0,21 | 0,21 | 0,10 | 0,58 | 0,01 | 152,4 | 0,36 | 0,00 |
| PV-multi | 0,16 | 0,13 | 0,06 | 0,25 | 0,01 | 110,9 | 0,21 | 0,00 |

Quelle: eigene Berechnungen nach GEMIS 4.4

Tabelle A-2 Direkte Emissionsfaktoren für die Wärmebereitstellung durch Brennstoffe von 1995-2004 (g/kWh_{input})

| Jahr 2004 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,34 | 0,24 | 0,15 | 0,01 | 0,08 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,08 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,80 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,07 | 0,89 | 0,26 | 0,29 | 12,47 | 0,72 | 362,0 | 349,2 | 0,351 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 12,77 | 1,01 | 11,0 | 0,0 | 0,411 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,19 | 0,10 | 0,14 | 0,05 | 1,45 | 0,11 | 204,4 | 202,8 | 0,046 | 0,002 |
| Holz-Pellets (GEMIS) | 0,31 | 0,11 | 0,29 | 0,06 | 0,24 | 0,06 | 1,9 | 0,0 | 0,012 | 0,005 |

| Jahr 2003 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,34 | 0,24 | 0,15 | 0,01 | 0,08 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,74 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,08 | 0,89 | 0,26 | 0,29 | 12,58 | 0,73 | 362,0 | 349,2 | 0,354 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 12,88 | 1,01 | 11,1 | 0,0 | 0,414 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,20 | 0,11 | 0,14 | 0,05 | 1,47 | 0,11 | 207,0 | 205,4 | 0,047 | 0,002 |

| Jahr 2002 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NM VOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,34 | 0,24 | 0,15 | 0,01 | 0,08 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,68 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,08 | 0,90 | 0,26 | 0,29 | 12,68 | 0,74 | 371,8 | 358,9 | 0,357 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 12,99 | 1,02 | 11,2 | 0,0 | 0,418 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,23 | 0,13 | 0,14 | 0,05 | 1,60 | 0,10 | 210,5 | 208,8 | 0,050 | 0,002 |

Fortsetzung...Direkte Emissionsfaktoren für die Wärmebereitstellung durch Brennstoffe von 1995-2004 (g/kWh_{input})

| Jahr 2001 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,34 | 0,24 | 0,15 | 0,01 | 0,08 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,61 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,09 | 0,91 | 0,26 | 0,29 | 12,79 | 0,74 | 371,9 | 358,9 | 0,360 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,10 | 1,03 | 11,3 | 0,0 | 0,422 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,23 | 0,13 | 0,14 | 0,05 | 1,57 | 0,10 | 212,7 | 211,0 | 0,049 | 0,002 |

| Jahr 2000 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,35 | 0,24 | 0,16 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,55 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,09 | 0,91 | 0,26 | 0,30 | 12,90 | 0,75 | 372,0 | 358,9 | 0,363 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,21 | 1,04 | 11,4 | 0,0 | 0,425 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,23 | 0,13 | 0,14 | 0,04 | 1,57 | 0,10 | 212,0 | 210,3 | 0,049 | 0,002 |

| Jahr 1999 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,35 | 0,24 | 0,16 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,60 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,10 | 0,92 | 0,26 | 0,30 | 13,01 | 0,76 | 372,0 | 358,9 | 0,366 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,32 | 1,05 | 11,5 | 0,0 | 0,429 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,23 | 0,13 | 0,15 | 0,04 | 1,57 | 0,10 | 212,8 | 211,2 | 0,049 | 0,002 |

Fortsetzung...Direkte Emissionsfaktoren für die Wärmebereitstellung durch Brennstoffe von 1995-2004 (g/kWh_{input})

| Jahr 1998 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,35 | 0,24 | 0,16 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,65 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,10 | 0,92 | 0,26 | 0,30 | 13,11 | 0,76 | 372,1 | 358,9 | 0,369 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,43 | 1,06 | 11,5 | 0,0 | 0,432 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,24 | 0,14 | 0,15 | 0,04 | 1,44 | 0,09 | 216,6 | 215,0 | 0,045 | 0,002 |

| Jahr 1997 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,35 | 0,24 | 0,16 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,09 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,70 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,06 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,11 | 0,93 | 0,26 | 0,30 | 13,22 | 0,77 | 372,9 | 359,6 | 0,372 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,54 | 1,07 | 11,6 | 0,0 | 0,436 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,26 | 0,15 | 0,15 | 0,04 | 1,48 | 0,09 | 219,6 | 218,0 | 0,046 | 0,002 |

| Jahr 1996 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,35 | 0,24 | 0,16 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,10 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,75 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,05 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,11 | 0,93 | 0,26 | 0,31 | 13,33 | 0,77 | 373,3 | 360,0 | 0,375 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,65 | 1,07 | 11,7 | 0,0 | 0,439 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,27 | 0,16 | 0,15 | 0,04 | 1,34 | 0,08 | 225,7 | 224,1 | 0,040 | 0,002 |

Fortsetzung...Direkte Emissionsfaktoren für die Wärmebereitstellung durch Brennstoffe von 1995-2004 (g/kWh_{input})

| Jahr 1995 | SO ₂ -Äq. | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ -Äq. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,42 | 0,31 | 0,17 | 0,01 | 0,09 | 0,00 | 266,7 | 266,4 | 0,000 | 0,001 |
| Erdgas | 0,10 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 202,0 | 201,6 | 0,004 | 0,001 |
| Steinkohle-Brikett | 2,15 | 2,02 | 0,19 | 0,80 | 15,29 | 0,53 | 369,7 | 334,8 | 1,055 | 0,036 |
| Steinkohle-Koks | 1,99 | 1,84 | 0,22 | 0,05 | 23,27 | 0,03 | 379,4 | 378,0 | 0,026 | 0,003 |
| Braunkohle-Brikett | 1,12 | 0,94 | 0,26 | 0,31 | 13,44 | 0,78 | 373,4 | 360,0 | 0,378 | 0,016 |
| Scheitholz | 0,15 | 0,02 | 0,18 | 0,42 | 13,76 | 1,08 | 11,8 | 0,0 | 0,443 | 0,005 |
| Mittelwert Wärme UBA | 0,31 | 0,21 | 0,15 | 0,04 | 1,49 | 0,08 | 226,9 | 225,2 | 0,044 | 0,002 |

Quelle: UBA (2006); Mittelwert für Wärme nach eigenen Berechnungen

Tabelle A-3 Gesamte Emissionsfaktoren für die Wärmebereitstellung in Deutschland im Jahr 2000

| [g/kWh _{input}] | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | NMVOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-------|-----------------|-----------------|------------------|
| Heizöl | 0,441 | 0,204 | 0,023 | 0,184 | 0,075 | 316,4 | 0,102 | 0,004 |
| Erdgas | 0,013 | 0,177 | 0,007 | 0,130 | 0,049 | 226,0 | 1,056 | 0,002 |
| Steinkohle-Brikett | 1,984 | 0,250 | 0,815 | 12,675 | 0,535 | 364,5 | 3,025 | 0,038 |
| Steinkohle-Koks | 1,994 | 0,462 | 0,062 | 22,367 | 0,032 | 339,6 | 2,714 | 0,005 |
| Braunkohle-Brikett. | 0,323 | 0,390 | 0,411 | 12,599 | 0,817 | 437,9 | 0,399 | 0,037 |
| Scheitholz | 0,033 | 0,213 | 0,143 | 12,793 | 1,016 | 10,1 | 0,426 | 0,006 |
| Holz-Pellets | 0,142 | 0,369 | 0,068 | 0,293 | 0,071 | 30,7 | 0,109 | 0,006 |
| Solarthermie | 0,114 | 0,126 | 0,041 | 0,194 | 0,018 | 42,6 | 0,107 | 0,002 |
| Geothermie | 0,014 | 0,028 | 0,006 | 0,060 | 0,001 | 19,1 | 0,044 | 0,001 |

Quelle: eigene Berechnungen nach GEMiS 4.4

Tabelle A-4 Direkte Emissionsfaktoren für Pkw mit Ottomotoren (Benzin) in Deutschland von 1990-2004

| in g/kWh _{input} | SO ₂ | NO _x | Staub* | CO | NM VOC | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|---------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 0,001 | 0,409 | 0,000 | 4,527 | 0,244 | 259,2 | 0,023 | 0,008 |
| 2003 | 0,001 | 0,453 | 0,000 | 4,901 | 0,276 | 259,2 | 0,025 | 0,009 |
| 2002 | 0,004 | 0,515 | 0,000 | 5,191 | 0,326 | 259,2 | 0,029 | 0,009 |
| 2001 | 0,009 | 0,589 | 0,000 | 5,587 | 0,384 | 259,2 | 0,033 | 0,010 |
| 2000 | 0,012 | 0,647 | 0,000 | 6,043 | 0,420 | 259,2 | 0,036 | 0,010 |
| 1999 | 0,025 | 0,770 | 0,000 | 6,655 | 0,532 | 259,2 | 0,044 | 0,011 |
| 1998 | 0,028 | 0,887 | 0,000 | 7,345 | 0,667 | 259,2 | 0,053 | 0,011 |
| 1997 | 0,030 | 1,008 | 0,000 | 8,003 | 0,779 | 259,2 | 0,060 | 0,011 |
| 1996 | 0,030 | 1,142 | 0,000 | 8,759 | 0,916 | 259,2 | 0,068 | 0,011 |
| 1995 | 0,030 | 1,268 | 0,000 | 9,498 | 1,036 | 259,2 | 0,074 | 0,011 |
| 1994 | 0,030 | 1,270 | 0,000 | 9,650 | 1,045 | 259,2 | 0,075 | 0,012 |
| 1993 | 0,030 | 1,272 | 0,000 | 9,803 | 1,054 | 259,2 | 0,075 | 0,014 |
| 1992 | 0,030 | 1,274 | 0,000 | 9,955 | 1,063 | 259,2 | 0,075 | 0,015 |
| 1991 | 0,030 | 1,276 | 0,000 | 10,108 | 1,073 | 259,2 | 0,076 | 0,017 |
| 1990 | 0,031 | 1,278 | 0,000 | 10,260 | 1,082 | 259,2 | 0,076 | 0,018 |

Quelle: UBA (2006); *= PM 2,5

Tabelle A-5 Direkte Emissionsfaktoren für Pkw mit Dieselmotoren in Deutschland von 1990-2004

| in g/kWh _{input} | SO ₂ | NO _x | Staub* | CO | NMVOG | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|---------------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 0,001 | 0,834 | 0,068 | 0,485 | 0,089 | 266,4 | 0,002 | 0,007 |
| 2003 | 0,001 | 0,863 | 0,074 | 0,497 | 0,091 | 266,4 | 0,002 | 0,007 |
| 2002 | 0,007 | 0,878 | 0,082 | 0,509 | 0,093 | 266,4 | 0,002 | 0,006 |
| 2001 | 0,042 | 0,893 | 0,091 | 0,528 | 0,096 | 266,4 | 0,002 | 0,006 |
| 2000 | 0,050 | 0,891 | 0,101 | 0,539 | 0,097 | 266,4 | 0,002 | 0,004 |
| 1999 | 0,055 | 0,882 | 0,107 | 0,550 | 0,099 | 266,4 | 0,002 | 0,004 |
| 1998 | 0,060 | 0,864 | 0,116 | 0,563 | 0,101 | 266,4 | 0,002 | 0,002 |
| 1997 | 0,067 | 0,843 | 0,128 | 0,576 | 0,103 | 266,4 | 0,003 | 0,002 |
| 1996 | 0,101 | 0,822 | 0,133 | 0,585 | 0,104 | 266,4 | 0,003 | 0,001 |
| 1995 | 0,218 | 0,809 | 0,139 | 0,594 | 0,106 | 266,4 | 0,003 | 0,000 |
| 1994 | 0,220 | 0,867 | 0,147 | 0,649 | 0,114 | 266,4 | 0,003 | 0,002 |
| 1993 | 0,223 | 0,925 | 0,155 | 0,705 | 0,122 | 266,4 | 0,003 | 0,004 |
| 1992 | 0,225 | 0,982 | 0,163 | 0,760 | 0,130 | 266,4 | 0,003 | 0,007 |
| 1991 | 0,228 | 1,040 | 0,170 | 0,816 | 0,138 | 266,4 | 0,003 | 0,009 |
| 1990 | 0,230 | 1,098 | 0,178 | 0,871 | 0,146 | 266,4 | 0,004 | 0,011 |

Quelle: UBA (2006); *= PM 2,5

Tabelle A-6 Gesamte Emissionsfaktoren für Pkw mit Ottomotoren (Benzin) in Deutschland von 1990-2004

| g/kWh _{input} | SO ₂ -Äquiv. | SO ₂ | NO _x | Staub*** | CO | NM VOC | CO ₂ -Äquiv. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------|--------|--------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 0,564 | 0,192 | 0,534 | 0,015 | 4,578 | 0,796 | 319,3 | 314,0 | 0,105 | 0,010 |
| 2003 | 0,594 | 0,192 | 0,579 | 0,015 | 4,953 | 0,828 | 319,5 | 314,0 | 0,108 | 0,010 |
| 2002 | 0,641 | 0,194 | 0,641 | 0,015 | 5,243 | 0,878 | 319,8 | 314,0 | 0,111 | 0,011 |
| 2001 | 0,697 | 0,199 | 0,715 | 0,015 | 5,639 | 0,936 | 320,1 | 314,0 | 0,116 | 0,011 |
| 2000 | 0,740 | 0,202 | 0,773 | 0,015 | 6,094 | 0,972 | 320,2 | 314,0 | 0,118 | 0,012 |
| 1999 | 0,839 | 0,215 | 0,896 | 0,015 | 6,707 | 1,084 | 320,6 | 314,0 | 0,126 | 0,012 |
| 1998 | 0,923 | 0,218 | 1,012 | 0,015 | 7,397 | 1,219 | 320,9 | 314,0 | 0,135 | 0,013 |
| 1997 | 1,009 | 0,220 | 1,134 | 0,015 | 8,055 | 1,331 | 321,1 | 314,0 | 0,142 | 0,013 |
| 1996 | 1,103 | 0,220 | 1,268 | 0,015 | 8,810 | 1,468 | 321,3 | 314,0 | 0,150 | 0,013 |
| 1995 | 1,190 | 0,220 | 1,394 | 0,015 | 9,549 | 1,588 | 321,3 | 314,0 | 0,156 | 0,012 |
| 1994** | 1,192 | 0,221 | 1,396 | 0,015 | 9,702 | 1,597 | 321,7 | 314,0 | 0,157 | 0,014 |
| 1993** | 1,193 | 0,221 | 1,398 | 0,015 | 9,854 | 1,606 | 322,1 | 314,0 | 0,157 | 0,015 |
| 1992** | 1,195 | 0,221 | 1,400 | 0,015 | 10,007 | 1,615 | 322,6 | 314,0 | 0,158 | 0,017 |
| 1991** | 1,196 | 0,221 | 1,402 | 0,015 | 10,159 | 1,625 | 323,0 | 314,0 | 0,158 | 0,018 |
| 1990* | 1,198 | 0,221 | 1,404 | 0,015 | 10,312 | 1,634 | 323,4 | 314,0 | 0,158 | 0,020 |

Quelle: eigene Berechnungen nach GEMIS 4.4; *= eigene Schätzung; **= interpoliert 1990....1995; ***= PM 2,5

Tabelle A-7 Gesamte Emissionsfaktoren für Pkw mit Dieselmotoren in Deutschland von 1990-2004

| g/kWh _{input} | SO ₂ -Äquiv. | SO ₂ | NO _x | Staub*** | CO | NMVOC | CO ₂ -Äquiv. | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------|-------|-------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 2004 | 0,812 | 0,156 | 0,943 | 0,081 | 0,530 | 0,158 | 310,9 | 306,6 | 0,079 | 0,008 |
| 2003 | 0,832 | 0,156 | 0,972 | 0,087 | 0,543 | 0,160 | 310,8 | 306,6 | 0,079 | 0,008 |
| 2002 | 0,848 | 0,161 | 0,987 | 0,096 | 0,555 | 0,162 | 310,6 | 306,6 | 0,079 | 0,007 |
| 2001 | 0,893 | 0,196 | 1,002 | 0,105 | 0,574 | 0,165 | 310,4 | 306,6 | 0,079 | 0,007 |
| 2000 | 0,901 | 0,205 | 1,000 | 0,114 | 0,584 | 0,166 | 310,0 | 306,6 | 0,079 | 0,005 |
| 1999 | 0,900 | 0,210 | 0,991 | 0,121 | 0,596 | 0,168 | 309,8 | 306,6 | 0,079 | 0,005 |
| 1998 | 0,892 | 0,215 | 0,973 | 0,129 | 0,609 | 0,170 | 309,5 | 306,6 | 0,079 | 0,004 |
| 1997 | 0,884 | 0,221 | 0,952 | 0,142 | 0,621 | 0,172 | 309,2 | 306,6 | 0,079 | 0,003 |
| 1996 | 0,903 | 0,255 | 0,931 | 0,147 | 0,630 | 0,174 | 309,0 | 306,6 | 0,079 | 0,002 |
| 1995 | 1,011 | 0,372 | 0,918 | 0,153 | 0,639 | 0,176 | 308,8 | 306,6 | 0,079 | 0,001 |
| 1994** | 1,054 | 0,375 | 0,976 | 0,160 | 0,695 | 0,184 | 309,5 | 306,6 | 0,080 | 0,003 |
| 1993** | 1,097 | 0,377 | 1,034 | 0,168 | 0,750 | 0,191 | 310,1 | 306,6 | 0,080 | 0,006 |
| 1992** | 1,139 | 0,380 | 1,091 | 0,176 | 0,806 | 0,199 | 310,7 | 306,6 | 0,080 | 0,008 |
| 1991** | 1,182 | 0,382 | 1,149 | 0,184 | 0,861 | 0,207 | 311,3 | 306,6 | 0,080 | 0,010 |
| 1990* | 1,225 | 0,385 | 1,207 | 0,192 | 0,917 | 0,215 | 312,0 | 306,6 | 0,080 | 0,012 |

Quelle: eigene Berechnungen nach GEMIS 4.4 ; *= eigene Schätzung; **= interpoliert 1990....1995; ***= PM 2,5