

Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger

Durch Einsatz erneuerbarer Energien
vermiedene Emissionen im Jahr 2007

Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger

**Durch Einsatz erneuerbarer Energien
vermiedene Emissionen im Jahr 2007**

von

Michael Memmler

Elke Mohrbach

Sven Schneider

Marion Dreher

Reinhard Herbener

Umweltbundesamt

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
[http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-
medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3761](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3761)
verfügbar.

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Email: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 2.5
Michael Memmler, Marion Dreher

Dessau-Roßlau, Oktober 2009

Vorbemerkung

Dieser Bericht entstand im Rahmen der Arbeiten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energienstatistik (AGEE-Stat) als Beitrag des Umweltbundesamtes.

Eine elektronische Fassung dieses Berichts einschließlich der Anhänge zur Emissionsbilanzierung im Strom- und Wärmesektor werden in der Endfassung auf der Internetseite des Umweltbundesamtes bereitgestellt: <http://www.umweltbundesamt.de/>

Die Emissionsbilanzierung wurde nach derzeitigem Stand des Wissens durchgeführt. Eine Anpassung an neue Erkenntnisse ist in regelmäßigen Abständen geplant. Sachgerechte Kritik und methodische Anmerkungen sind daher ausdrücklich erwünscht.

Autoren

Federführung Gesamtbericht: Michael Memmler, Marion Dreher (UBA I 2.5)

Für die einzelnen Kapitel:

Zusammenfassung	Marion Dreher
Kapitel 1, 2.3, 2.5, 4.2, 5.2, 6.2, 7, 8	Michael Memmler
Kapitel 2.1-2.2, 4.1, 5.1, 6.1	Elke Mohrbach
Kapitel 2.4, 3, 4.3, 5.3, 6.3, 6.4	Sven Schneider

Unter Beteiligung von Reinhard Herbener (UBA I 2.3)

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau, Deutschland

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	8
1 Einführung und Zielsetzung	9
2 Methodik	12
2.1 Arbeitsschritte der Bilanzierung.....	12
2.2 Besondere Aspekte zur Methodik für Strom.....	13
2.3 Besondere Aspekte zur Methodik für Wärme.....	14
2.4 Besondere Aspekte zur Methodik für Verkehr.....	14
2.5 Unsicherheiten aufgrund von Datenlücken.....	15
3 Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2007	17
4 Durch erneuerbare Energien substituierte fossile Energien	19
4.1 Stromsektor.....	19
4.2 Wärmesektor.....	22
4.3 Verkehrssektor.....	27
5 Emissionen der verschiedenen Energiebereitstellungsketten	28
5.1 Erneuerbare Energien im Stromsektor.....	28
5.1.1 Stand des Wissens, Datenquellen.....	28
5.1.2 Dokumentation und Begründung der verwendeten Emissionsfaktoren.....	29
5.2 Erneuerbare Energien im Wärmesektor.....	33
5.2.1 Stand des Wissens, Datenquellen.....	33
5.2.2 Dokumentation und Begründung der verwendeten Emissionsfaktoren.....	34
5.3 Erneuerbare Energien im Verkehrssektor.....	38
5.3.1 Stand des Wissens, Datenquellen.....	38
5.3.2 Dokumentation und Begründung der verwendeten Emissionsfaktoren.....	40
5.4 Qualität und Unsicherheit der verwendeten Emissionsfaktoren.....	46
6 Ergebnisse der Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien	48
6.1 Stromsektor.....	48
6.2 Wärmesektor.....	52
6.3 Verkehrssektor.....	55
6.4 Gesamtüberblick zu den Ergebnissen.....	57
7 Rückrechnung und Fortschreibung der Emissionsbilanzen	59
8 Fazit und Ausblick	62
Literatur	64
Datenanhang	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beitrag erneuerbarer Energien zur Endenergiebereitstellung 2007 (BMU 2008a)	18
Tabelle 2:	Vergleich der Substitutionsfaktoren für erneuerbare Energieträger für 2003 (Klobasa et al. 2005) sowie für 2006 und 2007 (Klobasa et al. 2009) (in %)	21
Tabelle 3:	Struktur fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme(in %).....	22
Tabelle 4:	Substitutionsbeziehungen erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (in %)	26
Tabelle 5:	Datenquellen der verwendeten Emissionsfaktoren mit und ohne Vorketten im Stromsektor.....	32
Tabelle 6:	Datenquellen der verwendeten Emissionsfaktoren mit und ohne Vorketten im Wärmesektor.....	37
Tabelle 7:	Anteile einzelner Rohstoffe an der gesamten Biokraftstoffverwendung in Deutschland im Jahr 2007 (in %)	42
Tabelle 8:	Biodiesel –Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ).....	44
Tabelle 9:	Pflanzenöl – Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ).....	44
Tabelle 10:	Bioethanol – Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ).....	45
Tabelle 11:	Benzin und Diesel – Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ)	45
Tabelle 12:	Treibhausgas-minderungen durch Substitution fossiler durch biogene Kraftstoffe 2007 (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ).....	46
Tabelle 13:	Überblick zu den Unsicherheiten der verwendeten Emissionsfaktoren	47
Tabelle 14:	Beitrag aller erneuerbaren Strombereitstellungspfade zur Vermeidung ausgewählter Luftschadstoffe 2007	50
Tabelle 15:	Vermeidung von CO ₂ -Emissionen mit und ohne Berücksichtigung der Vorketten durch einzelne erneuerbaren Stromerzeugungsoptionen 2007	51
Tabelle 16:	Beitrag aller erneuerbaren Wärmebereitstellungspfade zur Vermeidung ausgewählter Luftschadstoffe 2007	53
Tabelle 17:	Vermeidung von CO ₂ -Emissionen mit und ohne Berücksichtigung der Vorketten durch einzelne erneuerbare Wärmebereitstellungsketten.....	54
Tabelle 18:	Emissionsfaktoren und Emissionsfrachten von biogenen und konventionellen Kraftstoffen im Jahr 2007 (nur direkte Emissionen)	56
Tabelle 19:	Vermeidung von Treibhausgasen mit und ohne Berücksichtigung der Vorketten durch einzelne erneuerbare Kraftstoffe 2007	57
Tabelle 20:	Vergleichender Überblick zu den vermiedenen CO ₂ -Emissionen und den vermiedenen THG-Emissionen im Jahr 2007.....	58
Tabelle 21:	Vorgeschlagenes Verfahren zur Rück- bzw. Fortschreibung der Emissionsbilanzen im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007	28
Abbildung 2:	Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007 (BMU 2008a)...	33
Abbildung 3:	Veränderung der Emissionsfaktoren für Brennholz-Einzelfeuerungen	35
Abbildung 4:	Struktur der Kraftstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007.....	38
Abbildung 5:	Vermeidung von CO ₂ - und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien im Stromsektor für das Jahr 2007.....	48
Abbildung 6:	Vermeidung von CO ₂ - und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien im Wärmemarkt in 2007.....	52
Abbildung 7:	Vermeidung von CO ₂ - und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehrssektor in 2007.....	55
Abbildung 8:	Gesamte Vermeidung von CO ₂ - und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien in 2007	58

Glossar

Aktivitätsrate

Die pro Kalenderjahr eingesetzte Menge eines Stoffes, welche zu Emissionen führt, wird als Aktivitätsrate bezeichnet.

Allokation

Allokation bezeichnet die Aufteilung von Kenngrößen (z.B. Energiebedarf, Emissionen, Kosten) eines Prozesses auf mehrere von ihm bereitgestellte Haupt- und Nebenprodukte nach einer bestimmten Regel.

siehe auch → finnische Allokation

CH₄

Methan (CH₄) ist ein ungiftiges, farb- und geruchloses Gas. Nach Kohlendioxid (→CO₂) ist es das bedeutendste von Menschen freigesetzte → Treibhausgas. Nach IPCC (1995) ist es ca. 21-mal stärker klimawirksam als CO₂, allerdings kommt es in deutlich kleineren Mengen in der Atmosphäre vor.

CO₂

Kohlendioxid (CO₂) ist ein farb- und geruchloses Gas, das natürlicher Bestandteil der Atmosphäre ist. Als Abfallprodukt der Energiegewinnung entsteht Kohlendioxid vor allem bei der vollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Kohlendioxid ist das wichtigste unter den klimarelevanten atmosphärischen Spurengasen.

siehe auch → Treibhausgas, → CH₄, → N₂O

CO₂-Äquivalent

Einheitliche Bemessungsgrundlage, um den Beitrag der anderen Treibhausgase in Bezug zum Erwärmungspotenzial von CO₂ zu setzen. Die in diesem Bericht verwendeten Äquivalenzfaktoren folgen den für die nationale Emissionsberichterstattung in UNFCCC (2004) vorgegebenen Werten aus IPCC (1995).

siehe auch → Treibhausgas, → CH₄, → N₂O

Direkte Emissionen

Direkte Emissionen beschreiben die → Emissionen, die direkt mit dem Anlagenbetrieb verbunden sind, z.B. bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern oder Biomasse in einer Feuerungsanlage. Synonym wird auch der Begriff Emissionen → ohne Vorketten gebraucht.

Siehe auch: → indirekte Emissionen

Ecoinvent

Umfangreiche Online-Datenbank des Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Emissionen

Freisetzung von Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen in die Atmosphäre. In der Regel als Emissionsfrachten über einem bestimmten Gebiet und in einem bestimmten Zeitraum angegeben.

siehe auch: → direkte ~, → indirekte ~, → Gesamt~, → mit Vorketten, → ohne Vorketten

Emissionsfaktor (EF)

Der Emissionsfaktor entspricht dem Quotient aus der Masse eines emittierten Stoffes und der eingesetzten Masse eines Ausgangsstoffes. Neben dieser traditionell inputbezogenen Betrachtung (g/kWh Endenergie) kann der Emissionsfaktor aber auch auf den Produktausstoß bezogen werden (g/kWh_{ei}). Emissionsfaktoren sind zudem immer prozess- und anlagenspezifisch.

Endenergieverbrauch (EEV)

Der Endenergieverbrauch ist die Summe der vom Verbraucher eingesetzten Primär- und Sekundärenergieträger zur unmittelbaren Erzeugung von Nutzenergie nach Abzug von Umwandlungs- und Verteilungsverlusten.

Energieträger

Als Energieträger werden alle Quellen bzw. Stoffe bezeichnet, in denen Energie mechanisch, thermisch, chemisch oder physikalisch gespeichert ist. Des Weiteren ist zu unterscheiden zwischen → Primärenergie und → Sekundärenergieträger.

Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien sind Ressourcen, deren Vorräte nicht durch Lagerstätten begrenzt sind, sondern ständig nachgeliefert bzw. neugebildet werden. Zu ihnen gehören Wasserkraft einschließlich der Wellen-, Gezeiten-, Salzgradienten- und Strömungsenergie, Windenergie, solare Strahlungsenergie, Geothermie, Energie aus Biomasse einschließlich Biogas, Depo-niegas und Klärgas sowie aus dem biologisch abbaubaren Anteil von Abfällen aus Haushalten und Industrie (vgl. EEG §3 Nr. 3).

Finnische Allokation

Mit diesem Verfahren werden Brennstoffeinsätze und resultierende Emissionen von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf die Einzelprodukte Strom und Wärme aufgeteilt. Die gegenüber einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung erzielte Einsparung an → Primärenergie wird hierbei zu gleichen Teilen den produzierten Einheiten Strom und Wärme zugerechnet. Zu diesem Zweck hat die Europäische Kommission einheitliche Wirkungsgrad-Referenzwerte für die getrennte Strom- und Wärmeerzeugung festgelegt (Entscheidung *K(2006) 6817*, Amtsblatt der Europäischen Union L 32/183ff., 06.02.2007).

Gesamtemissionen

Die Gesamtemissionen einzelner Energiebereitstellungsketten ergeben sich aus der Summe der → direkten und → indirekten Emissionen inklusive der → Vorketten. Synonym wird der Begriff Emissionen → mit Vorketten gebraucht.

Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)

Vom Öko-Institut entwickeltes Programm mit umfangreicher Datenbasis als Instrument zur vergleichenden Analyse von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und -nutzung GEMIS wurde seit 1987 kontinuierlich fortentwickelt und aktualisiert. Die aktuelle Version ist GEMIS 4.5.

Heizwert (unterer)

Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung einer definierten Masse Brennstoff frei wird, wenn der im Verbrennungsprodukt enthaltene Wasseranteil als Wasserdampf vorliegt. Im Gegensatz zum oberen Heizwert oder Brennwert wird hierbei eine mögliche Wärmerückgewinnung durch Kondensation des Wasserdampfs im Abgas nicht berücksichtigt.

Indirekte Emissionen

Indirekte (auch vorgelagerte) Emissionen beinhalten die → Emissionen, die außerhalb des direkten Anlagenbetriebes, insbesondere bei der Anlagenherstellung und der Energieträgerbereitstellung (z.B. beim Biomasseanbau), auftreten.

siehe auch: → mit Vorketten, → ohne Vorketten, → Gesamtemissionen

mit Vorketten (Emissionen)

Die → Emissionen mit Vorketten beschreiben die Summe der Emissionen direkt aus dem Anlagenbetrieb und indirekt aus den Vorketten (Anlagenherstellung, Energieträgerbereitstellung etc.). Synonym dazu sind die → Gesamtemissionen.

N₂O

N₂O (Distickstoffoxid / Lachgas) ist ein farbloses Gas aus der Gruppe der Stickoxide. Neben Kohlendioxid (→CO₂) und Methan (→CH₄) ist es als direkt klimawirksames Gas relevant. Nach IPCC (1995) ist es 310-mal so stark klimawirksam wie Kohlendioxid, kommt allerdings in deutlich kleineren Mengen in der Atmosphäre vor. Die bedeutendste anthropogene Quelle von Distickstoffoxid-Emissionen ist der landwirtschaftliche Einsatz von Stickstoffdüngemitteln.

siehe auch →Treibhausgase

Nutzenergie

Unter Nutzenergie ist diejenige Form von Energie zu verstehen, die für den Energieanwender unmittelbar die Erfüllung einer Energiedienstleistung bewirkt. Mögliche Formen der Nutzenergie sind unter anderem mechanische Energie, Wärme, Kälte, Licht. Nutzenergie wird in der Regel durch Umwandlung von Endenergie gewonnen, z. B. in einem Ofen.

ohne Vorketten (Emissionen)

Emissionen ohne Vorketten umfassen lediglich die → direkten Emissionen des Anlagenbetriebs, z.B. bei der Verbrennung fossiler oder biogener Brennstoffe. Synonym dazu sind die → direkten Emissionen.

siehe auch: → mit Vorketten, → Gesamtemissionen

Primärenergie

Energie, die mit den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energiequellen zur Verfügung steht, wie etwa Kohle, Gas, Öl oder als Sonne, Wind, Fließwasser, Erdwärme.

siehe auch → Energieträger

Säurebildende Schadstoffe

Umfasst die Luftschadstoffe Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Ammoniak (NH₃). Diese vier Stoffe sind mitverantwortlich für die Versauerung, die Bodeneutrophierung und die Bildung troposphärischen Ozons.

Sekundärenergieträger

Sekundärenergieträger werden durch einen oder mehrere Umwandlungsschritte aus Primärenergie gewonnen. Dabei fallen zwangsläufig Umwandlungs- und Verteilungsverluste an. Die wichtigsten Sekundärenergieträger sind Strom, Fernwärme, Heizöl und Benzin.

Substitution

Substitution bezeichnet den Ersatz eines Energieträgers durch einen anderen.

Substitutionsfaktor (SF)

Ein Substitutionsfaktor beschreibt, in welchem Maße bestimmte Energieträger durch einen anderen Energieträger ersetzt werden. In diesem Bericht beschreiben die Substitutionsfaktoren insbesondere den Ersatz fossiler → Primär- und Sekundärenergieträger durch → erneuerbare Energien.

Treibhausgase (THG)

Treibhausgase sind atmosphärische Spurengase, die zum Treibhauseffekt beitragen und sowohl einen natürlichen als auch einen anthropogenen Ursprung haben können. Die wichtigsten Treibhausgase sind Kohlendioxid (→ CO₂), Methan (→ CH₄) und Distickstoffoxid (→ N₂O / Lachgas).

Vorketten

Vorgelagerte Prozesse der Gewinnung, Bereitstellung und Verarbeitung von Materialien und Brennstoffen, die zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Energieerzeugung benötigt werden.

Zentrales System Emissionen (ZSE)

Am Umweltbundesamt geführte Datenbank zur Emissionsberichterstattung nach UNFCCC und nach dem Genfer Luftreinhalteprotokoll. Die Datenbank enthält insbesondere sektor- und anlagenspezifische Angaben zu → Aktivitätsraten, → Emissionsfaktoren und resultierenden → Emissionen.

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt wurde im Juli 2007 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beauftragt, die bisher vorliegenden Emissionsbilanzen erneuerbarer Energieträger zu aktualisieren, weiterzuentwickeln und die Netto-Emissionsbilanz der erneuerbaren Energieträger auf eine verlässliche Basis zu stellen.

Der vorliegende Bericht beinhaltet die methodischen Ansätze im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor, die herangezogenen Datenquellen sowie die Ergebnisse der überarbeiteten Emissionsbilanzierung für die erneuerbaren Energien für das Jahr 2007. Darüber hinaus wird das Verfahren zur Fortschreibung der Emissionsbilanzen skizziert.

In methodischer Hinsicht sind umfangreiche Änderungen gegenüber den bisherigen Berechnungen der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik zu verzeichnen. So werden neben den direkt vermiedenen Emissionen erstmals auch die Emissionen aus der Bereitstellung der verschiedenen Energieträger (sogenannte Vorketten) in der Berechnung berücksichtigt. Darüber hinaus werden neue Erkenntnisse zu den Substitutionsbeziehungen im Strom- und im Wärmesektor aufgegriffen (Klobasa et al. 2009; Frondel et al. 2008). Im Bereich der Biokraftstoffe ist zudem der verwendete Allokationsansatz an europäische Standards angepasst worden.

Die zur Ableitung von Emissionsfaktoren verwendeten Datenquellen werden ausführlich beschrieben und dokumentiert. Große Bedeutung kommt insbesondere der UBA-Datenbank zur nationalen Emissionsberichterstattung (ZSE) sowie mehreren Ökobilanzdatenbanken zu (GEMIS, ecoinvent, JRC). Ferner wurden auch Erkenntnisse aus einem Forschungsvorhaben zur Evaluation von Emissionsfaktoren erneuerbarer Energien in die Berechnungen einbezogen (Ciroth 2008).

Im Ergebnis führt die Neuberechnung der Netto-Emissionsbilanz der erneuerbaren Energien ohne Berücksichtigung der Vorketten zu einer Emissionsvermeidung von etwa 66 Mio. t CO₂ im Stromsektor, von etwa 26 Mio. t CO₂ im Wärmesektor und ca. 12 Mio. t CO₂ im Verkehrssektor. Insgesamt ergibt sich damit eine CO₂-Vermeidung von rund 104 Mio. t CO₂ in 2007.

Bei Einbezug der Vorketten sowie einer Erweiterung der betrachteten Treibhausgase um Methan und Lachgas weist die Netto-Emissionsbilanz der erneuerbaren Energien eine Emissionsvermeidung in Höhe von ca. 106,7 Mio. t CO₂-Äquivalenten in 2007 aus. Hiervon entfallen 71 Mio. t CO₂-Äquivalente auf den Stromsektor, 29 Mio. t CO₂-Äquivalente auf den Wärmesektor und 6,8 Mio. t CO₂-Äquivalente auf den Verkehrssektor. Direkte und indirekte Landnutzungsänderungen sind hierbei nicht berücksichtigt.

1 Einführung und Zielsetzung

In den letzten 10 Jahren verlief der Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland sehr erfolgreich. Zwischen 1997 und 2007 konnte ihr Beitrag am Endenergieverbrauch um mehr als das Dreifache auf 234 TWh/a gesteigert werden. Der Anteil am gesamten Endenergieverbrauch erhöhte sich entsprechend von 3 % auf 9,8 %.

Im Leitszenario 2008 (Nitsch 2008), einer aktuellen Studie zur Weiterentwicklung der Ausbaustrategie erneuerbarer Energien (EE) vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, ist bis 2020 ein Anstieg der erneuerbaren Energien auf einen Anteil von 18 % am gesamten Endenergieverbrauch skizziert. Dies entspricht auch dem nationalen Ausbauziel nach der im Juni 2009 in Kraft getretenen EU-Richtlinie zur Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RL 2009/28/EG).

Um dieses Ziel für Deutschland zu erreichen, sind folgende Einzelmaßnahmen vorgesehen:

- Der Anteil der erneuerbaren Energien im Strombereich soll von 14,2 % in 2007 auf mindestens 30 % im Jahre 2020 ansteigen und danach kontinuierlich weiter erhöht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) novelliert. In der Novelle sind unter anderem Vergütungen für Offshore-Windparks und Repowering von Onshore-Windenergieanlagen sowie Anreize zur Systemintegration der erneuerbaren Energien neu geregelt. Hierbei werden Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit sowie Anreize zur bedarfsgerechten Einspeisung berücksichtigt.
- Der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung betrug 2007 etwa 7,6 %. Dieser Bereich ist in den letzten Jahren langsamer als der Strombereich gewachsen. Die Technologien sind bereits vorhanden, haben den Markt bisher aber noch nicht ausreichend durchdrungen. Vorrangiges Ziel des Wärmegesetzes ist es, den Anteil erneuerbarer Energien am Wärmebedarf in Deutschland bis zum Jahr 2020 auf 14 % deutlich zu erhöhen. Das Gesetz verpflichtet jeden Eigentümer eines neuen Gebäudes, seinen Wärmeenergiebedarf anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken. Um die Gebäudeeigentümer bei der Nutzung erneuerbarer Energien auch finanziell entgegen zu kommen, sieht das Wärmegesetz Fördermöglichkeiten über das Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien vor.
- Im Verkehrsbereich wurde mit der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RL 2009/28/EG) ein für alle Mitgliedsstaaten verbindliches Ziel eines 10 %-Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Benzin- und Dieserverbrauch 2020 beschlossen.
- In diesem Zusammenhang verfolgt die Bundesregierung das Ziel, den Anteil der Biokraftstoffe bis zum Jahr 2020 soweit zu erhöhen, dass dadurch die Treibhausgasemissionen um 7 % gegenüber dem Einsatz fossiler Kraftstoffe reduziert werden (Nationaler Biomasseaktionsplan). Konkret wird der Anteil nach dem Gesetz

zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen, das am 21. Juli 2009 in Kraft trat, ab dem Jahr 2015 als Netto-Klimaschutzbeitrag (Dekarbonisierung) in einer Höhe festgelegt, dass die Treibhausgasemissionen ab dem Jahr 2015 um 3 %, ab 2017 um 4,5 % und ab dem Jahr 2020 um 7 % gesenkt werden. Dies entspricht einem energetischen Anteil von voraussichtlich ca. 12 % in 2020.

- Die EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RL 2009/28/EG) definiert darüber hinaus Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe und flüssige Brennstoffe. Diese umfassen Mindestanforderungen an eine nachhaltige Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen, den Schutz natürlicher Lebensräume und Minderung der Treibhausgasemissionen um mindestens 35 %. Bis Ende 2009 will die Kommission zudem Nachhaltigkeitskriterien für gasförmige und feste Biomasse vorlegen.

Zur Umsetzung der Nachhaltigkeitskriterien in deutsches Recht sollen zwei Nachhaltigkeitsverordnungen erlassen werden: Für den Regelungsbereich des Erneuerbare-Energien-Gesetzes wurde die „Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung“ am 29.07.09 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht und tritt am 24. August in Kraft. Mit dieser Verordnung werden die Nachhaltigkeitsanforderungen für Stromerzeugung aus flüssiger Biomasse festgelegt, die nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet wird. Der Verordnungsentwurf der Bundesregierung für Nachhaltigkeitsstandards bei Biokraftstoffen wird gegenwärtig entsprechend der EU-Nachhaltigkeitsregelungen vorbereitet.

Die Debatte um die Umweltwirkungen der Biokraftstofferzeugung zeigt exemplarisch auf, dass der dringend erforderliche Ausbau erneuerbarer Energien je nach gewähltem Nutzungspfad auch zu negativen Folgewirkungen führen kann. Um Fehlentwicklungen rechtzeitig erkennen zu können, sind daher umfassende ökobilanzielle Analysen der über den gesamten Lebensweg eines Energieträgers auftretenden Umweltauswirkungen unerlässlich (vgl. WBGU 2008).

Gleichwohl ist der potenzielle Beitrag der erneuerbaren Energien zur Vermeidung klima- und umweltrelevanter atmosphärischer Emissionen vor dem Hintergrund der Jahrhundertaufgabe Klimawandel insgesamt unumstritten.¹ Im Mittelpunkt der gesellschaftlichen Diskussion steht vielmehr die Höhe der vermiedenen Emissionen. Für eine aussagkräftige Bilanz ist dabei insbesondere die Gegenrechnung der durch erneuerbare Energien resultierenden Emissionen in einer „Nettobilanz“ entscheidend. Eine Nettobilanzierung berücksichtigt einerseits, welche Emissionen an Treibhausgasen und sonstigen Luftschadstoffen aus fossiler Energiebereitstellung vermieden werden, und andererseits, welche Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energien entstehen.

¹ Dabei ist nicht zu vergessen, dass die Erzeugung erneuerbarer Energien selbst auch vom Klimawandel beeinträchtigt werden kann. Dies kann sowohl negative (z.B. durch schlechtere Anbaubedingungen für nachwachsende Rohstoffe) oder positive (z.B. höhere Wüchsigkeit der Nutzwälder) Folgen haben, was an dieser Stelle allerdings nicht weiter vertieft werden kann.

In diesem Kontext wurde das Umweltbundesamt im Juli 2007 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beauftragt, die bisher vorliegenden Netto-Emissionsbilanzen erneuerbarer Energieträger weiterzuentwickeln und zu aktualisieren. Insbesondere sollte eine einheitliche und abgestimmte Datenbasis für die Jahre ab 1990 erarbeitet werden, die die Bilanzierung der durch den Einsatz erneuerbarer Energien vermiedenen Emissionen auf eine verlässliche Basis stellt. In den folgenden Kapiteln werden sowohl die überarbeiteten Methoden, die herangezogenen Datenquellen sowie die neuen Emissionsbilanzen für die erneuerbaren Energien vorgestellt. Darüber hinaus wird der methodische Rahmen für die Berechnung von Emissionsbilanzen für zurückliegende und zukünftige Jahre skizziert.

2 Methodik

Das angewandte und im Folgenden skizzierte Verfahren zur Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien basiert wesentlich auf empirischen Ergebnissen sowie methodischen Ansätzen der Lebenszyklusanalyse. Aus pragmatischen Gründen, zu denen vor allem die schwierige Datenlage in einigen Bereichen gezählt werden muss, beschränkt sich der Fokus allerdings auf eine Auswahl von Luftschadstoffen:

- Treibhausgase (CO₂, CH₄ und N₂O)
- säurebildende Schadstoffe (SO₂, NO_x)
- Vorläuferstoffe für bodennahes Ozon (CO, NMVOC) sowie
- Staub (PM)

Die betrachteten acht Luftschadstoffe bilden gleichsam eine Art „Kernliste der Umweltindikatoren“. Darüber hinaus bestehen für diese Daten nationale und internationale Berichtspflichten nach der Klimarahmenkonvention, dem Kyoto-Protokoll und der Genfer Luftreinhaltekonvention mit ihren Protokollen sowie den entsprechenden Entscheidungen und Richtlinien der EU.

2.1 Arbeitsschritte der Bilanzierung

Für die Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien ist eine Vielzahl von Eingangsdaten zusammenzutragen bzw. zu berechnen:

- a) Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor.

Das Mengengerüst der erneuerbaren Energien wird für alle Berechnungen aus der BMU-Publikation „Erneuerbare Energie in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung“ (BMU 2008a, Stand: Dez. 2008) entnommen. Grundlage der Daten sind die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat).

- b) Emissionsfaktoren (EF) [g_{Schadstoff}/kWh] sowohl für fossile als auch für erneuerbare Energieträger.

Für jede der betrachteten Energiebereitstellungsketten wird dabei zwischen den Faktoren für die direkten Emissionen aus dem reinen Anlagenbetrieb und den Faktoren für die Gesamtemissionen, also mit Einbezug der Vorketten, differenziert.

Die direkten Emissionsfaktoren für fossile Energieträger sind hierbei konform mit den durchschnittlichen zur nationalen Emissionsberichterstattung verwendeten Werten. Sie repräsentieren damit nicht in jedem Fall Einzelanlagen, sondern den durchschnittlichen Anlagenbestand in Deutschland.

Für die erneuerbaren Energien und die Vorketten der fossilen und erneuerbaren Energiebereitstellung werden analog typische Emissionsfaktoren angesetzt. Hierzu werden vorhandene Studien ausgewertet. In vielen Fällen kann zudem auf bereits vorliegende Ökobilanzen für erneuerbare Energiebereitstellungsketten im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor zurückgegriffen werden. Mit wenigen Ausnahmen entstammen die Emissionsfaktoren anerkannten Ökobilanz-Datenbanken (Ecoinvent 2.0, GEMIS 4.5, JRC).

- c) Angaben darüber, welche fossilen Energieträger (Strom- und Wärmemix) durch die erneuerbaren Energieträger ersetzt werden (Substitutionsfaktoren, SF).

Die verwendeten Substitutionsfaktoren werden aus aktuellen Untersuchungen zu erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmesektor abgeleitet. Einzelheiten hierzu sind in Kapitel 4 dargestellt.

Die genannten drei Kategorien von Eingangsdaten werden schließlich in einer Netto-Bilanzierung zusammengeführt. Diese gliedert sich in drei Berechnungsschritte:

Vermiedene Emissionen	= Menge erneuerbarer Energie in [GWh/a] * EF_{fossil} * SF
Verursachte Emissionen	= Menge erneuerbare Energie in [GWh/a] * $EF_{\text{erneuerbar}}$
Emissionsbilanz	= Vermiedene Emissionen – Verursachte Emissionen

2.2 Besondere Aspekte zur Methodik für Strom

Für den Strombereich spielt es eine wesentliche Rolle, welche fossilen Energieträger ersetzt werden, da die Emissionsfaktoren von Braunkohle-, Steinkohle- und Erdgas-Kraftwerken sich stark unterscheiden. Entsprechend werden für jede Sparte der erneuerbaren Stromerzeugung individuelle Substitutionsfaktoren verwendet, die mittels eines aufwändigen Simulationsmodells, das den Kraftwerkseinsatz entsprechend der Nachfrage an der Leipziger Strombörse nachbildet, hergeleitet wurden (Klobasa et al. 2009). Auf die genaue Berechnungsmethode der Substitution und das entsprechende zugrunde liegende Gutachten wird im Kapitel 4.1 näher eingegangen.

Zur Ermittlung der Gesamtemissionen für die Stromproduktion aus fossilen Energieträgern wurden zunächst Emissionsdaten zu Vorketten der Datenbank GEMIS entnommen. In den Datensätzen der GEMIS-Datenbank wird zwischen direkten und Gesamtemissionen unterschieden. Aus jeweils einem repräsentativen Kraftwerks-Datensatz wurden für jeden fossilen Energieträger die Emissionen aus der Vorkette des fossilen Energieträgers (insbes. Brennstoffgewinnung und -transport) berechnet, in dem die direkten Emissionen von den Gesamtemissionen subtrahiert wurden.

Die so ermittelten Emissionsfaktoren für die Vorkette wurden zur Ermittlung der Gesamtemissionen zu den direkten endenergiebezogenen Emissionsfaktoren auf Basis der UBA-Datenbank ZSE addiert. Das ZSE stellt für die direkten Emissionen die bes-

sere Datenquelle dar, da es sich hier um geprüfte Daten aus der nationalen Emissionsberichterstattung handelt.

2.3 Besondere Aspekte zur Methodik für Wärme

Der Wärmebereich ist durch eine Vielfalt an primären und sekundären, fossilen und erneuerbaren Energieträgern sowie durch eine große Anzahl an technologisch sehr unterschiedlichen Wärmeerzeugern gekennzeichnet.

Zur Ermittlung von repräsentativen Substitutionsfaktoren wird daher auf eine Reihe verschiedener Untersuchungen und Gutachten zurückgegriffen, die in den letzten Jahren zu einer wesentlichen Verbesserung der Datenbasis im Wärmesektor beigetragen haben. Im Einzelnen werden diese Vorhaben in Kapitel 4 beschrieben. Zugleich werden dort einige vereinfachende Annahmen ausführlich erläutert.

Die Ableitung repräsentativer Emissionsfaktoren für fossile und biogene Wärmeerzeuger im Haushaltsbereich stützt sich weitgehend auf aktuell ermittelte Emissionsfaktoren im Rahmen der nationalen Emissionsberichterstattung. Bei erneuerbarer Wärmebereitstellung aus Solarenergie und Geothermie sowie im Industriesektor werden ergänzend weitere Datenquellen und Ökobilanzen herangezogen. Im Einzelnen werden die Datenquellen im Kapitel 5.2 dokumentiert.

2.4 Besondere Aspekte zur Methodik für Verkehr

Für den Verkehrssektor wird im Vergleich zu früheren Berechnungen eine differenziertere Methodik vorgeschlagen bzw. angewandt. Diese beruht auf folgenden Eckpunkten:

- a) Berücksichtigung der Art und Herkunft der Rohstoffe zur Biokraftstoffherzeugung/Einbeziehung von Biokraftstoffimporten
- b) Allokation der Haupt- und Nebenprodukte auf Basis der unteren Heizwerte
- c) Berücksichtigung unterschiedlicher Produktionstechnologien / Energieversorgung
- d) Bezug auf die typischen Werte der EU-EE-Richtlinie (RL 2009/28/EG).

zu a):

Da die indirekten Emissionen beim Einsatz biogener Kraftstoffe stark von Art und Herkunft der Rohstoffe abhängen, führt deren Berücksichtigung zu deutlich genaueren Ergebnissen. Einschränkend wirkt sich hingegen die vielfach nur auf Schätzungen beruhende Datenlage aus, die im Konkreten zu einer Verringerung der Ergebnisqualität führt.

zu b):

Durch die Allokation der Haupt- und Nebenprodukte auf Basis der unteren Heizwerte bei der Bilanzierung wird ein transparentes und einfaches Verfahren etabliert. Dieses Vorgehen ist konform mit der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien und kann Ergebnisse aktueller Bilanzierungen berücksichtigen; sowie zu

einem späteren Zeitpunkt auch die Ergebnisse konkreter Zertifizierungen der Produzenten.

zu c):

Zur Biokraftstoffbereitstellung kommen unterschiedliche Produktionsverfahren zur Anwendung, und auch die Energieversorgung für die Produktionsanlagen differiert stark. Diese Unterschiede gehen teilweise auch in die Emissionsbilanzierung ein. Jedoch sind dazu Schätzungen notwendig, die die Ergebnisverbesserung durch die methodische Weiterentwicklung wieder etwas minimieren.

zu d):

Wesentlich an der neuen Methodik ist, dass sich die Bilanzierungsergebnisse nicht mehr auf GEMIS, sondern auf die typischen Werte der neuen EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien stützen. Diesen Werten liegen aktuelle Forschungsergebnisse zugrunde.

2.5 Unsicherheiten aufgrund von Datenlücken

Die Emissionsbilanzen sind nach bestem Wissen aufgestellt. Zukünftige Erkenntnisse sowie verfeinerte Bilanzierungsmethoden können jedoch grundsätzlich eine Überarbeitung der Ergebnisse notwendig machen. Dies könnte sich insbesondere auf die Emissionsbilanzen der Bioenergie auswirken. Im Einzelnen sind vor allem folgende Unsicherheitsfaktoren zu nennen:

1. Aufgrund vielfach unzureichender empirischer Emissionsdaten, vielfältiger methodischer Annahmen sowie unterschiedlicher Systemgrenzen existiert eine erhebliche Bandbreite an Ergebnissen verschiedener wissenschaftlicher Studien zu Umweltwirkungen fossiler sowie erneuerbarer Energiebereitstellungsketten. Durch Rückgriff auf wenige, in sich konsistente Datenquellen und Ökobilanzdatenbanken konnten im vorliegenden Bericht Unterschiede aufgrund divergierender methodischer Ansätze weitgehend minimiert werden. Allerdings kann eine gewisse quantitative Unsicherheit der Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden, solange die Datenlage vor allem hinsichtlich repräsentativer Emissionsmessungen im realen Anlagenbetrieb sowie hinsichtlich der gesamten Komplexe der landwirtschaftlichen Vorketten unbefriedigend bleibt.
2. Im Bereich des landwirtschaftlichen Anbaus von Biomasse resultieren nennenswerte Unsicherheiten insbesondere aus dem Einsatz von Stickstoffdüngern, welche u.a. Emissionen von Lachgas (N_2O) zur Folge haben. In den verwendeten Datenquellen sind diese in der Regel in der Höhe der Angaben des IPCC berücksichtigt. Berechnungen von Crutzen et al. (2008) kommen allerdings zu dem Schluss, dass die auf den Biomasseanbau zurückzuführenden N_2O -Emissionen wesentlich höher sind als bisher angenommen. Diese Ergebnisse werden derzeit in Fachkreisen diskutiert (Butterbach-Bahl 2008). Falls sich diese Position in der wissenschaftlichen Diskussion bestätigen sollte, ergäben sich für diejenigen energetischen Biomassennutzungen, die auf nachwachsenden Rohstoffen basie-

ren, erheblich schlechtere Klimabilanzen als bisher. Nach Crutzen et al. (2008) gilt dies insbesondere für Anbaubiomasse aus tropischen Klimaten, d.h. in besonderem Maße für Zuckerrohr und Palmöl.

3. Weitere Unsicherheiten im Bereich der Bioenergie sind darauf zurückzuführen, dass direkte und indirekte Landnutzungsänderungen, welche insbesondere bei den Biokraftstoffen und bei flüssiger Biomasse eine große Rolle spielen, bislang nicht in die Bilanzierung einbezogen werden konnten. Da Landnutzungsänderungen hohe Treibhausgasemissionen aufweisen können und folglich von erheblicher Relevanz sind, müssten sie bei der Bilanz entsprechend berücksichtigt werden. Hierbei muss allerdings zwischen direkten und indirekten Landnutzungsänderungen differenziert werden.

Direkte Landnutzungsänderungen spielen für auf deutschen Flächen erzeugte Rohstoffe gegebenenfalls im Kontext des Umbruchs von Grünland und Moorflächen eine gewisse Rolle. Die schlechte Datenlage ermöglicht nicht, dies derzeit hinreichend genau zu quantifizieren. Bei importierten Rohstoffen hingegen ist der Kenntnisstand über direkte Landnutzungsänderungen, die ursächlich auf den Anbau von Bioenergieträgern für den Export zurückzuführen sind, und daraus resultierende Veränderungen der Kohlenstoffinventare in den Herkunftsländern nach wie vor gering. Zudem sind die tatsächlichen Stoffströme von importierten Biomassen bisher nur unzureichend erfasst.

Im Bereich der indirekten Landnutzungsänderungen werden methodische Ansätze erst entwickelt bzw. diskutiert. Somit standen sie für die vorliegenden Berechnungen noch nicht zur Verfügung. Sobald anerkannte Methoden zur Berechnung der direkten und indirekten Landnutzungsänderungen vorliegen, werden diese bei zukünftigen Bilanzierungen zu berücksichtigen sein. Bis dahin ist die berechnete Emissionsvermeidung insbesondere im Verkehrssektor systematisch zu hoch ausgewiesen.

4. Weitere bilanzielle Unsicherheiten ergeben sich zudem aus der Beschränkung auf die wichtigsten Treibhausgase und Luftschadstoffe. So bilden die in Kapitel 2 genannten Schadstoffe zwar den überwiegenden Teil der jeweiligen Umweltwirkungskategorie (wie Treibhausgaspotenzial, Versauerungspotenzial etc.) ab, andere gleichartig wirkende Substanzen, wie z.B. die klimawirksamen FKW oder das versauernde und zugleich indirekt klimawirksame NH_3 , konnten jedoch aufgrund schlechter Datenverfügbarkeit gegenwärtig noch nicht mit einbezogen werden.

3 Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2007

Die zeigt die Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2007 (BMU 2008a, Stand: Dezember 2008). Die Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energieträger betrug 2007 etwa 87 TWh, dies entspricht einem Anteil am Bruttostromverbrauch von ca. 14 %. Maßgebliche Beiträge leisten hier Wind- und Wasserkraft. Darüber hinaus stellt die gesamte Stromerzeugung aus Biomasse einen zunehmenden Anteil; 2007 überstieg dieser erstmals sogar den der Wasserkraft.

Zur Wärmebedarfsdeckung trugen erneuerbare Energien 2007 mit ca. 100 TWh bei. Dies entspricht einem Anteil von ca. 7,5 % am Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme. Die erneuerbare Wärmebereitstellung wird dabei insbesondere durch den Einsatz fester Biomasse in privaten Haushalten und in der Industrie geprägt.² Andere erneuerbare Energieformen (Geothermie, Solarthermie) haben bislang nur eine vergleichsweise geringe Bedeutung.

Im Verkehrssektor trugen erneuerbare Energien in Form biogener Kraftstoffe, hier v. a. Biodiesel, etwa 46 TWh zur Bedarfsdeckung bei. Bezogen auf den gesamten Kraftstoffverbrauch 2007 liegt der Anteil erneuerbarer Energien damit bei ca. 7,3 %.

Insgesamt trugen erneuerbare Energieträger im Jahr 2007 knapp 10 % zur Deckung des Endenergieverbrauchs in Deutschland bei.

Primärenergetisch betrachtet entspricht der Beitrag der erneuerbaren Energien je nach Berechnungsmethode zwischen 963 PJ (Wirkungsgradmethode) und 1.345 PJ (Substitutionsmethode) Primärenergieäquivalenten. Bezogen auf den gesamten Primärenergieverbrauch im Jahr 2007 kommt dies einem Anteil von ca. 7 % Wirkungsgradmethode) bzw. ca. 9,5 % (Substitutionsmethode) gleich.

² Aufgrund unsicherer Datenlage wird der Einsatz fester Biomasse im GHD-Sektor durch die AGEE-Stat gegenwärtig nicht ausgewiesen. Die gesamte erneuerbare Wärmebereitstellung liegt damit höher als die angegebenen 100 TWh in 2007.

Tabelle 1: Beitrag erneuerbarer Energien zur Endenergiebereitstellung 2007 (BMU 2008a)

		End- energie [GWh]	Primärenergie- äquivalent ¹⁾		Anteil am Endenergie- verbrauch	
			nach Wir- kungs- gradmethode [PJ]	nach Substi- tutions- methode [PJ]	[%]	
Stromerzeugung	Wasserkraft ²⁾	21.249	76,5	209,0	Anteil am Stromverbrauch ⁸⁾	3,4
	Windenergie	39.713	143,0	376,9		6,4
	Photovoltaik	3.075	11,1	27,3		0,5
	biogene Festbrennstoffe	8.743	78,2	78,2		1,4
	biogene flüssige Brennstoffe	1.485	13,3	13,3		0,2
	Biogas	6.425	57,5	57,5		1,0
	Klärgas	983	8,8	8,8		0,2
	Deponiegas	1.009	9,0	9,0		0,2
	biogener Anteil des Abfalls ³⁾	4.130	36,9	36,9		0,7
	Geothermie ⁴⁾	0,4	< 0,1	< 0,1		< 0,1
	Summe	86.811	434,2	816,8		14,0
Wärmeerzeugung	biogene Festbrennstoffe (Haushalte)	57.778	208,0		Anteil am EEV für Wärme ⁹⁾	4,3
	biogene Festbrennstoffe (Industrie) ⁵⁾	16.770	60,4			1,3
	biogene Festbrennstoffe (Heizkraft- und Heizwerke) ⁶⁾	5.688	20,5			0,4
	biogene flüssige Brennstoffe	4.647	16,7			0,3
	biogene gasförmige Brennstoffe ⁷⁾	4.669	16,8			0,3
	biogener Anteil des Abfalls ³⁾	4.783	17,2			0,4
	Solarthermie	3.704	13,3			0,3
	tiefe Geothermie	160	0,6			< 0,1
	oberflächennahe Geothermie	2.139	7,7			0,2
	Summe	100.337	361,2			7,5
Kraftstoff	Biodiesel	34.239	123,3		Anteil am Kraftstoffverbrauch ¹⁰⁾	5,4
	Pflanzenöl	8.736	31,5			1,4
	Bioethanol	3.444	12,4			0,5
	Summe	46.419	167,1			7,3
gesamt		233.568	962,5	1.345,1	EEV ¹¹⁾	9,8

1) Erläuterung der Methoden zur Bestimmung des Primärenergieäquivalents siehe BMU 2008a, Anhang Nr. 4. Bei Wärme und Kraftstoff wird hier Endenergie gleich Primärenergie gesetzt

2) bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss

3) biogener Anteil mit 50 % angesetzt

4) zweites Geothermiekraftwerk Ende 2007 in Betrieb gegangen

5) Industrie = Betriebe des Bergbaus, der Gewinnung von Steinen und Erden sowie des verarbeitenden Gewerbes, § 8 Energiestatistikgesetz

6) nach §§ 3 und 5, Energiestatistikgesetz, nur Allg. Versorgung

7) teilweise geschätzt, bei Gasen einschließlich der Direktnutzung von Klärgas

8) bezogen auf den Bruttostromverbrauch 2007 von 617,9 TWh

9) EEV für Raumwärme, Warmwasser und sonstige Prozesswärme (unter der Berücksichtigung von Auf- und Abbau an Vorräten lagerbarer Brennstoffe – bereinigte Version) 2007 von 164,2 Mio. t SKE oder 4.812 PJ

10) bezogen auf den gesamten Kraftstoffverbrauch 2007 von 2.274 PJ

11) bezogen auf EEV 2007 von 8.585 PJ

12) bei einem Substitutionsfaktor von 8.942 kJ/kWh, siehe BMU 2008, Anhang Abs. 4

Quellen: BMU (2008a) auf Basis AGEE-Stat sowie ZSW; BSW; AGEb; StBA; ISI; IE; BDEW; BAFA; BMELV

4 Durch erneuerbare Energien substituierte fossile Energien

4.1 Stromsektor

Den Berechnungen zur Emissionsvermeidung im Strombereich wurden bisher die Substitutionsfaktoren gemäß Gutachten des Fraunhofer Instituts System- und Innovationsforschung (ISI) von 2003 zugrunde gelegt (Klobasa et al. 2005). Hierbei wurde Wasserkraft ebenso wie Klär- und Deponiegas als Grundlast und damit zu 100 % Braunkohle substituierend angesetzt. Aufgrund der hohen spezifischen CO₂-Emissionen von Braunkohle ergab sich daraus eine hohe Vermeidung an Treibhausgasemissionen. Ausgangspunkt zur Ermittlung von Substitutionsfaktoren war ferner die Struktur des Kraftwerksystems und die Netto-Engpassleistung der öffentlichen Stromversorgung in Deutschland. Der Einsatz und damit auch die Substitution vorhandener Kraftwerke wurde über die Merit-Order³ bestimmt. Darüber hinaus spielen die dynamischen Eigenschaften der Kraftwerkstypen eine Rolle, also die Regelbarkeit bei Änderungen der Nachfrage.

Den hier vorgelegten Emissionsberechnungen des UBA für das Jahr 2007 wurden hingegen die Ergebnisse eines Folgegutachtens zugrunde gelegt (Klobasa et al. 2009), das neue Substitutionsfaktoren mit Eingangsdaten des Kraftwerkparks für 2006 und 2007 berechnet. Im Vergleich zum vorhergehenden Gutachten wurde hierbei nicht auf Basis von Literaturwerten gerechnet, sondern auf Basis eines Strommarktmodells, das den Kraftwerkseinsatz entlang der Merit-Order für jede Stunde des betreffenden Jahres abbildet. Bei der Erstellung der Merit-Order der fossilen Kraftwerke werden auch technische Randbedingungen wie Anfahrkosten oder Kraft-Wärme-Kopplung berücksichtigt.

Im Einzelnen simuliert das agentenbasierte Modell das Verhalten wichtiger Akteure des Elektrizitätssektors. Als Eingangsdaten zur Modellierung dienen reale Lastprofile im Stromnetz sowie Daten zum typischen Einspeiseverhalten erneuerbarer Energien, die zum Teil auf Basis meteorologischer Daten ermittelt wurden. Dabei werden für die erneuerbaren Energien insgesamt fünf Klassen mit je charakteristischen Einspeiseprofilen gebildet:

- Wasserkraft und Geothermie – gleichmäßiges Einspeiseprofil,
- Wind - stark fluktuierend mit saisonalen Unterschieden,
- Photovoltaik - fluktuierendes Profil mit Tag-/Nacht- und saisonalen Unterschieden,
- feste Biomasse und biogener Anteil des Abfalls – gleichmäßiges Profil mit hohen Volllaststunden,
- übrige Biomasse sowie Deponiegas/Klärgas/Grubengas – überwiegend wärmegeführt, höhere Einspeisung tagsüber.

³ Durch variable Betriebskosten der Anlagen bestimmte Einsatzreihenfolge der Kraftwerke. In Abhängigkeit von der Stromnachfrage kommen jeweils die günstigsten Kraftwerke zum Einsatz.

Aus der Differenz von Simulationsläufen mit und ohne erneuerbaren Energien resultieren schließlich die Substitutionsfaktoren der erneuerbaren Energien im Stromsektor. Eine Übersicht über die Substitutionsfaktoren gibt Tabelle 2. Um die Änderungen gegenüber den bisherigen Substitutionsfaktoren zu verdeutlichen, werden die Faktoren für 2003 ebenfalls aufgeführt. Der Vergleich zeigt, dass es sich hier um z. T. gravierende Neubewertungen handelt, die auch entsprechende Auswirkungen auf die Bilanz der vermiedenen CO₂-Emissionen haben. Die Änderungen sind auf folgende wesentliche Punkte zurückzuführen:

- a) Der Kraftwerkseinsatz wurde mit Hilfe eines Strommarktmodells simuliert.
- b) Die Sonderbehandlung der Großwasserkraft sowie Deponie- und Klärgas im Gutachten von 2005 wurde aufgegeben, um zu konsistenten und konservativen Substitutionsfaktoren zu gelangen.
- c) Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung ist stark gestiegen. Damit nimmt auch die Substitution von Mittellast und teilweise auch Grundlastkraftwerken zu.
- d) Der Einfluss des CO₂-Zertifikatehandels auf die "Merit order" der Kraftwerke wurde berücksichtigt.

Die genannten Einflussfaktoren können letztlich auch die außergewöhnlich niedrigen Substitutionsfaktoren für Braunkohle im Jahr 2007 erklären. So war die Erzeugungsleistung der klassischen Grundlastkraftwerke (Braunkohle und Kernkraft) 2007 deutlich reduziert, da mehrere Kernkraftwerke außerplanmäßig stillgestanden haben. Gleichzeitig lagen die CO₂-Zertifikatspreise in der zweiten Jahreshälfte 2007 ungewöhnlich niedrig. Beide Entwicklungen stellen eher eine Ausnahme dar und es ist davon auszugehen, dass die genannten Einflussfaktoren in den nächsten Jahren eher denen von 2006 ähneln. Auf Empfehlung der AGEE-Stat werden deshalb bis auf Weiteres die Substitutionsfaktoren von 2006 für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 2: Vergleich der Substitutionsfaktoren für erneuerbare Energieträger für 2003 (Klobasa et al. 2005) sowie für 2006 und 2007 (Klobasa et al. 2009)

	Substitutionsfaktoren [%]										
	Braunkohle			Steinkohle			Erdgas			Mineralöle *	
	2003	2006	2007	2003	2006	2007	2003	2006	2007	2006	2007
Wasserkraft	100	30	6		45	69		25	25		
Windenergie	20	11	2	70	63	72	10	24	24	2	2
Photovoltaik				25	50	50	75	50	50		
biogen fest / Abfall	30	16	2	60	59	73	10	25	25		
biogen flüssig	30	5	1	60	62	66	10	32	32	1	1
biogen Gas		5	1	70	62	66	30	32	32	1	1
Klär-/Deponiegas	100	5	1		62	66		32	32	1	1
Geothermie	100	30	30		45	45		25	25		

* Für 2003 wurde der Einsatz von Mineralöl-Kraftwerken nicht ausgewiesen.

4.2 Wärmesektor

Der Wärmesektor in Deutschland unterscheidet sich von den Energiesektoren Strom und Verkehr insbesondere durch die große Anzahl und die technologische Vielfalt der überwiegend dezentralen Wärmeerzeuger im Bereich der Industrie, in privaten Haushalten und im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Alleine bei letzteren beiden sind nach aktuellen Angaben ca. 17 Mio. Gas- und Ölkessel sowie ca. 15 Mio. Feuerungsstätten für feste Brennstoffe in Deutschland installiert (Struschka et al. 2008; BDH 2008; BMU 2007). Darüber hinaus werden ca. 1,4 Mio. Wohnungen in Deutschland mit Strom beheizt (Frey et al 2007), weitere 5 Mio. Wohnungen werden durch Fernwärme versorgt (AGFW 2006).

Tabelle 3: Struktur fossiler Energieträger am Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme (BDEW, Endenergieverbrauch in Deutschland 2006, Stand: Feb. 2008, BDEW, Endenergieverbrauch in Deutschland 2007, Stand: Feb. 2009)

Energieträger	2006*				2007*			
	Ind.	GHD	HH	Gesamt	Ind.	GHD	HH	Gesamt.
Kohle								
absolut	434 PJ	12 PJ	41 PJ	487 PJ	437 PJ	12 PJ	35 PJ	484 PJ
% (vertikal)	23 %	1 %	2 %	10 %	26 %	1 %	2 %	11 %
% (horizontal)	89 %	2 %	8 %	100 %	90 %	2 %	7 %	100 %
Mineralöl								
absolut	191 PJ	264 PJ	709 PJ	1164 PJ	155 PJ	211 PJ	554 PJ	920 PJ
% (vertikal)	10 %	26 %	32 %	23 %	9 %	24 %	30 %	21 %
% (horizontal)	16 %	23 %	61 %	100 %	17 %	23 %	60 %	100 %
Erdgas (u.a.)								
absolut	950 PJ	492 PJ	1050 PJ	2492 PJ	832 PJ	431 PJ	888 PJ	2151 PJ
% (vertikal)	51 %	49 %	48 %	49 %	49 %	48 %	48 %	49 %
% (horizontal)	38 %	20 %	42 %	100 %	39 %	20 %	41 %	100 %
Strom¹⁾								
absolut	237 PJ	141 PJ	258 PJ	636 PJ	217 PJ	152 PJ	246 PJ	615 PJ
% (vertikal)	13 %	14 %	12 %	12 %	13 %	17 %	13 %	14 %
% (horizontal)	37 %	22 %	41 %	100 %	35 %	25 %	40 %	100 %
Fernwärme								
absolut	62 PJ	97 PJ	152 PJ	311 PJ	44 PJ	91 PJ	129 PJ	264 PJ
% (vertikal)	3 %	10 %	7 %	6 %	3 %	10 %	7 %	6 %
% (horizontal)	20 %	31 %	49 %	100 %	17 %	34 %	49 %	100 %
Fossile Energieträger insgesamt								
absolut	1873 PJ	1011 PJ	2212 PJ	5096 PJ	1685 PJ	897 PJ	1852 PJ	4434 PJ
% (vertikal)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
% (horizontal)	37 %	20 %	43 %	100 %	38 %	20 %	42 %	100 %

* jeweils vorläufige Angaben, geringfügige Abweichungen zu den Angaben des BDEW durch Umrechnung und Rundung.

1) Stromverbrauch der Haushalte für „Wärme“ beinhaltet auch Verbräuche für die Raumklimatisierung, für Waschmaschinen und Geschirrspüler sowie für die Lebensmittelzubereitung (Kochen), nicht jedoch für die Kühlung von Lebensmitteln.

Die Struktur des fossilen Endenergieverbrauchs für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme ist in Tabelle 3 dargestellt. Der wichtigste Energieträger im Wärmesektor ist demnach Erdgas mit einem Anteil von ca. 49 % vor Mineralöl (21 %), Strom (14 %), Kohle (11 %) und Fernwärme (6 %). Bemerkenswert ist zudem, dass die relativen Anteile von Erdgas und Strom in allen drei Endenergiesektoren nahezu gleich groß sind, während die relativen Anteile von Kohle, Mineralöl und Fernwärme zwischen Industrie-, GHD- und Haushaltssektor stark differieren.

Die erneuerbaren Energien trugen 2007 ca. 100 TWh bzw. 361 PJ zur gesamten Wärmebereitstellung bei (nach Wirkungsgradmethode, vgl. Tabelle 1). Ihr Anteil am Wärmesektor stieg in den letzten Jahren bei insgesamt rückläufigem Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme langsam, aber stetig auf 7,5 % an.

Aufgrund der vielfältigen, überwiegend dezentralen Versorgungsstrukturen im Wärmesektor stellt die Ermittlung der Substitutionsleistung erneuerbarer Energien eine große Herausforderung dar. Zur Ableitung detaillierter Substitutionsbeziehungen ist insbesondere eine realitätsnahe Abbildung des gesamten Wärmesektors einschließlich der Sekundärenergieträger Fernwärme und Strom erforderlich. Zugleich ist ein differenziertes Bild des Wärmesektors Voraussetzung dafür, die Beiträge einzelner erneuerbarer Wärmebereitstellungsketten zur Emissionsvermeidung analog zum Strom- und Verkehrssektor auszuweisen.

Um dies zu bewerkstelligen, wird in Analogie zum oben zitierten ISI-Gutachten für den Stromsektor eine statische Perspektive eingenommen. Dabei wird die hypothetische Frage gestellt, auf welche konkret verfügbaren Technologien der fossilen Wärmebereitstellung ein Anlagenbetreiber zurückgreifen würde, wenn die aktuell installierten Technologien zur erneuerbaren Wärmebereitstellung nicht mehr verfügbar wären.

Unter Heranziehung unten aufgeführter empirischer Erhebungen konnten so für alle in Tabelle 4 ausgewiesenen erneuerbaren Wärmebereitstellungsketten individuelle Substitutionsfaktoren abgeleitet werden. Allerdings mussten in einigen Fällen aufgrund von Datenlücken sowie aus Praktikabilitätsgründen folgende vereinfachende Annahmen bei der Aufbereitung der Daten getroffen werden:

- Die Substitutionsbeziehungen werden auf der statistisch gut erfassten Ebene der Endenergie ausgewiesen, jedoch nicht auf der Ebene der Nutzenergie. Auch wenn hierdurch die Substitutionsleistung der erneuerbaren Wärmebereitstellung im Einzelfall überschätzt wird, ist dieses Vorgehen mangels belastbarer Nutzungsenergiebilanzen fossiler wie erneuerbarer Wärmeerzeuger vertretbar.
- Doppelzählungen aufgrund der Substitution eines erneuerbaren Energieträgers (z. B. Holzpellets) durch andere erneuerbare Energieträger (z.B. Solarthermie) werden dadurch vermieden, dass der Anteil der substituierten erneuerbaren Energieträger proportional auf alle fossilen Alternativen umgelegt wird.

- Zudem wird die Substitution fossiler Warmwasserbereitstellung aus Zusatzgeräten vernachlässigt, da drei Viertel der Haushalte weder elektrische noch mit Erdgas betriebene Zusatzgeräte einsetzen.
- Schließlich wird vereinfachend angenommen, dass der Anteil der zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung bereitgestellten erneuerbaren Energie aus Solarthermie, Wärmepumpen und Holz-Einzelfeuerungen weitgehend unabhängig vom jeweiligen Wärmebedarf der privaten Haushalte ist.

Im Folgenden werden die abgeleiteten Substitutionsfaktoren unter Nennung der ausgewerteten empirischen Untersuchungen im Einzelnen dargestellt:

Repräsentative Daten zur *Substitutionsleistung solarthermischer Anlagen* und von Wärmepumpen wurden freundlicherweise aus dem von RWI und Forsa bearbeiteten Forschungsvorhaben „Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005“ (Frondelet al. 2008) zur Verfügung gestellt.⁴ Demnach gaben 51 % bzw. 45 % der befragten Nutzer von Solarkollektoren in Ein- und Zweifamilienhäusern, Reihen- und Doppelhäusern an, dass das Gebäude neben dem Solarkollektor mit einer Gas- bzw. Ölheizung ausgestattet ist. Drei Prozent deckten den zusätzlichen Wärmebedarf mit Strom und zwei Prozent mit Fernwärme.⁵

Bei *Wärmepumpen* lag der Substitutionsfaktor für Heizöl bzw. Erdgas bei 45 % bzw. 44 %. Die Kombination mit Fernwärme, Stromheizung oder Festbrennstofföfen ist hier weiter verbreitet als bei solarthermischen Anlagen.

Auch für die mit *Brennholz befeuerten Einzelfeuerstätten*, welche für ca. drei Viertel des gesamten Brennholzverbrauchs der Haushalte verantwortlich sind, konnten Substitutionsfaktoren aus Frondelet al. (2008) abgeleitet werden. Diese betragen 50 % für Erdgas, 41 % für Heizöl, 6 % für Strom, 2 % für Fernwärme und ein Prozent für Braunkohle.

Anhaltswerte zur Substitutionsleistung von *Scheitholz-Zentralfeuerungen* liegen aus einer aktuellen Untersuchung des Technologie- und Förderzentrums Straubing im Rahmen der Evaluation des Marktanreizprogramms vor.⁶ In Anlehnung an diese Erhebung wird der Substitutionsfaktor für Heizöl auf 65 % geschätzt. Des Weiteren wird ein relativ geringer Substitutionsfaktor für Erdgas von 20 % angesetzt, der die starke Verbreitung von Scheitholzkesseln in waldreichen, ländlichen Räumen, die oftmals nicht über Zugang zum Gasnetz verfügen, widerspiegelt. Des Weiteren werden die

⁴ Der Stichprobenumfang für die Kreuztabellierung beträgt bei Solarthermie ca. 400 auswertbare Antworten, bei Wärmepumpen ca. 130 und bei holzbetriebenen Einzelfeuerstätten ca. 1.527 (persönliche Kommunikation mit RWI).

⁵ Eine aktuelle Erhebung unter im Rahmen des Marktanreizprogramms geförderten Anlagenbetreiber (n=1041) bestätigen die verwendeten Substitutionsfaktoren weitgehend. Drück und Mette (2009) ermittelten folgende Anteile fossiler Zusatzenergieträger bei den geförderten solarthermischen Anlagen: 49 % Erdgas, z. T. in Kombination mit Holz und sonstigen Energieträgern; 47 % Heizöl, z. T. in Kombination mit Holz und sonstigen Energieträgern; 3 % Heizstrom; 1 % sonstige Energieträger.

⁶ Ebenfalls im Rahmen der wissenschaftlichen Evaluation des Marktanreizprogramms ermittelten Reisinger et al. (2009) für kleine Biomassekessel bis 100 kW, folgende Anteile substituierter fossiler Energieträger (n=449, überwiegend Pellets- und Scheitholzkessel): 72 % Heizöl; 18 % Erdgas; 9 % Heizstrom; 1 % sonstige Energieträger.

Substitutionsfaktoren für Stein- und Braunkohle auf 5 % bzw. für Strom auf 10 % festgelegt. Als Begründung für letzteren Wert kann neben den empirischen Befragungsergebnissen insbesondere das Gutachten von Frey et al. (2007) zur Verbreitung elektrischer Widerstandsheizungen herangezogen werden. Demnach sind 70 % der Nachtspeicheröfen nicht nur in den walddreichen Flächenländern Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern, sondern dort auch zu nennenswerten Teilen in eher ländlichen Regionen installiert.

Zur Substitutionswirkung der *energetischen Nutzung fester Biomasse im verarbeitenden Gewerbe*, welche vor allem in den Wirtschaftszweigen Papiergewerbe, Verarbeitung von Steinen und Erden (Zementindustrie) sowie sonstiger Wirtschaftszweige (v. a. Holzindustrie) stattfindet, liegen keine spezifischen Daten vor. Aus diesem Grund wird der durchschnittliche fossile Endenergieverbrauchsmix dieser Wirtschaftszweige aus der Energiebilanz als Substitutionsmix angesetzt. Bemerkenswert ist der relativ hohe Anteil an substituierter Stein- und Braunkohle.

Unter *flüssiger Biomasse* sind gegenwärtig sowohl die energetische Nutzung von Schwarzlauge (Nebenprodukt der Zellstoffherstellung) in der Papierindustrie sowie die Nutzung von Pflanzenöl in Blockheizkraftwerken (BHKW) subsumiert. Entsprechend wird für den *Biomasseeinsatz in Laugenkesseln* der durchschnittliche fossile Energieträgermix der Papierindustrie zur Erzeugung von Raum- und Prozesswärme aus der Energiebilanz angesetzt. Für die energetische Nutzung *flüssiger Biomasse in Form von Pflanzenöl* in BHKW, welche sowohl in ländlichen Gebieten wie auch in städtischen Gebieten stattfindet, wird mangels weiterführender Daten hilfsweise der durchschnittliche fossile Energieträgermix der deutschen Haushalte, wie er sich aus den Auswertungstabellen zur deutschen Energiebilanz für 2007 errechnet, angesetzt.

Die bei der Nutzung *biogener Gase (Bio-, Klär-, Deponiegas) in BHKW* ausgekoppelte Wärme wird häufig im unmittelbaren Umfeld der Anlage genutzt, zum Beispiel zur Beheizung von Sozialgebäuden und Ställen. Daher wurde als Substitutionsfaktor für Wärme aus Biogas der durchschnittliche fossile Energieträgermix landwirtschaftlicher Betriebe bzw. des Gartenbaus angenommen.

Dem oben genannten Ansatz folgend wurde die Substitutionsleistung der erneuerbar erzeugten *Nah- und Fernwärme* im vollständigen Ersatz fossil erzeugter Fernwärme angenommen. Durch dieses Vorgehen können Annahmen zum alternativen Ausbau der Wärmenetze in der Vergangenheit sowie in der Zukunft vermieden werden. Darüber hinaus wird bei der direkten Substitution von Nah- und Fernwärme vereinfachend angenommen, dass die mit fossiler bzw. biogener Energie gespeisten Wärmenetze Netzverluste in der gleichen Größenordnung aufweisen (Leuchtweis 2009).

Tabelle 4: Substitutionsbeziehungen erneuerbarer Energien im Wärmemarkt
(eigene Berechnungen und Überlegungen, überwiegend auf Basis empirischer Studien)

Lesebeispiel für die Zeile „Solarthermie“:

45 % der Nutzer von solarthermischen Kollektoren müssten beim hypothetischen Ausfall der erneuerbaren Wärmebereitstellung ihren Wärmebedarf vollständig durch die zusätzlich installierte Ölheizung decken. 45 % der solarthermischen Wärmeerzeugung substituiert damit gegenwärtig Heizöl, 51 % Erdgas, 2 % Fernwärme- und 3 % Strom.

Erneuerbare Wärme	Substitutionsmix [%]						Datenquelle
	Öl	Gas	StK	BrK	FW	EL	
Solarthermie	45	51	0	0	2	3	Frondel et al. (2008)
Wärmepumpen	45	44	1	2	5	3	
Brennholz-Einzelf Feuerungen	41	50	0	1	2	6	
Brennholz-Zentralfeuerungen	65	20	2	3	0	10	eigene Schätzung auf Basis TFZ (2009)
feste Biomasse (Industrie)	11	62	11	13	4	0	Endenergiemix 2007 im Papiergewerbe, Verarbeitung v. Steine und Erden sowie sonstiger Wirtschaftszweige (u.a. Holzindustrie) (AGEB)
flüssige Biomasse (Schwarzlauge)	4	78	11	2	5	0	Endenergiemix 2007 im Papiergewerbe (AGEB)
flüssige Biomasse (Pflanzenöl-BHKW)	35	48	1	1	6	8 ⁷	fFossiler Wärmemix der privaten Haushalte
Bio-, Klär- und Depo-niegas(BHKW)	48	46	6	0	0	0	fossiler Wärmemix der Landwirt. und Gärtnereien 2007 (UBA-ZSE)
feste Biomasse in Heizwerken / HKW	-	-	-	-	100	-	Ersatz fossiler durch erneuerbare Fern- und Nahwärme
biogener Anteil des Abfalls	-	-	-	-	100	-	
Tiefen-Geothermie	-	-	-	-	100	-	
Gewichtete Substitutionsfaktor	34	43	3	3	12	4	

⁷ Abweichend zu Tabelle 3 wurden lediglich 32 Prozent des Stromverbrauchs der Haushalte dem Bereich Wärme- und Warmwassererzeugung im engeren Sinne zugeordnet (vgl. BDEW 2008).

In der Gesamtschau ergeben sich somit gewichtete durchschnittliche Substitutionsfaktoren der erneuerbaren Wärmebereitstellung von 34 % Heizöl, 43 % Erdgas, 12 % Fernwärme, 4 % Strom, 3 % Steinkohlen und 3 % Braunkohlen. Der neu abgeleitete Substitutionsmix unterscheidet sich damit deutlich vom bisher von der AGEE-Stat zugrunde gelegten fossilen Wärmemix von 57 % Erdgas, 40 % Heizöl und 3 % Kohle (BMU 2008a basierend auf Fritsche et al. 2007).

Die Verschiebungen im substituierten fossilen Wärmemix lassen sich dabei überwiegend auf folgende Änderungen zurückführen:

1. Aktuelle Erhebungen der letzten Jahre zur Verbreitung der erneuerbaren Energien im Wärmemarkt wurden genutzt, um die Substitutionsfaktoren von Solarenergie und Geothermie sowie Biomassefeuerungen neu zu bestimmen.
2. Um den Wärmesektor realitätsnah abzubilden, wurden auch die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Fernwärme in die Bilanzierung einbezogen.
3. Weitere Verschiebungen ergeben sich unmittelbar aus dem im Vergleich zu 2004 deutlich differenzierteren Mengengerüst der erneuerbaren Wärmebereitstellung. So enthielt das in Fritsche et al. (2007) verwendete Mengengerüst noch nicht die erst seit dem Energiestatistikgesetz verfügbaren Angaben zum Energieeinsatz in der Industrie und in Heiz(kraft)werken. Darüber hinaus wird zum Beispiel die Wärmeauskopplung aus Biogas-BHKW erst seit wenigen Jahren berücksichtigt.

4.3 Verkehrssektor

Auch in Bezug auf die Substitutionsbeziehungen der Biokraftstoffe ist das methodische Vorgehen leicht abweichend vom bisherigen Verfahren (Fritsche et al. 2007).

Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zugrunde:

- 1 MJ Bioethanol ersetzt 1 MJ Benzin
- 1 MJ Biodiesel/Pflanzenöl ersetzt 1 MJ mineralischen Diesel

Die Biokraftstoffe werden analog zu den fossilen Kraftstoffen allen einzelnen Fahrzeugarten/ Fahrmodi (Strukturelemente im ZSE) zugeordnet. In den Vorgängerberechnungen wurde beim Bioethanol unterstellt, dass nur Benzin in PKW substituiert wird.

Obwohl davon auszugehen ist, dass die Substitution von fossilen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe (in Reinform, weniger in Form von Beimischungen) auch die fahrzeugbedingten Emissionen beeinflusst, konnte die Methodik - da hierzu keine abgesicherten Erkenntnisse vorliegen - diesbezüglich (noch) nicht erweitert werden.

5 Emissionen der verschiedenen Energiebereitstellungsketten

5.1 Erneuerbare Energien im Stromsektor

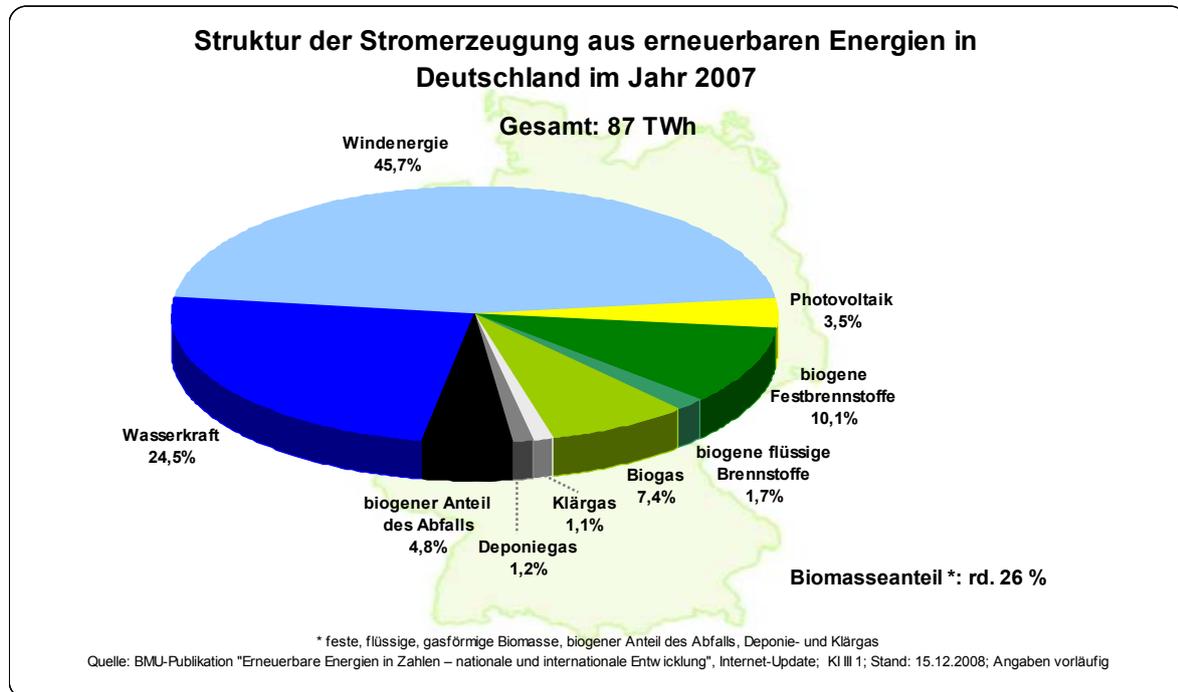


Abbildung 1: Struktur der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007

5.1.1 Stand des Wissens, Datenquellen

Für die in Kapitel 2 eingeführten Berechnungsschritte zur Bilanzierung der vermiedenen Emissionen im Stromsektor werden neben Daten zur erneuerbaren Endenergiebereitstellung, die der BMU-Veröffentlichung „Erneuerbare Energien in Zahlen“ mit Stand von Dezember 2008 entnommen werden (vgl. Abbildung 1 und Kapitel 1), sowie spezifischen Substitutionsfaktoren im Stromsektor (vgl. Kapitel 4.1) insbesondere auch repräsentative Angaben zu den Emissionen der fossilen sowie erneuerbaren Energiebereitstellungsketten benötigt. Diese werden aus verschiedenen Datenquellen abgeleitet:

- a) Emissionsfaktoren zu direkten Emissionen der fossilen Stromerzeugung beruhen auf dem Zentralen System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes. Als Grundlage der nationalen Emissionsberichterstattung ist das ZSE eine zuverlässige und aktuelle Datenquelle, die alle wesentlichen Schadstoffemissionen der fossilen Energiebereitstellung enthält. Des Weiteren sind diese Daten durch internes Qualitätsmanagement und internationale Überprüfungsprotokolle qualitätsgesichert. Das Vorgehen zur Ermittlung der direkten Emissionsfaktoren und der Gesamt-Emissionsfaktoren inklusive Vorketten wird im Detail in Kapitel 5.1.2 erläutert.
- b) Emissionsfaktoren der direkten und der Gesamtemissionen der erneuerbaren Energieträger wurden in bisherigen Berechnungen der AGEE-Stat jeweils der Da-

tenbank GEMIS entnommen. Diese Daten wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens auf ihre Repräsentativität für den durchschnittlichen Anlagenbestand geprüft und mit Ergebnissen aus anderen Datenbanken (u. a. Ecoinvent) sowie Expertenmeinungen abgeglichen (Ciroth 2009). In Einzelfällen führte dies dazu, dass Emissionsfaktoren aus GEMIS durch andere Datenquellen ersetzt bzw. modifiziert wurden. Als Ergebnis liegen der aktuellen Berechnung nun validierte Emissionsfaktoren zu Grunde, die sich von den bisher verwendeten Emissionsfaktoren zum Teil deutlich unterscheiden. Eine detaillierte Beschreibung der Emissionsfaktoren findet sich in Kapitel 5.1.2.

5.1.2 Dokumentation und Begründung der verwendeten Emissionsfaktoren

Im Folgenden werden die verwendeten Datenquellen sowie das methodische Verfahren zur Ableitung der Emissionsfaktoren für die jeweiligen Energieträger genauer erläutert. Im Detail sind die verwendeten Emissionsfaktoren der fossilen und erneuerbaren Strombereitstellungsketten im Datenanhang 1 (direkte Emissionen) und 2 (Gesamtemissionen) dokumentiert.

Die Ermittlung von repräsentativen Emissionsfaktoren für die *fossile Stromerzeugung* erfolgte in zwei Schritten: Aus dem Brennstoffeinsatz und der bereitgestellten Energiemenge wurden zunächst energieträgerspezifische Brennstoffausnutzungsgrade der fossilen Kraftwerke berechnet. Für die Angaben zum Brennstoffeinsatz und zur Bruttostromerzeugung wurden die Auswertungstabellen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) (Stand 11/2007) und der Expertengruppe „Stromerzeugung“ (AG Strerz, Stand 08/2007) innerhalb der AGEB herangezogen. Hierauf aufbauend werden in einem zweiten Berechnungsschritt aus den inputbezogenen Emissionsfaktoren der ZSE-Datenbank brennstoffspezifische Emissionsfaktoren für die direkten Emissionen der fossilen Stromerzeugung abgeleitet. Bei diesem Verfahren waren teilweise weitere energieträgerspezifische Besonderheiten zu beachten:

- Bei *Steinkohle* erfolgte die Berechnung wie vorstehend beschrieben.
- Bei *Braunkohle* hingegen wurde aufgrund teilweise revierspezifisch stark unterschiedlicher Emissionsfaktoren (beispielsweise für SO₂) zunächst eine Gewichtung entsprechend des Verhältnisses der Aktivitätsraten vorgenommen. Das weitere Vorgehen orientierte sich an dem oben beschriebenen Verfahren.
- Bei *Mineralöl und Erdgas* wurden die Nutzungsgrade für die verschiedenen technischen Anlagenkonzepte (Dampfturbine DT, Gasmaschine GM, Gasturbine GT und Gas- und Dampfturbine GuD) mittels Expertenschätzungen in Anlehnung an den jeweiligen Stand der Technik ermittelt. Flüssiggas, Stadt- und Kokereigas wurden hierbei nicht einbezogen. Die weiteren Berechnungsschritte erfolgten ebenfalls wie oben beschrieben.

Emissionsfaktoren für die *Vorketten der fossilen Stromerzeugung* werden durchgängig aus GEMIS entnommen. Damit ist eine methodisch einheitliche Abbildung der Vorketten gewährleistet.

Die Emissionsfaktoren für direkte und Gesamtemissionen der *erneuerbaren Stromerzeugung* werden aus mehreren Datenquellen abgeleitet:

Wasserkraft: Emissionsfaktoren für Wasserkraft werden einem Ecoinvent-Datensatz entnommen. Diesem Datensatz liegt ein für Deutschland repräsentativer Mix aus Laufwasser- und Speicherkraftwerken im Jahr 2000 zugrunde (Bauer et al. 2007).⁸

Windenergie: Emissionsfaktoren für Windenergie werden der Datenbank Ecoinvent entnommen (Burger / Bauer 2007). Der herangezogene Datensatz modelliert eine 800 kW-Anlage,⁹ welche die durchschnittliche Leistung der deutschen Windenergieanlagen nur mehr bedingt widerspiegelt und daher als konservative Übergangslösung eingestuft wird. Bemerkenswert ist allerdings die detaillierte und differenzierte Abbildung der Materialbilanz der untersuchten Windenergieanlagen, welche gut mit vereinzelt verfügbaren Angaben von Herstellern übereinstimmt (Ciroth 2009).

Photovoltaik: Als Datensatz für die Emissionen der Stromerzeugung aus Photovoltaik in Deutschland wird vereinfachend ein Ecoinvent-Datensatz für eine multi-kristalline 3 kW-Flachdachanlage herangezogen (Jungbluth / Tuchschnid 2007). Der Datensatz wurde insoweit an bundesdeutsche Verhältnisse angepasst, als die Emissionen des Prozesses auf die durchschnittliche Solarstrahlung in Deutschland bezogen wurden (Ciroth 2009).¹⁰

Biogene Festbrennstoffe: Hier wurde eine Unterscheidung zwischen der Stromerzeugung in Altholz-Kraftwerken (A1-A4) und Biomasse-Heizkraftwerken, welche nicht oder nur gering belastetes Altholz (A1-A2) sowie Waldholz einsetzen, vorgenommen. Als Datengrundlage für die Emissionsfaktoren dienen entsprechende GEMIS-Datensätze¹¹. Beim KWK-Prozess wurden die Werte entsprechend der ‚finnischen Methode‘ alloziert.

Flüssige Biomasse: Da das Gros der erneuerbaren Stromerzeugung aus Palmöl-BHKW-Großanlagen (> 1 MW) stammt, wurden Emissionsfaktoren aus einem GEMIS-Datensatz für ein größeres Palmöl-BHKW herangezogen¹². Der Datensatz wurde jedoch modifiziert, indem die Emissionsfaktoren der Palmöl-Vorkette aus Ecoinvent übernommen wurden. Verbindungsglied zwischen dem Vorkettenprozess und dem BHKW-Prozess ist die im BHKW eingesetzte Menge an Palmöl. Über eine Allokation nach der „finnischen Methode“ wurde zudem nicht nur der BHKW-Prozess,

⁸ Ecoinvent v2.01-Datensatz „electricity, hydropower, at power plant, DE“

⁹ Ecoinvent v2.01-Datensatz „electricity, at wind power plant 800kW, RER“

¹⁰ Ecoinvent v2.01-Datensatz „electricity, PV, at 3kWp flat roof installation, multi-Si, CH“. Der Datensatz wurde an durchschnittliche deutsche Einstrahlungswerte angepasst. Die Korrektur berücksichtigt allerdings nicht, dass in Deutschland Solarzellen ungleichmäßig über das Bundesgebiet verteilt und überwiegend in der südlichen Landeshälfte installiert sind.

¹¹ Holz-Altholz-A1-4-KW-DT-2005 und Holz-Altholz A1-2-HKW-DM/brutto mit Allokation

¹² Palmöl-BHKW-gross-DE-2005/brutto mit Allokation

sondern auch die von der Vorkette angeforderte Menge an Palmöl in einen allein Strom und einen allein Wärme erzeugenden Prozess aufgeteilt.

Biogas: Die durch den Energieträger Biogas verursachten Emissionen sind insbesondere von folgenden Faktoren abhängig:

- Landwirtschaftliche Vorkette: Biogas kann aus ganz verschiedenen Substraten mit jeweils eigenen Anbau- und Verarbeitungsschritten gewonnen werden.
- Aufbereitung, Lagerung und Transport des Biogases: Leckagen können zum Austritt von Methan mit gravierenden Auswirkungen auf das Treibhauspotential führen.
- Technische Ausstattung der Anlagen, z.B. gasdichte Abdeckung des Gärrestlagers; Art des Motors (Zündstrahl- oder Gasmotor); Wartung der Anlage (Intervalle); Fahrweise der Anlage; Abgasreinigung (evtl. Oxidationskatalysator).

Für den deutschen Anlagenbestand insgesamt repräsentative Daten liegen zu einigen der benannten Einflussfaktoren gegenwärtig nicht vor. Folglich werden die Einflussfaktoren gegenwärtig von keiner Ökobilanz-Datenbank vollständig abgebildet. Als beste verfügbare Übergangslösung wurden daher Daten aus einem aktuellen Forschungsvorhaben zu den Umweltauswirkungen der Biogasnutzung verwendet, die von IFEU freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden. Die in Vogt et al. (2008) dokumentierten Basisdatensätze modellieren dabei alle Phasen von der landwirtschaftlichen Vorkette, der Biogasgewinnung aus Maissilage bzw. Rindergülle, der Nutzung in einem 500 kW-BHKW ohne Oxidationskatalysator bis zur Lagerung und Ausbringung des Gärrests. Lediglich die direkten Emissionsfaktoren des BHKW für CO, NO_x sowie NMVOC wurden vom UBA aufgrund von Expertenmeinungen modifiziert. Zuletzt wurde aus beiden Datensätzen ein gemeinsamer Datensatz gebildet, der den energetischen Anteilen der wichtigsten Substrate am gesamten Substrateinsatz in Biogasanlagen (Gewichtung: 15 % Gülle und 85 % Maissilage) entspricht. Durch Allokation nach der „finnischen Methode“ wurde dieser Datensatz in einen Gas- und einen Stromdatensatz aufgetrennt.

Klärgas und Deponiegas: Empirisch erhobene Emissionsmessungen bei der energetischen Nutzung von Klär- oder Deponiegas in BHKW liegen leider nicht vor. Aus diesem Grund werden bis auf Weiteres die direkten Emissionsfaktoren der oben beschriebenen Biogas-Datensätze auch für Klär- und Deponiegas-BHKW angesetzt. Die Vorkette wird per Definition gleich Null gesetzt; die Aufwendungen für die Herstellung der Anlage sind über den gesamten Lebenszyklus betrachtet gering.

Biogener Anteil des Abfalls: Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung aus Siedlungsabfällen werden der ZSE-Datenbank entnommen. Als elektrischer Nutzungsgrad wird einheitlich 15 % unterstellt (wie in GEMIS). Zudem werden Emissionen aus der Vorkette per Definition gleich Null gesetzt; die Aufwendungen für die Herstellung der Anlage sind über den gesamten Lebenszyklus betrachtet gering.

Geothermie: Geothermische Stromerzeugung findet in Deutschland gegenwärtig an je einem Standort im Süddeutschen Molassebecken, am Oberrheingraben sowie im norddeutschen Becken statt (BMU 2009). Emissionen resultieren vor allem aus dem Stromverbrauch der Anlagen für den Thermalwasser-, Kühl- und Konversionskreislauf, welcher unter anderem von der Förderrate und der Produktivität des Reservoirs, von dem Konversionsprozess, der Anlagengröße und der Wärmeauskopplung sowie von der Kühltechnologie abhängt. Die Emissionsfaktoren der geothermischen Stromerzeugung variieren daher beträchtlich. Als konservative Emissionsfaktoren wurden hier Ökobilanzergebnisse für eine ORC-Modellanlage im Süddeutschen Molassebecken mit 3 MW_{el} und 13 MW_{th} angesetzt (Frick et al. 2008).

Tabelle 5: Datenquellen der verwendeten Emissionsfaktoren mit und ohne Vorketten im Stromsektor

	Datenquelle für direkte Emissionsfaktoren	Datenquelle für Vorkettenemissionen
Braunkohle	UBA-ZSE 2008 (mit Umrechnungen)	GEMIS 4.5
Steinkohle	UBA-ZSE 2008 (mit Umrechnungen)	GEMIS 4.5
Erdgas	UBA-ZSE 2008 (mit Umrechnungen)	GEMIS 4.5
Öl	UBA-ZSE 2008 (mit Umrechnungen)	GEMIS 4.5
Wasser	gleich Null gesetzt	Ecoinvent 2008
Wind	gleich Null gesetzt	Ecoinvent 2008
Photovoltaik	gleich Null gesetzt	Ecoinvent 2008 (mit Anpassungen)
Geothermie	gleich Null gesetzt	Frick et al. 2008 (mit Wärmegutschrift)
Festbrennstoffe – Altholz u. HKW	GEMIS 4.5 (HKW alloziert)	GEMIS 4.5 (HKW alloziert)
flüssige Biomasse	GEMIS 4.5 (alloziert)	Ecoinvent 2008 (umgerechnet und alloziert)
Biogas	Vogt et al. 2008 (modifiziert, alloziert)	Vogt et al. 2008 (modifiziert, alloziert)
Klärgas	UBA / Vogt et al. 2008 (alloziert)	gleich Null gesetzt
Deponiegas	UBA / Vogt et al. 2008 (alloziert)	gleich Null gesetzt
biogener Abfall Anteil	UBA-ZSE 2008 (mit Umrechnungen)	gleich Null gesetzt

5.2 Erneuerbare Energien im Wärmesektor

5.2.1 Stand des Wissens, Datenquellen

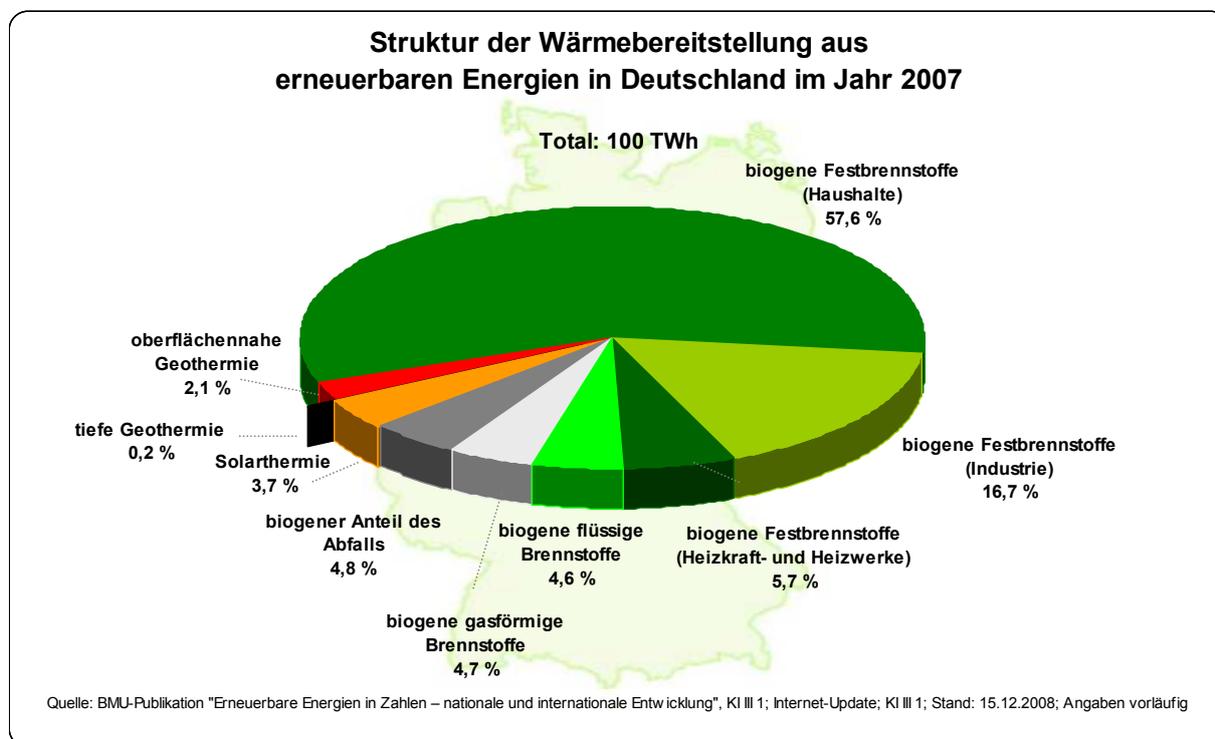


Abbildung 2: Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007 (BMU 2008a)

Die in Kapitel 2 eingeführten Berechnungsschritte zur Erfassung der vermiedenen Emissionen erfordern neben Daten zur erneuerbaren Endenergiebereitstellung, die der BMU-Veröffentlichung „Erneuerbare Energien in Zahlen“ mit Stand von Dezember 2008 entnommen werden (vgl. Abbildung 2 und Kapitel 3), sowie spezifischen Substitutionsfaktoren im Wärmesektor (vgl. Kapitel 4.2) auch repräsentative Emissionsfaktoren für die verschiedenen fossilen und erneuerbaren Wärmebereitstellungsketten.

Repräsentative Emissionsfaktoren der fossilen Wärmebereitstellung sowie der energetischen Scheitholznutzung in Kleinf Feuerungsanlagen werden im Rahmen der Emissionsberichterstattung des Umweltbundesamts in regelmäßigen Abständen durch Prüfstandsmessungen ermittelt (v.a. Pfeiffer et al. 2000; Rentz et al. 2002; Struschka et al. 2008). Diese empirisch gut abgesicherten Ergebnisse stellen daher auch eine wesentliche Grundlage der Emissionsbilanzierung dar.

Über den Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen hinaus liegen nur wenig repräsentative Emissionsfaktoren vor. Insbesondere besteht ein Mangel an repräsentativen Emissionsfaktoren im Bereich der industriellen Nutzung fester, flüssiger und gasförmiger Bioenergieträger, für Biomasse-Heiz(kraft)werke sowie für Biogasanlagen. In diesen Bereichen sowie bei Solarthermie und Wärmepumpen wird daher auf modellierte

Emissionsfaktoren aus Ökobilanzdatenbanken (v.a. GEMIS und Ecoinvent) oder aktuelle Forschungsvorhaben von BMU und UBA zurückgegriffen.

5.2.2 Dokumentation und Begründung der verwendeten Emissionsfaktoren

Im Folgenden werden die Datenquellen der verwendeten Emissionsfaktoren kurz dargestellt (vgl. auch Tabelle 6). Im Detail sind sie in den Datenanhängen 3 (direkte Emissionen) und 4 (Gesamtemissionen) dokumentiert.

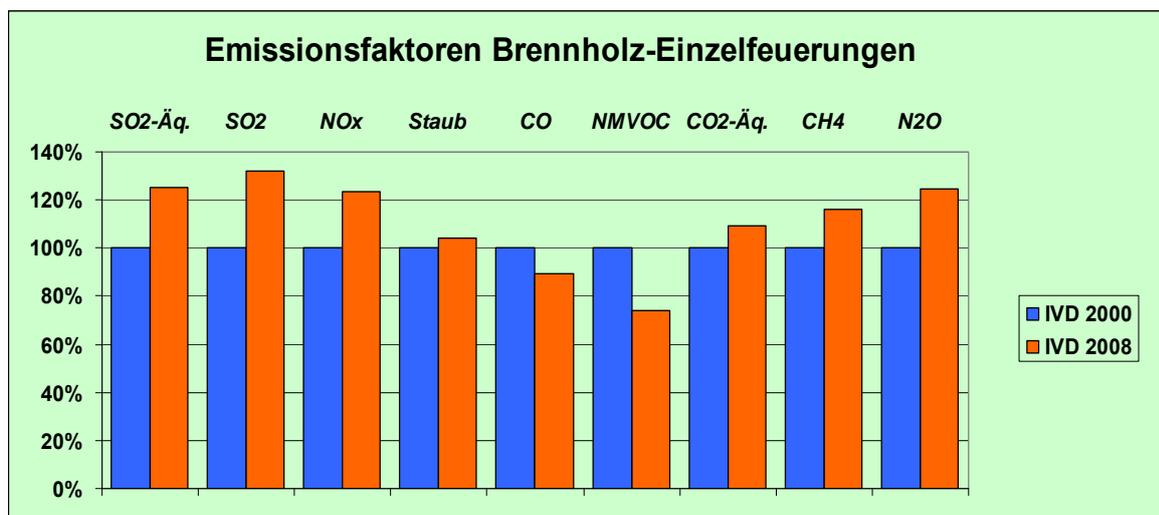
Dabei ist zu beachten, dass sich die Emissionsfaktoren für die energetische Nutzung fester Biomasse in Haushalten und Heiz(kraft)werken auf den gesamten Brennstoffeinsatz (Endenergie), nicht jedoch auf die bereitgestellte Nutzenergie beziehen. Dies gilt auch für die Emissionsfaktoren zum Einsatz fester und flüssiger Biomasse in der Industrie sowie für die Wärmeerzeugung aus dem biogenen Anteil des Abfalls. Bei der Wärmeerzeugung aus Bio-, Klär- und Deponiegas sowie bei der Wärmegewinnung aus tiefer Geothermie hingegen beziehen sich die Emissionsfaktoren nicht auf die eingesetzte, sondern lediglich auf die tatsächlich ausgekoppelte Endenergie. Bei Solarthermie und Wärmepumpen schließlich beziehen sich die Emissionsfaktoren auf die unmittelbar für Energiedienstleistungen zur Verfügung stehende Nutzenergie. Aufgrund der unterschiedlichen Bezugsgrößen sind die Emissionsfaktoren der verschiedenen Energiebereitstellungsketten im Wärmesektor nur bedingt untereinander vergleichbar.

Emissionsfaktoren für die fossile und erneuerbare Wärmeerzeugung in Kleinfeuerungsanlagen werden der UBA-Datenbank ZSE bzw. dem UBA-Forschungsvorhaben „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung“ (Struschka et al. 2008) entnommen. Die berücksichtigten Emissionsfaktoren beschreiben die direkten Luftemissionen sowohl von Heizöl-, Erdgas- und Scheitholz-Heizungskesseln als auch beim Einsatz von Steinkohle und Braunkohlebriketts sowie von Scheitholz in Einzelfeuerungsstätten und -öfen (Struschka et al. 2008). Die verwendeten Emissionsfaktoren unterscheiden sich dabei zum Teil deutlich von den in einem Vorgängervorhaben ermittelten Werten (vgl. Abbildung 3).

Die Emissionsfaktoren für den Einsatz fossiler Energieträger in Großfeuerungsanlagen und TA-Luft-Kessel der Industrie, in Kleinfeuerungsanlagen der landwirtschaftlichen Betriebe und Gärtnereien, für die Wärmeerzeugung aus dem biogenen Anteil des Abfalls in öffentlichen Kraftwerken (nach 17. BImSchV) sowie für die energetische Nutzung der bei der Zellstoff- und Papierherstellung anfallenden Ablaugen und Reststoffe sind ebenfalls der UBA-Datenbank ZSE entnommen.

Die Emissionsfaktoren für die Wärmeerzeugung aus fester Biomasse in der Industrie stellen einen Mix von Emissionsfaktoren für die Nutzung biogener Abfälle in Industriekraftwerken und -feuerungen (23 %) sowie für den Einsatz von Holz, Rinde, Holzresten und holzähnlichen Reststoffen in KWK-Anlagen und Industriekesseln der Holz-, Möbel- und Papierindustrie (77 %) dar. Während erstere wiederum dem ZSE

entstammen, wurden für letztere Daten aus dem UBA-Forschungsvorhaben „Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010“ (Rentz et al. 2002) herangezogen.



IVD	SO2-Äq	SO2	NOx	Staub	CO	NMVOC	CO2-Äq	CH4	N2O	Unit
2000	0,151	0,024	0,183	0,418	12,772	1,006	11,050	0,411	0,005	g / kWh _{Input}
2008	0,189	0,031	0,227	0,434	11,397	0,742	12,094	0,477	0,007	g / kWh _{Input}

Abbildung 3: Veränderung der Emissionsfaktoren für Brennholz-Einzelf Feuerungen

(Gewichtete durchschnittliche Emissionsfaktoren für den Holzeinsatz in Kaminen, Kaminöfen, Kachelöfen, Dauerbrandöfen nach Struschka et al. (IVD 2008) im Vergleich zu Pfeiffer et al. (IVD 2000)

Emissionsfaktoren für die Fernwärmeversorgung in Deutschland sind der UBA-Datenbank ZSE entnommen und entsprechend der Zusammensetzung des Brennstoffeinsatzes aggregiert worden (für das Jahr 2006 wird ein fossiler Brennstoffmix von 54 % Erdgas, 27 % Steinkohle, 6 % Braunkohle, 2 % Mineralöl, 11 % fossiler Anteil des Abfalls unterstellt). Des Weiteren wird bei der Gegenüberstellung dezentraler erneuerbarer Wärmebereitstellung mit der zentralen Bereitstellung fossiler Fernwärme ein pauschaler Zuschlag von 14 % für die Leitungsverluste berücksichtigt (vgl. Fritsche / Rausch (2008) auf Basis von Angaben der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme). Dieser Zuschlag kommt bei direkter Substitution fossiler durch erneuerbare Fern- und Nahwärme nicht zur Anwendung.

Für die Emissionsfaktoren der elektrischen Nachtspeicherheizungen wird eine nahezu verlustfreie Umwandlung der elektrischen in thermische Energie unterstellt. Die Emissionsfaktoren des zugrunde gelegten fossilen Strommix sind wiederum der UBA-Datenbank für die nationale Emissionsberichterstattung entnommen. Die Zusammensetzung orientiert sich an einem Datensatz aus GEMIS 4.5.¹³

Ebenfalls auf GEMIS 4.5 basieren die Emissionsfaktoren für die Wärmeerzeugung aus Holz in Heizwerken (20 %) und Heizkraftwerken (80 %) sowie für Pflanzenöl-

¹³ Der GEMIS 4.5-Datensatz "EI-KW-Park-DE-2000-Grundlast" nimmt als fossiler Erzeugungsmix bei Schwachlast folgende Struktur an: 40 % Braunkohle-, 40 % Atom-, 12 % Steinkohle, 8 % Erdgas-Kraftwerke.

BHKW. Bei letzterem wurden allerdings umfangreiche Änderungen an den direkten Emissionsfaktoren und in der Vorkette vorgenommen (vgl. Kapitel 5.1.2). Die genannten KWK-Datensätze wurden entsprechend der Finnischen Methode alloziert.

Die Emissionsfaktoren zur Wärmeerzeugung in Biogas-, Klärgas- und Deponiegas-BHKW gehen auf das BMU-Forschungsvorhaben „Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und –nutzung in Deutschland“ zurück (Vogt et al. 2008) und sind von IFEU freundlicherweise zur Verfügung gestellt worden. Wie in Kapitel 5.1.2 bereits erläutert, ist dieser Datensatz zudem von UBA unter anderem im Hinblick auf die Emissionen des 500 kW-Gasmotors sowie bezüglich der Stromkennzahl modifiziert worden. Als Substrateinsatz für die Biogaserzeugung wird ein ertragsbezogener Mix von 15 % Gülle und 85 % Maissilage angesetzt. Als Emissionsfaktoren für Klär- und Deponiegas werden die direkten Emissionsfaktoren für das BHKW übernommen; die Vorkette wird per Definition gleich Null gesetzt.

Die Datensätze zur solarthermischen Wärmeerzeugung (75 % Flach- und 25 % Röhrenkollektoren) sowie zur Nutzbarmachung der Umgebungswärme durch Wärmepumpen (75 % Erdsonde- und Wasser-, 25 % Luft-Wärmepumpen) sind Ecoinvent 2.01 entnommen, welches sowohl die Material- wie auch die Energieflüsse (z. B. den Stromverbrauch der Umwälzpumpe) detailliert abbildet (Jungbluth 2007, Heck 2007). Die Übertragbarkeit auf deutsche Verhältnisse ist dadurch sichergestellt, dass der verwendete Strommix an deutsche Verhältnisse angepasst worden ist. Aufgrund der oben angesprochenen Problematik „Endenergie- vs. Nutzenergiebilanzierung“ wird an dieser Stelle zudem auf einen Korrekturfaktor verzichtet, obwohl die Angaben in BMU (2008a) für Solarenergie und Geothermie Nutzenergie ausweisen.

Repräsentative Emissionsfaktoren der tiefeingeothermischen Wärmeerzeugung liegen leider kaum vor. Als Hilfskonstruktion wird daher auf die in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Ergebnisse einer ORC-Modellanlage im süddeutschen Molassebecken zurückgegriffen, die das Institut für Energetik und Umwelt im Rahmen des UBA-Forschungsvorhabens „Umwelteffekte der geothermischen Stromerzeugung“ erstellt hat (Frick et al. 2008). Der Modellfall geht von einer relativ hohen Wärmeerzeugung im Vergleich zur Stromerzeugung aus, so dass ein großer Teil (43 %) der Prozessemissionen hier der Wärme zugerechnet wird.

Zur vollständigen Abbildung der Umweltwirkungen der verschiedenen Bereitstellungsketten werden neben den aufgeführten Emissionsfaktoren des direkten Anlagenbetriebs auch Vorkettendaten für die Bereitstellung fossiler und biogener Brennstoffe sowie für die Herstellung der Anlagen benötigt. Die Emissionsfaktoren dieser Vorketten sind in der Regel GEMIS 4.5 entnommen. In wenigen Fällen bilden die herangezogenen Ökobilanzen die Vorketten zudem bereits vollständig ab.

Tabelle 6: Datenquellen der verwendeten Emissionsfaktoren mit und ohne Vorketten im Wärmesektor

Energiebereitstellungskette	Datenquelle für direkte Emissionsfaktoren	Datenquelle für Vorkettenemissionen	Zentrale Annahmen
Heizöl (Haushalte) Erdgas (Haushalte) Steinkohlen (Haushalte) Braunkohle-Briketts (Haushalte)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009)	GEMIS 4.5	Wärmeerzeugung in Kleinfeuerungsanlagen der privaten Haushalte (1. BImSchV)
Fernwärme (mit / ohne Netzverluste) Stromheizung (mit Netzverluste)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009) (aggregiert)	GEMIS 4.5 (aggregiert)	Aggregation der energieträgerspezif. Emissionsfaktoren; Netzverluste 10% (Strom) bzw. 14% (Fernwärme)
Heizöl (Landwirtschaft) Erdgas (Landwirtschaft) Steinkohlen (Landwirtschaft) Braunkohle-Briketts (Landwirtschaft)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009)	GEMIS 4.5	Wärmeerzeugung in Kleinfeuerungsanlagen der Landwirtschaft und Gärtnereien (1. BImSchV)
Heizöl-Mix EL und S (Industrie) Erdgas (Industrie) Steinkohle-Mix (Industrie) Braunkohle-Mix (Industrie)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009) (aggregiert)	GEMIS 4.5 (aggregiert)	Wärmeerzeugung in Industriekesseln bzw. IKW des verarbeitenden Gewerbes (TA Luft, 13. BImSchV)
feste Biomasse-Einzelfeuerungen feste Biomasse-Scheitholzessel (Haushalte)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009)	GEMIS 4.5	Wärmeerzeugung in Kleinfeuerungsanlagen der privaten Haushalte (1. BImSchV)
feste Biomasse-Mix (Industrie)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009); Rentz et al. 2002	GEMIS 4.5 (aggregiert)	Wärmeerzeugung in Industriekesseln bzw. IKW des verarbeitenden Gewerbes (TA Luft, 13. BImSchV, 17. BImSchV)
feste Biomasse-Heizwerk feste Biomasse-Heizkraftwerk	GEMIS 4.5 (ggf. alloziert)	GEMIS 4.5 (ggf. alloziert)	Waldholz-Hackschnitzel-Heizwerk für Nahwärme; Altholz (A1/ A2)-Heizkraftwerk mit Dampfmotor
flüssige Biomasse (Industrie)	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009)	GEMIS 4.5	Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken der Zellstoff- und Papierindustrie
flüssige Biomasse (Pflanzenöl)	GEMIS 4.5 (modifiziert, alloziert)	Ecoinvent v2.01 (umgerechnet und alloziert)	Pflanzenöl-BHKW 500 kW, Vorkette für Palmöl
gasförmige Biomasse (Biogas)	Vogt et al. 2008 (alloziert, modifiziert)	Vogt et al. 2008 (alloziert)	Biogas-Gasmotor-BHKW 500 kW, ohne OxiKat, Methanverlust bei Produktion 1%, im Motor 0,5%, im Gärrestlager 2,5%, Substratmix (Masse) 50% Gülle, 50% Nawaro.
gasförmige Biomasse (Klärgas) gasförmige Biomasse (Deponiegas)	Vogt et al. 2008 (alloziert, modifiziert)	gleich Null gesetzt	Biogas-Gasmotor-BHKW 500 kW, ohne OxiKat (vgl. oben),
biogener Anteil des Abfalls	UBA-ZSE 2007 (Subm. 2009)	gleich Null gesetzt	Wärmeerzeugung in öffentlichen (Heiz-)Kraftwerken (17. BImSchV)
Solarthermie-Mix	gleich Null gesetzt	Ecoinvent v2.01 (modifiziert)	75% Flachkollektor 4m ² , 25% Röhrenkollektor 10,5 m ²
Oberflächennahe Geothermie (Sole-, Wasser-, Luft-Wärmepumpe)	gleich Null gesetzt	Ecoinvent v2.01 (modifiziert)	75% Erdsonde- und Wasser-Wärmepumpe (JAZ 3,9) 25% Luft-Wärmepumpe (JAZ 2,8)
tiefe Geothermie	gleich Null gesetzt	Frick et al. 2008	ORC-13 MW _{th} -Anlage, Süddeutsches Molassebecken

5.3 Erneuerbare Energien im Verkehrssektor

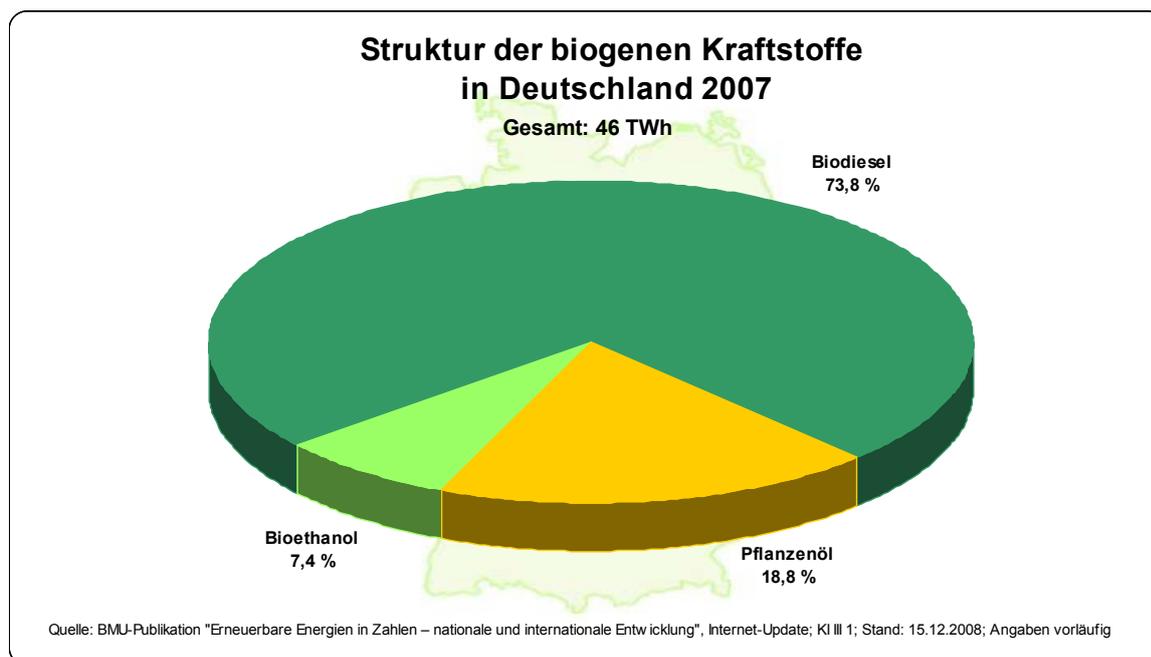


Abbildung 4: Struktur der Kraftstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007

Zur Ermittlung der vermiedenen Emissionen im Verkehrssektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien werden bisher nur flüssige Biokraftstoffe betrachtet (Abbildung 4). Dies ist insofern sachgerecht, als andere erneuerbare Energien (u. a. aufbereitetes Biogas für gasgetriebene Fahrzeuge, Fischer-Tropsch-Diesel, Elektrizität aus erneuerbaren Energien) bislang mengenmäßig noch unbedeutend sind. In Zukunft werden diese Alternativen bei entsprechend höherer Relevanz zu berücksichtigen sein.

5.3.1 Stand des Wissens, Datenquellen

Wie in Kapitel 2.4 bereits ausgeführt wurde, sind die Emissionen der Biokraftstoffverwendung insbesondere von der Art und Herkunft der Rohstoffe zur Biokraftstoffherstellung abhängig.

Auf die hohen Unsicherheiten bei der Nachverfolgung der Stoffströme wurde bereits hingewiesen (vgl. Kapitel 2.5). So liefern sowohl die Biokraftstoffstatistik als auch die Außenhandelsstatistik vom Statistischen Bundesamt (Destatis) zu diesem Aspekt nur eingeschränkt repräsentative Ergebnisse und auch die Branchenstatistiken (Ovid, UFOP, VDB, BDB^e) decken diesen Fokus nur in Ansätzen ab. Expertenschätzungen sind ebenfalls nur teilweise belastbar. Erschwerend kommt hinzu, dass die für die Biokraftstoffherstellung relevanten Stoffe auch teilweise im Nahrungsmittelbereich bzw. für andere industrielle/stoffliche Anwendungen eingesetzt werden und die amtlichen Statistiken diese Abgrenzungen nur ungenügend berücksichtigen. Insgesamt ist damit eine ungünstige Datensituation zur Ermittlung der Art und Herkunft der Roh-

stoffe zur Biokraftstoffherstellung zu konstatieren, wobei es zwischen den drei wesentlichen Biokraftstoffen deutliche Unterschiede gibt.

Als vergleichsweise gut kann die Datenlage hingegen für den Einsatz bzw. den Verbrauch der verschiedenen Biokraftstoffe eingeschätzt werden. Mit den im Rahmen der Mineralöldatastatistik durch BAFA erfassten Daten, die auch die Grundlage der deutschen Energiebilanz und der Veröffentlichungen der AGEE-Stat darstellen, stehen auch für die Emissionsberechnung belastbare Werte zur Verfügung.

Ergebnisse von Ökobilanzierungen sind schließlich neben der Rohstoffbasis von zahlreichen weiteren Einflussfaktoren abhängig: den landwirtschaftlichen Randbedingungen (Böden, Düngung, Erträge), den Produktionsprozessen bzw. -technologien, der Energieversorgung der Produktionsanlagen, der Bewertung der Nebenprodukte etc. Diese Aufzählung zeigt bereits die enormen Herausforderungen zur Ermittlung „deutschlandtypischer“ Verhältnisse, da z. B. die Rohstoffe für die Biokraftstoffproduktion an sehr unterschiedlichen Standorten mit sehr unterschiedlichem Düngereinsatz und Ernteertrag angebaut werden. Auch durch die unterschiedliche Energieversorgung der Anlagen (z. B. im Bereich Bioethanol: Braunkohle-KWK in Zeitz, Gasturbine in Klein Wanzleben) wird der Emissionsfaktor der Bereitstellungskette der Biokraftstoffe stark beeinflusst. Daher sind auch diverse Studien zur Ökobilanzierung von Biokraftstoffen nur begrenzt vergleichbar.

Für die Ableitung von Emissionsfaktoren werden insbesondere folgende Quellen einbezogen:

- GEMIS 4.5 (2008) und vorhergehende Versionen
- Ecoinvent Datenbank v2.01 (2007)
- Veröffentlichungen des IE Leipzig bzw. des Deutschen Biomasseforschungszentrums (2007/08)
- Ansätze des Joint Research Centre (JRC) im Rahmen der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RL 2009/28/EG)
- Ansätze von IFEU im Rahmen der deutschen Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe (2007/08)
- Ansätze von IFEU im Rahmen der deutschen Biomasse-Strom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioStNachV 2009).

Die genannten Datenquellen unterscheiden sich bereits in der Frage der Allokation von Haupt- und Nebenprodukten: Bei älteren GEMIS-Versionen und IE / DBFZ werden die Nebenprodukte nach der Gutschriftenmethode bilanziert, dagegen erfolgt bei Ecoinvent die Allokation nach dem Marktpreisverhältnis der Haupt- und Nebenprodukte. Bei IFEU, JRC und GEMIS 4.5 wird auf Basis des unteren Heizwertes alloziert.

Die aufgeführten Quellen unterscheiden sich ebenfalls hinsichtlich der Dokumentati-on von Rahmenbedingungen und Berechnungsansätzen. Die ausführlichsten Doku-

mentationen liegen bei Ecoinvent und IFEU vor. Als Ergebnis von Ökobilanzen wurden mit Ausnahme von GEMIS und Ecoinvent zudem häufig nur aggregierte Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten publiziert, jedoch keine Ergebnisse für die Treibhausgasemissionen im Einzelnen oder für weitere Luftschadstoffe wie SO₂, NO_x und NH₃.

5.3.2 Dokumentation und Begründung der verwendeten Emissionsfaktoren

Nachfolgend werden Grundlagen des Biokraftstoffverbrauchs in Deutschland sowie korrespondierende Emissionsfaktoren, welche sich im Unterschied zum Strom- und Wärmebereich immer auf die Gesamtemissionen einschließlich der Vorketten beziehen, dargestellt.

Als Pflanzenöl wird im Kraftstoffbereich aufgrund seiner Eigenschaften sowie bestimmter Normierungen (Vornorm DIN 51605) überwiegend Rapsöl eingesetzt (Remmele 2009). Eine Verwendung von Palmöl kann insbesondere aufgrund des temperaturabhängigen Viskositätsverhaltens weitgehend ausgeschlossen werden. Dagegen ist eine teilweise Beimischung von Sojaöl auch unter Einhaltung der in der genannten Vornorm festgelegten Parameter und unter Beibehaltung der Steuerentlastung möglich. Dies wird von einigen Anbietern auch entsprechend praktiziert. Inwieweit technisch mögliche Mengen (bis maximal 25 %) auch realisiert werden, ist hauptsächlich vom Preisverhältnis Raps- zu Sojaöl abhängig. Der Preisvorteil von Soja- gegenüber Rapsöl lag gemittelt über das Jahr 2007 bei schätzungsweise 20 €/t und damit deutlich unter dem des Jahres 2006 (ca. 100 €/t) (IE 2007). Insgesamt dürfte der Anteil von Sojaöl am gesamten Pflanzenölkraftstoff in 2007 etwa 10 % betragen haben (Remmele 2009).

Beim Bioethanol ist durch die bislang vergleichsweise geringe Anbieterzahl der Markt (noch) überschaubar, und Einschätzungen für Deutschland insgesamt können über Einzelangaben der Unternehmen – die vielfach durch die Rechtsform der Aktiengesellschaft berichtspflichtig sind – gewonnen werden. Zudem werden die Einsatzmengen für die Bioethanolherstellung in Deutschland auch statistisch erfasst. Eine entsprechende Auswertung und Publizierung erfolgt kontinuierlich durch den Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V. (BDB^e). Demnach basierten im Jahr 2007 etwa 88 % des in Deutschland produzierten Bioethanols auf Getreide, 8 % auf Rübenstoffen und 4 % auf anderen Stoffen (insb. Abfälle aus der Lebensmittelindustrie) (BDB^e 2009). Große Unsicherheiten bestehen jedoch sowohl bei den Ex- als auch bei den Importen von Bioethanol. Zwar lässt sich das Import-Export-Saldo aus der Produktion und dem Verbrauch in Deutschland rechnerisch bestimmen, weitergehende Ableitungen sind jedoch nicht möglich. Bioethanol auf Basis von Getreide und Zuckerrüben wird sowohl ex- als auch importiert. Beim Gros der Importe handelt es sich jedoch um Bioethanol auf Basis von Zuckerrohr aus Brasilien (Klein 2009). Näherungsweise wird daher angenommen, dass das berechnete Import-/Exportsaldo vollständig auf Zuckerrohr basiert.

Bei Biodiesel ist das Marktgeschehen aufgrund der hohen Anzahl an Anbietern sowie zwei Produktionsstufen (Ölgewinnung, Biodieselherstellung) nur schwer überschaubar. Eine Analyse des Außenhandels ist zudem eine große Herausforderung, da sowohl der Ölpflanzen-, der Pflanzenöl- als auch der Biodieselmärkte zu betrachten sind. Dazu kommt, dass nach Deutschland importiertes (und statistisch erfasstes) Pflanzenöl nicht nur zu Biodiesel verarbeitet, sondern auch direkt als Kraftstoff, in der chemischen Industrie sowie in stationären Energieanlagen, eingesetzt wird. Die Verwendung im Nahrungsmittelsektor ist dagegen nur beim Rapsöl ausgeprägt. Soja- und Palmöle werden dort nur in geringem Maße verwendet. Insgesamt sind beim Biodiesel die Unsicherheiten über die Rohstoffgrundlagen sehr hoch. In Deutschland verwendeter Biodiesel basiert gleichwohl vor allem auf vier Rohstoffgrundlagen: Raps, Soja, Palmöl sowie biogenen Abfällen.

- Das Inlandsaufkommen an Rapsöl betrug im Jahr 2007 etwa 3,57 Mio. t und setzt sich aus inländischer Produktion von 2,80 Mio. t, Einfuhren von 1,09 Mio. t sowie Ausfuhren von 0,32 Mio. t zusammen (UFOP 2008). Hiervon wurden in der Nahrungsmittelindustrie etwa 0,65 Mio. t und in der chemischen Industrie ca. 0,1 Mio. t eingesetzt. Somit standen etwa 2,82 Mio. t für energetische Zwecke zur Verfügung. Davon wurden etwa 0,07 Mio. t stationär und ca. 0,75 Mio. t als Reinkraftstoff genutzt. Etwa 2,0 Mio. t wurden zur Biodieselproduktion eingesetzt.
- Sojaöl wurde in Deutschland im Jahr 2007 in einem Umfang von etwa 0,65 Mio. t produziert. Importiert wurden 0,41 Mio. t und exportiert 0,20 Mio. t (UFOP 2008). Die Inlandsverwendung betrug damit 0,86 Mio. t. Zieht man davon die direkt als Kraftstoff eingesetzte Menge (ca. 0,08 Mio. t), sowie die für Nahrungsmittel genutzten Pflanzenöle (ca. 0,05 Mio. t) und die Verwendung in der chemischen Industrie (etwa 0,13 Mio. t) ab, so standen ca. 0,6 Mio. t zur Biodieselproduktion zur Verfügung. Zusätzlich wurden etwa 0,4 Mio. t Biodiesel auf Sojabasis aus den USA nach Deutschland importiert (Sieber 2008). Insgesamt wurden somit etwa 1 Mio. t Biodiesel auf Sojabasis im deutschen Kraftstoffsektor eingesetzt.
- Das Inlandsaufkommen an Palmöl belief sich im Jahr 2007 auf etwa 0,89 Mio. t (Einfuhr 1,08 Mio. t, Ausfuhr 0,19 Mio. t) (UFOP 2008). In stationären Energieanlagen wurden im selben Jahr etwa 0,59 Mio. t eingesetzt (IE 2007). Die chemische Industrie verbrauchte ca. 0,10 Mio. t (Schmitz 2006). Die verbleibende Menge (ca. 0,20 Mio. t) wurde für die Biodieselproduktion verwendet.
- Biogene Abfälle als Rohstoffgrundlage nutzten 2007 drei Hersteller an vier Produktionsstandorten in Deutschland (Bockey 2009). Die Produktionsmenge – abgeleitet von den Produktionskapazitäten und der durchschnittlichen Auslastung in dem Jahr – dürfte sich im Jahr 2007 auf etwa 110.000 t belaufen haben (Weber 2009). Exporte und Importe von abfallbasiertem Biodiesel fanden 2007 in nennenswertem Umfang nicht statt (Bockey 2009, Weber 2009).

Tabelle 7: Anteile einzelner Rohstoffe an der gesamten Biokraftstoffverwendung in Deutschland im Jahr 2007 (in %)

(UBA auf Basis Sieber 2008, Remmele 2009, Bockey 2009, BDB^e 2009, Weber 2009)

	Raps	Soja	Palm	Abfälle	Getreide	Zuckerrohr	Rüben	Andere
Pflanzenöl	90	10	0	0				
Biodiesel	54	30	14	2				
Bioethanol					60	32	5	3

Tabelle 7 gibt abschließend eine zusammenfassende Übersicht zu den Rohstoffgrundlagen der in Deutschland eingesetzten Biokraftstoffe.

Im Folgenden werden die *Emissionsfaktoren für relevante Biokraftstoff-Bereitstellungsketten* dargestellt. Dabei handelt es sich stets um Gesamtemissionen, die die Emissionen beispielsweise der landwirtschaftlichen Vorketten mit berücksichtigen. Wie bereits in Kapitel 2.5 dargelegt wurde, sind direkte und indirekte Landnutzungsänderungen bislang nicht Bestandteil der Bilanzierung.

Im Unterschied zum bisherigen auf GEMIS basierenden Berechnungsverfahren (Fritsche/Rausch 2007) stützt sich die hier vorgestellte Emissionsbilanzierung wesentlich auf die in der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien vorgegebenen „typischen Werte“. Als Gründe hierfür können insbesondere genannt werden:

- Die „typischen Werte“ der EU-Richtlinie entsprechen einem eher konservativen Ansatz und gewährleisten eine gute Vergleichbarkeit der Emissionsminderungsberechnungen zwischen den Mitgliedstaaten.
- Die „typischen Werte“ der EU-Richtlinie werden regelmäßig (erstmalig zum 31.12.2012 und anschließend alle zwei Jahre) fortgeschrieben, so dass mit einer sukzessiven Erhöhung der Datenqualität gerechnet werden kann und noch bestehende Datenlücken zukünftig geschlossen werden.
- Nicht zuletzt ermöglichen die „typischen Werte“ der neuen EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (RL 2009/28/EG) eine einheitliche Darstellung für die Öffentlichkeit. Insbesondere wird der Gefahr begegnet, dass die im Rahmen der Zielerreichung verwendeten Werte stark von denen im Rahmen der Berichterstattung heran gezogenen Faktoren abweichen.

Der Bezug auf die EU-Richtlinie führt allerdings auch dazu, dass (bislang) lediglich eine Bilanzierung der vermiedenen Treibhausgasemissionen (abgeleitet auch der reinen CO₂-Emissionen) realisierbar ist. Insbesondere liegen gegenwärtig keine Daten zu den Emissionsfaktoren weiterer Schadstoffe vor.

Die Tabellen 8, 9 und 10 geben einen Überblick über die aggregierten Treibhausgas-Emissionsfaktoren der Biokraftstoffverwendung, die verschiedenen Veröffentlichun-

gen und Quellen entnommenen wurden. Die rechte Spalte dokumentiert jeweils die von UBA verwendeten Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Bereitstellungsketten der Biokraftstoffe, welche überwiegend auf den typischen Werten der neuen EU-Richtlinie (RL 2009/28/EG) basieren. Direkte und indirekte Landnutzungsänderungen sind hierbei bislang nicht mit einbezogen (vgl. Kapitel 2.5).

Für Pflanzenölkraftstoff auf Basis von Soja- und Palmöl beinhaltet die neue EU-Richtlinie keine Angaben. Für diese beiden Kraftstoffe wurden daher Standardwerte der BioSt-NachV (Bundesregierung 2009), die mit den Methoden und Annahmen der neuen EU-Richtlinie konsistent sind, zugrunde gelegt und analog der Systematik der EU-Richtlinie in typische Werte umgerechnet. Der gewichtete Emissionsfaktor für die einzelnen Kraftstoffe ergibt sich schließlich unter Berücksichtigung der aktuellen Struktur des Rohstoffeinsatzes (Tabelle 7).

Tabelle 8: Biodiesel-Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO₂Ä_{qui}/MJ)
(ohne direkte und indirekte Landnutzungsänderungen)

	bisher verwendet	GEMIS 4.5	eco-invent V 2.01	IE/DBFZ (Kalies et al. 2007)	IFEU-Entw. BioNachV (2007)	EU-EE-RL (RL 2009/28/EG)		von UBA verwendet*
						typisch	Default	
Raps (D)		41		48-51	Default			46
Raps (Europa/ RES)			70		45,2	46	52	46
Raps (CH)			51					
Sojabohnen (Nordamerika)			34		36	50	58	50
Sojabohnen (Südamerika)	21 (RME)	21			33	50	58	50
Palmöl (Malaysia)		67	46		26	32-54	37-68	32
Bioabfälle		28	9			10	14	10
Gewichteter Emissionsfaktor:								45,17

* Derzeit werden vom UBA Methoden entwickelt, direkte und indirekte Landnutzungsänderungen bei den Berechnungen zu berücksichtigen. Dabei ist nach heutigem Wissensstand davon auszugehen, dass die Emissionsbilanz für Treibhausgase in vielen Fällen auch negativ werden kann.

Tabelle 9: Pflanzenöl-Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO₂Ä_{qui}/MJ)
(ohne direkte und indirekte Landnutzungsänderungen)

	bisher verwendet	GEMIS 4.5	eco-invent V 2.01	IE/DBFZ (Kalies et al. 2007)	IFEUE ntw. Bio-NachV (2007)	EU-EE-RL (RL 2009/28/EG)		BioSt-NachV (6/09)	von UBA verwendet*
						Typ.	Default		
Raps (D)		34,9		42,2	Default				35
Raps (Europa/ RES)					38,6	35		36	35
Raps (CH)			58						
Sojabohnen (Nordamerika)					25,1			45,8	42,4
Sojabohnen (Südamerika)	44 (Rapsöl)	13,5			24,7			45,8	42,4
Palmöl (Malaysia)					18,8			25,4	24
Gewichteter Emissionsfaktor:									35,74

* Derzeit werden vom UBA Methoden entwickelt, direkte und indirekte Landnutzungsänderungen bei den Berechnungen zu berücksichtigen. Dabei ist nach heutigem Wissensstand davon auszugehen, dass die Emissionsbilanz für Treibhausgase in vielen Fällen auch negativ werden kann.

Tabelle 10: Bioethanol-Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO₂Ä_{qui}/MJ)
(ohne direkte und indirekte Landnutzungsänderungen)

	bisher verwendet -	GEMIS 4.5	eco-invent V 2.01	IE/DBFZ (Kalies et al. 2007)	IFEU Entw. BioNachV (2007)	EU-EE-RL (Dez. 2008)		von UBA verwendet*
						Default	typisch	
Zuckerrüben (Europa)		27,6	28,9		68,8	33	40	33
Weizen (Europa)	71 (Weizen)	45,8	20,4	67-72	57,7	26-57	26-70	50
Mais (USA)			69		48	37	43	(37)
Zuckerrohr (Brasilien)		27,7	16		29	24	24	24
Andere								10
Gewichteter Emissionsfaktor:								39,77

* Derzeit werden vom UBA Methoden entwickelt, direkte und indirekte Landnutzungsänderungen bei den Berechnungen zu berücksichtigen. Dabei ist nach heutigem Wissensstand davon auszugehen, dass die Emissionsbilanz für Treibhausgase in vielen Fällen auch negativ werden kann.

Tabelle 11 zeigt die spezifischen Treibhausgas-Emissionsfaktoren der fossilen Referenz-Kraftstoffe auf. Im Vergleich zu den Biokraftstoffen differieren die Werte der verschiedenen Quellen vergleichsweise wenig. Die von UBA verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen den Werten der neuen EU- Richtlinie (RL 2009/28/EG), die für Diesel und Benzin gleich sind.

Tabelle 11: Benzin und Diesel-Emissionsfaktor für Treibhausgase (in g CO₂Ä_{qui}/MJ)

	bisher verwendet	GEMIS 4.5	eco-invent V2.01	IE/DBFZ (Kalies et al. 2007)	IFEU Entwurf BioNachV (2007)	EU-EE-RL	von UBA verwendet
Diesel	86,81	86,95	84,1	91,2	86,2	83,8	83,8
Benzin	91,40	91,50	88,5	93,8	85,0		83,8

Auf Basis der spezifischen Treibhausgas-Emissionsfaktoren der biogenen Kraftstoffe sowie von Benzin und Diesel lassen sich im abschließenden Schritt die spezifischen Vermeidungsfaktoren (siehe Kapitel 5.3.2) ableiten. Hier ist wiederum zu berücksichtigen, dass Landnutzungsänderungen – welche insbesondere für die Biokraftstoffe relevant sind – nicht enthalten sind. Bei allen drei biogenen Kraftstoffen resultieren ohne deren Berücksichtigung hohe Emissionsminderungen gegenüber dem fossilen Referenzsystem. Am höchsten liegt diese beim Pflanzenöl mit etwa 57 %, gefolgt von Bioethanol mit etwa 53 % und Biodiesel mit ca. 46 %.

Tabelle 12: Treibhausgasreduzierungen durch Substitution fossiler durch biogene Kraftstoffe 2007 (in g CO₂Ä_{qui}/MJ) (ohne direkte und indirekte Landnutzungsänderungen)

	THG-Emissionen fossile Referenz (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ)	THG- Emissionen Biokraftstoff* (gew.) (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ)	THG- Emissionen Minderung* (in g CO ₂ Ä _{qui} /MJ)	Prozentuale THG- Emissionsminderung (%)
Biodiesel	83,8	45,2	38,6	46
Pflanzenöl	83,8	35,7	48,1	57
Bioethanol	83,8	39,8	44,0	53

* derzeit werden vom UBA Methoden entwickelt, direkte und indirekte Landnutzungsänderungen bei den Berechnungen zu berücksichtigen. Dabei ist nach heutigem Wissensstand davon auszugehen, dass die Emissionsbilanz für Treibhausgase in vielen Fällen auch negativ werden kann.

5.4 Qualität und Unsicherheit der verwendeten Emissionsfaktoren

Wie an verschiedenen Stellen des vorliegenden Berichts angemerkt, musste aufgrund der unzureichenden Datengrundlage gelegentlich auf Expertenschätzungen zurückgegriffen werden. Durch einen Mangel an empirisch umfassend abgesicherten Daten – insbesondere bei den Emissionsfaktoren einiger erneuerbarer Energien – war zudem auch die Verwendung typ- oder modellbezogene Ökobilanzen notwendig. Größtmögliche Datenqualität sowie bestmögliche Repräsentativität für den Anlagenbestand waren hierbei die zentralen Auswahlkriterien.

Wie aus Tabelle 13 ersichtlich, wurden gleichwohl in vielen Fällen Emissionsfaktoren verwendet, deren Qualität lediglich als „mittel“ einzuschätzen ist. So standen in einigen Fällen lediglich Emissionsfaktoren zur Verfügung, deren Validität und Repräsentativität mit großen Unsicherheiten behaftet sind, da sie z. B. auf empirisch unzureichend abgesicherten bzw. lediglich vereinzelt erhobenen Emissionsmessungen oder Anlagenkennziffern beruhen. Wie Tabelle 13 verdeutlicht, trifft dies insbesondere auf den Bereich der energetischen Biomassenutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie auf den Bereich Biokraftstoffe zu (vgl. auch Kapitel 2.5):

So fehlen im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sowie zum industriellen Biomasseeinsatz vor allem repräsentative Messdaten der direkten Emissionen. Bei der Bilanzierung der Biokraftstoffe hingegen sind große Unsicherheiten über den gesamten Lebensweg festzustellen (vgl. auch Kapitel 2.5). Es konnte hier eine verfeinerte Methodik entwickelt werden, die der Heterogenität der Einsatzstoffe besser gerecht wird und auch Aktualisierungen und methodische Verbesserungen beinhaltet. Allerdings sind durch teilweise notwendige Schätzungen bei den Rohstoffen auch die neuen Emissionsfaktoren immer noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Zudem konnten direkte und indirekte Landnutzungsänderungen, welche die Höhe der Emissionsminderung stark beeinflussen können, gegenwärtig (noch) nicht mit einbezogen werden.

Tabelle 13: Überblick zu den Unsicherheiten der verwendeten Emissionsfaktoren

	Emissionsfaktoren Erneuerbare Energien	Unsicherheiten
Strom	Wasserkraft	gering
	Windenergie	mittel
	Photovoltaik	mittel
	Klärgas	mittel
	Deponiegas	mittel
KWK	Biogas-BHKW	groß
	Biomasse-fest - (H)KW	groß
	Biomasse-flüssig - BHKW	groß
	biogener Anteil des Abfalls	mittel
	tiefe Geothermie	mittel
Wärme	Brennholz (Haushalte)	mittel
	Biomasse (Industrie)	groß
	Solarthermie	mittel
	oberflächennahe Geothermie (WP)	mittel
Verkehr	Biodiesel	groß
	Pflanzenöl	groß
	Bioethanol	groß

6 Ergebnisse der Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien

6.1 Stromsektor

Die Ergebnisse der Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien im Stromsektor unterscheiden sich aufgrund der in den Kapiteln 4.1 und 5.1 erläuterten Änderungen (neue Substitutionsfaktoren; neue Emissionsfaktoren) deutlich von früheren Berechnungen der AGEE-Stat.

Die Ergebnisse der Neuberechnungen werden im Folgenden sowohl mit als auch ohne Einbezug der Vorketten dargestellt. Die Ergebnisse ohne Vorketten erlauben den Vergleich mit den bisherigen Berechnungen der AGEE-Stat, die bisher keine Vorketten berücksichtigt hat. Die Darstellung der Gesamtbilanz inklusive der Vorkettenemissionen erlaubt hingegen eine vollständige Einschätzung der Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien (vgl. Abbildung 5).

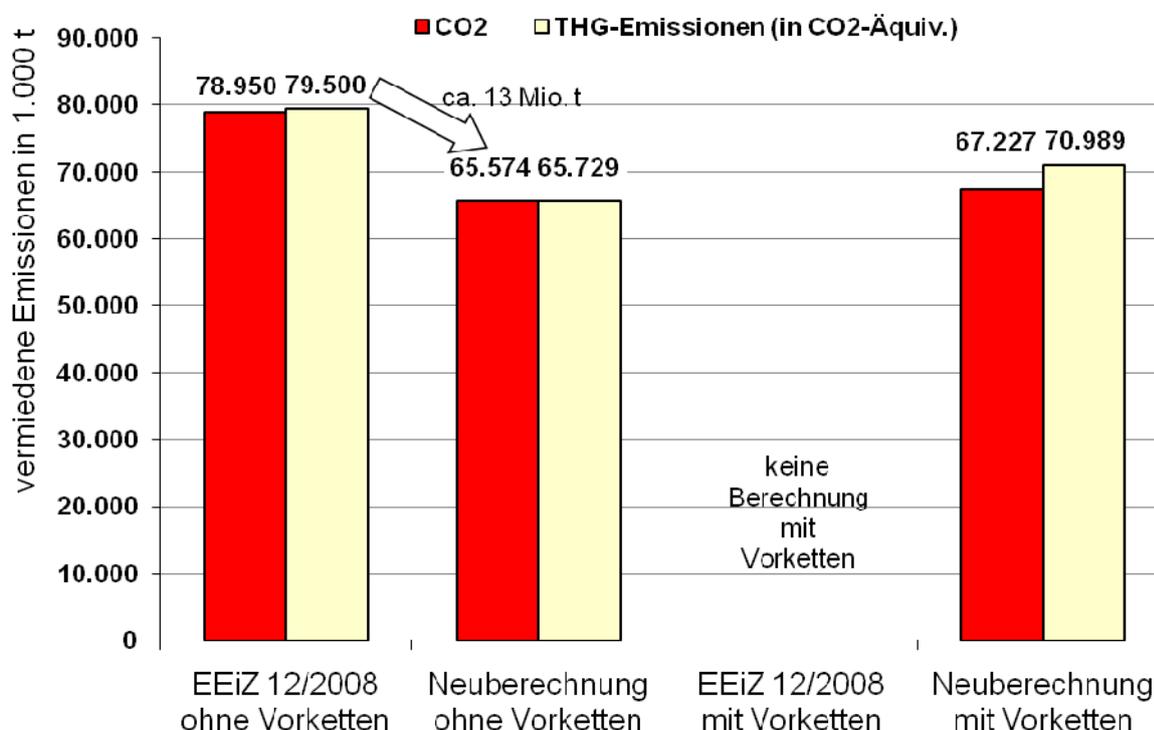


Abbildung 5: Vermeidung von CO₂- und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien im Stromsektor für das Jahr 2007

Der Vergleich der bisher errechneten Vermeidung direkter CO₂-Emissionen aus „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (EEiZ) vom Dezember 2008 (BMU 2008a) mit der hier vorgestellten Neuberechnung zeigt, dass sich die Menge der vermiedenen CO₂-Emissionen durch die neue Berechnungsmethodik sowie neue Datengrundlagen um mehr als 13 Mio. t reduziert. Der Vergleich aller betrachteten Treibhausgase ergibt ebenfalls eine um mehr als 13 Mio. t CO₂-Äquivalente geringere Emissionsvermeidung (Abbildung 5 links, Tabelle 14).

Ursache dieser Differenz sind einerseits die neuen Emissionsfaktoren, die besonders für den Bereich der Energiegewinnung aus Biomasse große Änderungen aufweisen. Hauptsächlich sind aber die in Kapitel 4.1 vorgestellten neueren Erkenntnisse und daraus folgenden Modellierungen zu den Substitutionswirkungen der erneuerbaren Energien im Stromsektor verantwortlich für die geringere Emissionsvermeidung der erneuerbaren Energien gegenüber den Angaben in „Erneuerbare Energie in Zahlen“ (EEiZ). So führt die Neubewertung der Substitution allein bei der Wasserkraft zu einer geringeren Vermeidung von fast 5 Mio. t CO₂ gegenüber der früheren Berechnung. Für die Windenergie ergibt sich eine geringere Emissionsvermeidung von ca. 5,5 Mio. t CO₂ gegenüber den bisherigen Zahlen. Bei Windenergie spielt – ebenso wie bei Photovoltaik – neben den neuen Substitutionsfaktoren auch der Abschlag von 7 % für den Regelenergieaufwand aufgrund fluktuierender Einspeisung eine Rolle (Tabelle 15).

Tabelle 14 gibt einen Überblick zu den direkten Emissionsbilanzen für weitere Luftschadstoffe. Auch hier ergeben sich zum Teil beträchtliche Verschiebungen, die nachfolgend kurz erläutert werden. Während die geringe Vermeidung von CO₂ unmittelbar aus veränderten Substitutionsfaktoren resultiert, ist die negative Bilanz bei Methan, d.h. ein zusätzlicher Ausstoß, unter anderem auf aktualisierte Emissionsfaktoren der energetischen Biogasnutzung zurückzuführen. Auch der Beitrag erneuerbarer Energien zur Vermeidung von versauernd wirkenden Luftemissionen fällt aufgrund neuer Substitutionsbeziehungen (relativ weniger Substitution von Braunkohle) sowie überarbeiteter Emissionsfaktoren etwas geringer als bisher aus.

Bei Berücksichtigung der Vorketten verändert sich die *Gesamt-Emissionsbilanz der erneuerbaren Energien*. In der Regel reduziert sich durch den Einbezug der Vorketten die ausgewiesene Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien. Eine wichtige Ausnahme bilden allerdings die Emissionsbilanzen für die Treibhausgase CH₄ und CO₂. Hier erhöht sich die Emissionsvermeidung bei Einbezug der Vorketten, da die relativ hohen Energieaufwendungen sowie die zum Teil beträchtlichen Methanverluste aus der fossilen Bereitstellungskette, insbesondere bei Steinkohle und Erdgas, zum Tragen kommen. Trotz relativ hoher Emissionsfaktoren für Methan bei der Gewinnung und Nutzung von Biogas errechnet sich dadurch eine gesamte Emissionsvermeidung an Methan von 164.000 t in 2007. Folglich verringert sich auch die Differenz zu den bisherigen Angaben der AGEE-Stat bei einer Gesamtbilanzierung aller Treibhausgase auf ca. 8,5 Mio. t CO₂-Äquivalente (siehe Tabelle 14, Abbildung 5, Differenz EEiZ 12/2008 zu Neuberechnung der Gesamtemissionen).

Tabelle 14: Beitrag aller erneuerbaren Strombereitstellungspfade zur Vermeidung ausgewählter Luftschadstoffe 2007

Vergleich zu den Angaben in „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (12/2008)

		Vermeidungsfaktor (kg/GWh)			vermiedene Emissionen (1.000 t)		
		EEiZ 12/2008 direkte Emissionen	Neuberechnung direkte Emissionen	Neuberechnung Gesamt-emissionen	EEiZ 12/2008 direkte Emissionen	Neuberechnung direkte Emissionen	Neuberechnung Gesamt-emissionen
Treibhauseffekt	CO ₂	909.447	755.353	774.398	78.950	65.574	67.227
	CH ₄	-4,6	-218,3	1.889,5	-0,4	-18,9	164,0
	N ₂ O	20,8	20,6	-3,9	1,8	1,8	-0,3
	Treibhausgase (CO₂-Äqui.)	915.785	757.145	817.736	79.500	65.729	70.989
Versauerung	SO ₂	520,0	437,3	422,8	45,1	38,0	36,7
	NO _x	145,8	218,8	91,0	12,7	19,0	7,9
	säurebildende Schadstoffe (SO₂-Äqui.)	621,4	591,8	490,6	53,9	51,4	42,3
Ozon / Staub	CO	69,6	13,3	-91,0	6,0	1,2	-7,9
	NMVOG	-37,8	1,1	0,5	-3,3	0,1	0,0
	Staub	2,1	15,5	-42,1	0,2	1,3	-3,7

Die Vermeidung von N₂O, CO, NMVOC, Staub sowie den Säurebildnern SO₂ und NO_x reduziert sich bei Einbezug der Vorketten im Vergleich zur ausschließlichen Betrachtung direkter Emissionen. Verantwortlich hierfür ist der große Anteil der energetischen Biomassenutzung verbunden mit neuen Emissionsfaktoren für Biomasseanlagen, die die Prozesse der Erzeugung, Bereitstellung und Nutzung insbesondere gasförmiger und flüssiger Biomasse genauer als bisher abbilden. Besonders deutlich wirkt sich dies zum Beispiel bei der Emissionsbilanz für die Stromerzeugung aus flüssiger Biomasse (hier aus Palmöl) aus: Im Vergleich zur direkten Emissionsbilanz reduzieren sich die vermiedenen CO₂-Emissionen bei Berücksichtigung der Vorketten um ca. 30 Prozent (vgl. Tabelle 15).

Abschließend zeigt Tabelle 15, welchen Beitrag die verschiedenen erneuerbaren Energieträger zur gesamten CO₂-Vermeidung leisten. Mit einem Beitrag von 45 % an der CO₂-Vermeidung hat die Windenergie mit Abstand den größten Anteil, gefolgt von der Wasserkraft mit 27 %. Auf die Stromerzeugung aus Biomasse entfallen weitere 26 % der Emissionsvermeidung an CO₂. Mit Vermeidungsfaktoren von 819 bzw. 829 g CO₂/kWh sind hier insbesondere die Bereitstellungsketten zur Nutzung fester Biomasse, v. a. Holz, sowie zur Nutzung der biogenen Fraktion im Siedlungsabfall hervorzuheben.

*Tabelle 15: Vermeidung von CO₂-Emissionen mit und ohne Berücksichtigung der Vorketten durch einzelne erneuerbare Stromerzeugungsoptionen 2007
Vergleich zu „Erneuerbare Energien in Zahlen“(Dezember 2008)
(ohne Berücksichtigung direkter und indirekte Landnutzungsänderungen)*

Energiequelle	Vermeidungsfaktor			vermiedene Emissionen			Anteil		
	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rechnung direkte Em.	Neube- rechnung Gesamt- em.	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rechnung direkte Em.	Neube- rechnung Gesamt- em.	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rechnung direkte Em.	Neube- rechnung Gesamt- em.
	[g CO ₂ /kWh]			[1.000 t CO ₂]			%		
Wasserkraft	1.088	817	851	23.125	17.362	18.087	29,3	26,5	27,0
Windenergie	862	726	753	34.229	28.846	29.918	43,4	44,0	44,6
Photovoltaik	683	613	591	2.101	1.885	1.818	2,7	2,9	2,7
feste Biomasse	886	791	819	7.748	6.913	7.163	9,8	10,5	10,7
flüssige Bio- masse	748	739	570	1.111	1.098	846	1,4	1,7	1,3
Biogas	748	739	688	4.808	4.751	4.418	6,1	7,2	6,6
Klärgas	1.088	739	780	1.070	727	766	1,4	1,1	1,1
Deponiegas	1.088	720	780	1.098	727	787	1,4	1,1	1,2
biogener Anteil des Abfalls	886	791	829	3.660	3.266	3.424	4,6	5,0	5,1
Geothermie	0	797	540	0	0,32	0,22	0,0	0,0	0,0
Summe Strom				78.950	65.574	67.227	100	100	100

6.2 Wärmesektor

Die Ergebnisse der Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien im Wärmesektor unterscheiden sich aufgrund der in den Kapiteln 4.2 und 5.2 erläuterten Änderungen (neue Substitutionsfaktoren; neue Emissionsfaktoren) deutlich von früheren Berechnungen der AGEE-Stat.

Die Ergebnisse der Neuberechnungen werden im Folgenden sowohl mit als auch ohne Einbezug der Vorketten dargestellt: Die Ergebnisse ohne Vorketten erlauben den Vergleich mit den bisherigen Berechnungen, die keine Vorketten berücksichtigten. Die Darstellung der Gesamtbilanz inklusive der Vorkettenemissionen erlaubt hingegen eine vollständige Einschätzung der Emissionsvermeidung erneuerbarer Energien (vgl. Abbildung 6).

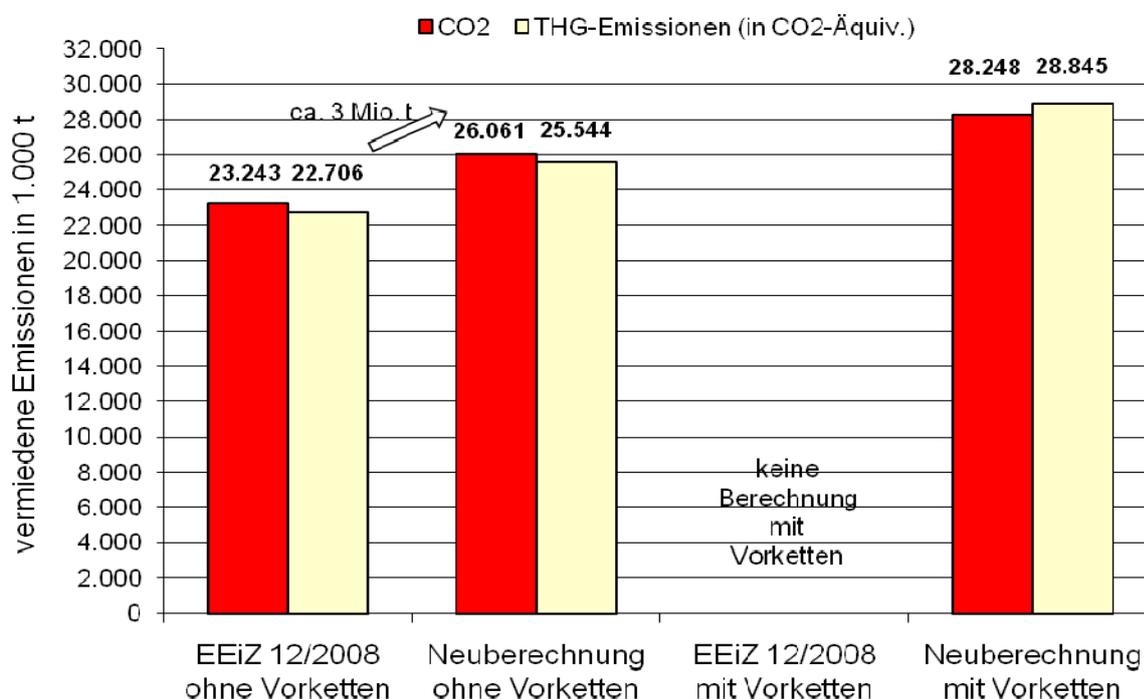


Abbildung 6: Vermeidung von CO₂- und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien im Wärmemarkt in 2007

Ohne Berücksichtigung der Vorketten führt die Neuberechnung der Emissionsvermeidung erneuerbarer Energien im Wärmesektor zu einer um ca. 3 Mio. t höheren CO₂-Vermeidung gegenüber den bisherigen Angaben (BMU 2008a). Wie im Stromsektor ist dieses Ergebnis nur zum Teil auf aktualisierte Emissionsfaktoren, u.a. zum Einsatz von Biomasse in Haushalten und in der Industrie sowie für Solarenergie und Geothermie, zurückzuführen. Maßgeblich ist vielmehr auch hier der veränderte, in Kapitel 4.2 beschriebene Substitutionsmix, welcher insbesondere durch die Einbeziehung der Industrie eine höhere Substitution von Kohle sowie von fossiler Fernwärme und Elektroheizungen im Vergleich zu früheren Berechnungen aufweist. Bei alleiniger Betrachtung der direkten Emissionsfaktoren wirkt sich dies bei den Treibhausgasen lediglich auf die vermiedenen CO₂-Emissionen aus, während die Emis-

onsbilanzen für die Treibhausgase Methan und Lachgas hiervon nur gering beeinflusst werden (vgl. Tabelle 16).

Mit Blick auf die direkten Emissionsbilanzen für weitere Luftschadstoffe (vgl. Tabelle 16) ist festzustellen, dass die Vermeidung versauernd wirkender Schadstoffemissionen nach den neuen Berechnungen niedriger als zuvor ausfällt, so dass lediglich ein geringer Minderungsbeitrag der erneuerbaren Energien festzustellen ist.

Des Weiteren ist auf die hohen Staubemissionen hinzuweisen. Die Emissionen der ebenfalls durch unvollständige Verbrennung entstehenden Schadstoffe und Ozonvorläufersubstanzen Kohlenmonoxid und NMVOC gehen nach den Neuberechnungen allerdings deutlich zurück. Dies ist vermutlich unter anderem auf den steigenden Anteil moderner Feuerungsstätten am Gesamtbestand der Holzfeuerungen zurückzuführen.

*Tabelle 16: Beitrag aller erneuerbaren Wärmebereitstellungspfade zur Vermeidung ausgewählter Luftschadstoffe 2007
Vergleich zu „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (Dezember 2008)*

		Vermeidungsfaktor			Vermiedene Emissionen		
		EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rechnung direkte Em.	Neube- rechnung Gesamt- em.	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rechnung direkte Em.	Neube- rechnung Gesamt- em.
		[kg / GWh _{-Input}]			[1.000 t]		
Treibhaus- effekt	CO ₂	231.652	259.734	281.529	23.243	26.061	28.248
	CH ₄	-222,1	-227,1	319,5	-22,3	-22,8	32,1
	N ₂ O	-2,2	-1,3	-2,8	-0,2	-0,1	-0,3
	Treibhausgase (CO ₂ -Äqui.)	225.712	254.578	287.480	22.706	25.544	28.845
Versauerung	SO ₂	91	146,1	207,0	9,1	14,7	20,8
	NO _x	-4,5	-153,8	-90,5	-0,5	-15,4	-9,1
	säurebildende Schadstoffe (SO ₂ -Äqui.)	87,8	39,2	144,1	8,8	3,9	14,5
Ozon / Staub	CO	-6846,4	-5.914,8	-5.861,5	-686,9	-593,5	-588,1
	NMVOC	-556,2	-349,4	-314,3	-55,8	-35,1	-31,5
	Staub	-230,4	-241,2	-237,2	-23,1	-24,2	-23,8

Die Bilanzierung der Gesamtemissionen schließlich gelangt zu größtenteils ähnlichen Ergebnissen wie die Bilanzierung der direkten Emissionen. Während sich die vorstehend dargestellten Trends insbesondere im Bereich der klassischen Luftschadstoffe kaum verändern, bewirkt die Berücksichtigung der Vorketten allerdings eine höhere Emissionsvermeidung an Treibhausgasemissionen und Säurebildnern (Tabelle 16). Verantwortlich hierfür sind – ähnlich wie beim Strom – insbesondere die vermiedenen Energieaufwendungen und Methanverluste bei der Gewinnung, dem Transport und der Nutzung der fossilen Energieträger Erdgas, Steinkohle und Mineralöl. Zudem

dominiert mit dem Einsatz fester Biomasse, v. a. Holz, ein Energieträger den erneuerbaren Wärmesektor, dessen Bereitstellung mit relativ geringen Emissionen verbunden ist.

*Tabelle 17: Vermeidung von CO₂-Emissionen mit und ohne Berücksichtigung der Vorketten durch einzelne erneuerbare Wärmebereitstellungsketten 2007
Vergleich zu „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (Dezember 2008)*

	Vermeidungsfaktor			Vermiedene Emissionen			Anteil		
	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rech- nung direkte Em.	Neube- rech- nung Gesamt- em.	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rech- nung direkte Em.	Neube- rech- nung Gesamt- em.	EEiZ 12/2008 direkte Em.	Neube- rech- nung direkte Em.	Neube- rech- nung Gesamt- em.
	[g CO ₂ /kWh]			[1.000 t CO ₂]			%		
feste Biomasse (Haushalte)	232	267	299	13.384	15.409	17.291	57,6	59,1	61,2
feste Biomasse (Industrie)	232	249	273	3.885	4.181	4.574	16,7	16,0	16,2
feste Biomasse (HKW+ HW)	232	267	279	1.318	1.517	1.585	5,7	5,8	5,6
biogene flüssige Brennstoffe	232	229	254	1.076	1.063	1.178	4,6	4,1	4,2
biogene gasför- mige Brennstoffe	232	241	267	1.082	1.127	1.249	4,7	4,3	4,4
biogener Anteil des Abfalls	232	267	284	1.108	1.276	1.359	4,8	4,9	4,8
Solarthermie	232	244	218	858	904	807	3,7	3,5	2,9
Tiefe Geothermie	232		65	37	43	10	0,2	0,2	0,0
oberflächennahe Geothermie	232	253	90	495	541	193	2,1	2,1	0,7
Gesamt				23.243	26.061	28.248	100	100	100

Die Tabelle 17 zeigt abschließend die Beiträge der einzelnen Wärmebereitstellungsketten zur Emissionsvermeidung. Neben der bereits erwähnten absolut wie relativ dominierenden Rolle der energetischen Holznutzung in Haushalten und der Industrie sind dabei auch die relativ geringen spezifischen Minderungsfaktoren von solar- und geothermischen Wärmeversorgungs-systemen bemerkenswert. Dies ist unter anderem auf den Stromverbrauch für Pumpenleistung bei einem noch maßgeblich durch fossile Energieträger geprägten Kraftwerkspark zurückzuführen.

6.3 Verkehrssektor

Die Ergebnisse der Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor unterscheiden sich aufgrund der in den Kapiteln 4.3 und 5.3 erläuterten methodischen Änderungen beträchtlich von früheren Berechnungen der AGEE-Stat.

Die Ergebnisse der Neuberechnungen werden im Folgenden aus systematischen Gründen sowohl mit als auch ohne Einbezug der Vorketten dargestellt. Weil aber die direkt vermiedenen Emissionen bei Biokraftstoffen nur wenige Aussagekraft besitzen, erlaubt lediglich die Darstellung der Gesamtbilanz inklusive der Vorkettenemissionen eine belastbare Einschätzung der Emissionsvermeidung erneuerbarer Energien sowie einen Vergleich mit den bisherigen Berechnungen. Direkte und indirekte Landnutzungsänderungen sind aufgrund lückenhafter Datenlage bisher nicht berücksichtigt worden.

Bei *Betrachtung nur der direkten Emissionen* trugen die erneuerbaren Energien im Verkehrsbereich im Jahr 2007 zu einer Minderung der Emissionen um 12,4 Mio. t CO₂ und ebenfalls 12,4 Mio. t CO₂-Äquivalenten bei (Abbildung 7).

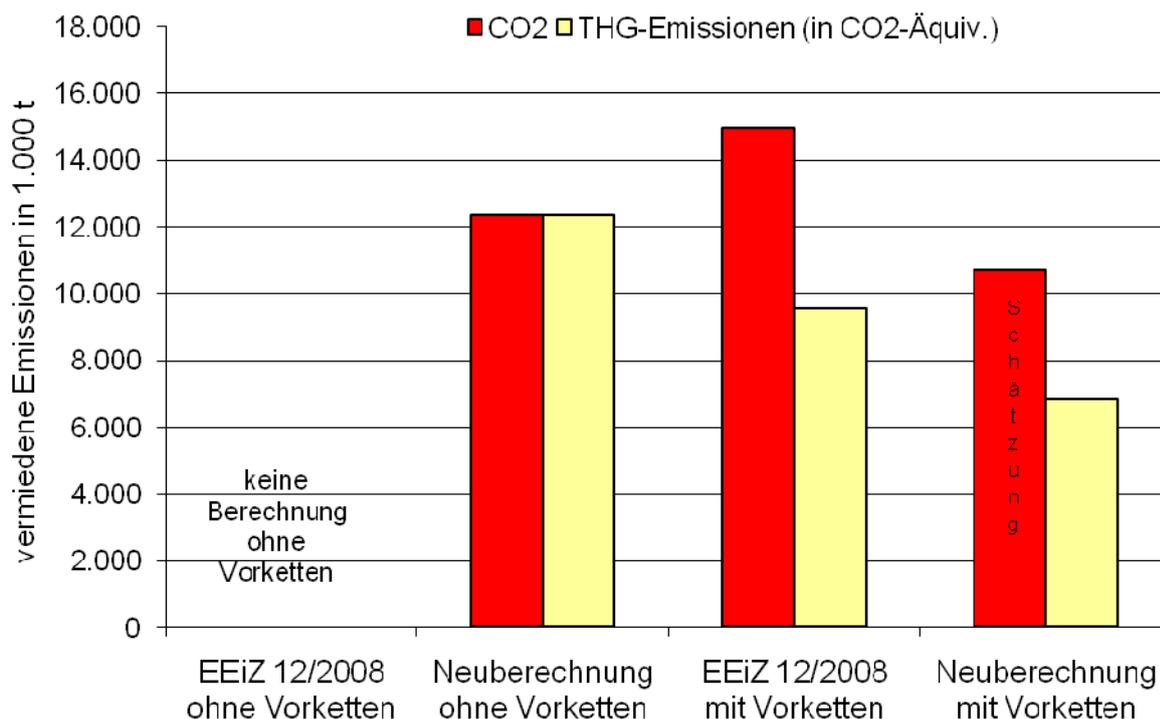


Abbildung 7: Vermeidung von CO₂- und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehrssektor in 2007

- ohne direkte und indirekte Landnutzungsänderungen -

Tabelle 18 zeigt die direkten Vermeidungsfaktoren und die vermiedenen direkten Emissionen durch den Einsatz von Biokraftstoffen differenziert nach Pflanzenöl/Biodiesel und Bioethanol im Jahr 2007 auf. Da die direkten Emissionsfaktoren mit Ausnahme von CO₂ weitestgehend den fossilen Substituten entsprechen, sind bei der Verbrennung auch keine größenrelevanten Emissionsunterschiede bei der Sub-

stitution fossiler durch biogene Kraftstoffe erkennbar. Wie oben bereits angemerkt, besitzt die separate Betrachtung direkter Emissionen im Verkehrsbereich aufgrund des großen Einflusses der Vorketten auf die Gesamtemissionen allerdings nur eine eingeschränkte Aussagekraft.

So reduziert sich die Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien *bei Berücksichtigung der Vorketten* um etwa 4,3 Mio. t CO₂ bzw. ca. 2,7 Mio. t CO₂-Äquivalente (Abbildung 7). Dies ist insbesondere auf relativ hohe Methan- und Lachgasemissionen beim landwirtschaftlichen Anbau der Rohstoffe zurückzuführen. Direkte und indirekte Landnutzungsänderungen sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 18: Emissionsfaktoren und Emissionsfrachten von biogenen und konventionellen Kraftstoffen im Jahr 2007 (nur direkte Emissionen) (Quelle: ZSE)

		Pflanzenöl/ Biodiesel (Diesel)		Bioethanol (Benzin)		Summe
		spezifisch	absolut	spezifisch	absolut	absolut
		[kg / GWh]	[t]	[kg / GWh]	[t]	[t]
Treibhauseffekt	CO ₂					
	- Biokraftstoff	254.880 (0)	10.953.468 (0)	259.200 (0)	892.685 (0)	11.846.153 (0)
	- Diesel/Benzin	266.400	11.448.540	259.200	892.685	12.341.225
	CH ₄	2,59	111	17,06	59	170
	N ₂ O	5,58	240	6,30	22	261
	Treibhausgase (CO ₂ -Äquivalent):					
- Biokraftstoffe	256.664 (1.784)	11.030.145 (76.667)	261.511 (2.311)	900.644 (7.959)	11.930.779 (84.626)	
- Diesel/Benzin	268.184	11.525.207	261.511	900.644	12.425.851	
Versauerung	SO ₂	1,33	57	1,33	5	62
	NO _x	1.405,91	60.419	313,13	1.078	61.497
	NH ₃	1,62	70	34,70	120	189
	säurebildende Schadstoffe (SO ₂ -Äquivalent)	982,89	42.240	284,51	980	43.220
Ozon/ Staub	CO	465,73	20.015	3.931,02	13.538	33.553
	NM VOC	104,83	4.505	189,94	654	5.159
	Staub	53,10	2.282	0,00	0	2.282

Bei den Klammerwerten wurden die Vorketten, d. h. konkret die CO₂-Bindung beim Pflanzenwachstum, mit berücksichtigt.

Abschließend zeigt Tabelle 19 die Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch einzelne Biokraftstoffe auf und stellt sie den bisherigen Berechnungen gegenüber. Nach der vorliegenden Neuberechnung wurden durch Substitution konventioneller Kraftstoffe 2007 etwa 6,8 Mio. t CO₂Ä_{qui} vermieden. Differenziert nach Kraftstoffarten trug Biodiesel mit etwa 4,8 Mio. t CO₂Ä_{qui}, Pflanzenöl mit ca. 1,5 Mio. t CO₂Ä_{qui} und Bioethanol mit etwa 0,5 Mio. t CO₂Ä_{qui} zur gesamten Emissionsvermeidung bei. Wie Tabelle 19 ebenfalls zu entnehmen ist, ergibt sich die deutlich geringere Vermeidung

gegenüber EEiZ 12/08 insbesondere aufgrund des veränderten Berechnungsansatzes für Biodiesel (Allokation nach unterem Heizwert statt Gutschriften), der zu einem wesentlich geringeren Vermeidungsfaktor für Biodiesel führt.

Tabelle 19: Vermeidung von Treibhausgasen mit und ohne Berücksichtigung der Vorketten durch einzelne erneuerbare Kraftstoffe 2007 Vergleich zu „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (Dezember 2008)

	Vermeidungsfaktor			Vermiedene Emissionen			Anteil	
	[g CO ₂ Äqui/kWh]			[1.000 t CO ₂ Äqui]			%	
	EEiZ12/08 mit Vorketten	Neuber. ohne Vorketten	Neuber. mit Vorketten	EEiZ 12/08 mit Vorketten	Neuber. ohne Vorketten	Neuber. mit Vorketten	Neuber. ohne Vorketten	Neuber. mit Vorketten
Biodiesel	233	266	139	7.987	9.121	4.762	73,9	69,8
Pflanzenöl	150	266	173	1.312	2.327	1.516	18,9	22,2
Bio-ethanol	69	259	158	239	893	546	7,2	8,0
Summe				9.539	12.341	6.824	100	100

- mit Vorkette, d.h. Gesamtemission

6.4 Gesamtüberblick zu den Ergebnissen

Tabelle 20 gibt einen abschließenden Überblick über die Neuberechneten Emissionsbilanzen für 2007, jeweils differenziert nach direkten Emissionen und Gesamtemissionen für CO₂ sowie die Summe der Treibhausgase (vgl. auch Abbildung 8).

Demnach betragen die durch den Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene *direkten Emissionen an CO₂* etwa 104 Mio. t CO₂ in 2007. Im Vergleich zu den Angaben in EEiZ 12/2008 entspricht dies einer um etwa 13 Mio. t CO₂ geringeren Emissionsvermeidung, die sich wie folgt auf die drei betrachteten Sektoren verteilt: Im Stromsektor wurde ein um 13 Mio. t geringerer Beitrag der erneuerbaren Energien zur Vermeidung von CO₂-Emissionen ermittelt, im Verkehrssektor ein um knapp 3 Mio. t geringerer und im Wärmesektor ein um ca. 3 Mio. t höherer Beitrag. Werden *alle Treibhausgase* berücksichtigt, beträgt die *Vermeidung direkter Emissionen* durch den Einsatz erneuerbarer Energien ebenfalls rund 104 Mio. t CO₂-Äquivalente.

Bei Einbezug aller Vorketten bzw. *Betrachtung der vermiedenen Gesamtemissionen* tragen die erneuerbaren Energien im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor 2007 zu einer Vermeidung von 106 Mio. t CO₂ bzw. 106,7 Mio. t CO₂-Äquivalente bei. Aufgrund der vermiedenen Emissionen der fossilen Energiebereitstellungsketten fällt der Beitrag der erneuerbaren Energien zum Klimaschutz damit etwas höher aus als bei Betrachtung nur der direkten Emissionen. Allerdings verbleibt eine Differenz von 11 Mio. t CO₂ bzw. 5 Mio. t CO₂-Äquivalenten im Vergleich zur bisher in Erneuerbare Energien in Zahlen (12/2008) ausgewiesenen Emissionsvermeidung. Die Gründe hierfür sind vor allem in neuen Substitutionsfaktoren für die erneuerbare Energiebe-

reitstellung sowie in der verbesserten Bilanzierungsmethodik für die Biokraftstoffe zu suchen.

Tabelle 20: Vergleichender Überblick zu den vermiedenen CO₂-Emissionen und den vermiedenen THG-Emissionen im Jahr 2007

	EEiZ 12/2008		Neuberechnung		Neuberechnung	
	direkte vermiedene Emissionen (Strom, Wärme) vermiedene Gesamtemissionen (Verkehr)		direkte vermiedene Emissionen		vermiedene Gesamtemissionen	
	CO ₂ -Emissionen	THG-Emissionen	CO ₂ -Emissionen	THG-Emissionen	CO ₂ -Emissionen	THG-Emissionen
	[1.000 t]					
Strom	78.950	79.500	65.574	65.729	67.227	70.989
Wärme	23.243	22.706	26.061	25.544	28.248	28.845
Verkehr	14.959	9.539	12.341	12.341	10.701	6.824
Summe	117.152	111.745	103.976	103.614	106.176	106.658

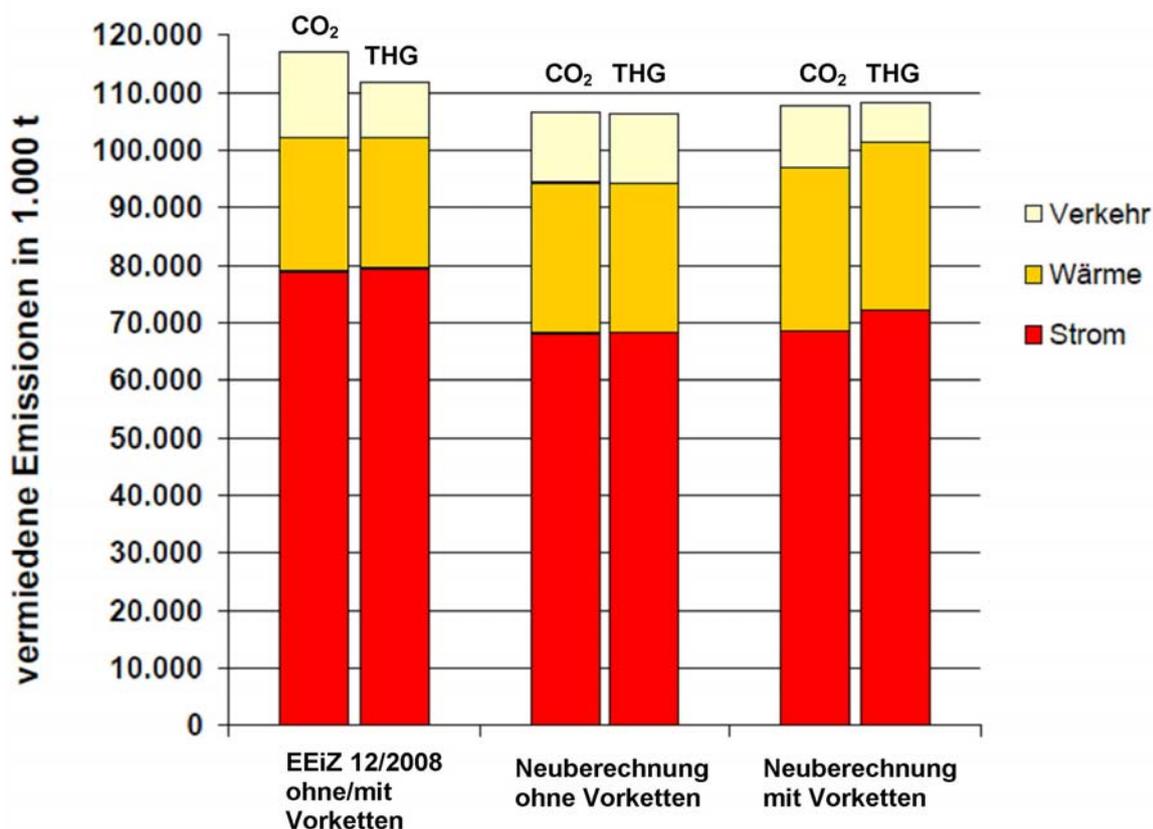


Abbildung 8 Gesamte Vermeidung von CO₂- und Treibhausgasemissionen durch Einsatz erneuerbarer Energien in 2007

- ohne direkte und indirekte Landnutzungsänderungen -

7 Rückrechnung und Fortschreibung der Emissionsbilanzen

Um Zeitreihen der Emissionsvermeidung durch erneuerbare Energien abbilden zu können, ist es erforderlich, Emissionsbilanzen auch für die Jahre ab 1990 zu berechnen. Des Weiteren sollte die Fortschreibbarkeit der vorliegenden Berechnungsmethodik kritisch geprüft werden.

Oberstes Ziel dieser Überlegungen ist daher die Entwicklung eines effizienten Verfahrens, mit dem ausgehend von den aktualisierten Substitutions- und Emissionsfaktoren des Jahres 2007 valide Emissionsbilanzen für zukünftige sowie vergangene Jahre seit 1990 abgeleitet werden können. Neben häufig unvollständigen Informationen zur Markt- und Technologieentwicklung zurückliegender Jahre (v.a. bei Kraftstoffen, aber z. B. auch bei Wärmepumpen) ist dabei insbesondere das Fehlen empirisch abgesicherter Substitutions- und Emissionsfaktoren über die gesamte Zeitperiode ein Problem.

So beziehen sich zum Beispiel die in Ökobilanzen ermittelten Emissionsfaktoren der erneuerbaren Energien und der Vorkettenprozesse in der Regel auf den Nutzungsstand der Technologie zu einem genau definierten Zeitpunkt (i.d.R. 2000 und 2005, in Einzelfällen auch 1995 und 1990). Erschwerend kommt hinzu, dass ältere Emissionsfaktoren für die Jahre bis 2000 ex post nur bedingt auf Validität und Repräsentativität geprüft werden können. Teilweise liegen den verfügbaren Emissionsfaktoren für frühere Jahre auch andere Methoden der Bilanzierung (z.B. bezüglich Allokation der Haupt- und Nebenprodukte) zugrunde.

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 dargelegten methodischen Arbeitsschritte sowie der zeitlichen Auflösung und Aktualisierungsintervalle der zur Verfügung stehenden Datenquellen wird daher folgendes Verfahren zur Rückrechnung bzw. Fortschreibung vorgeschlagen (vgl. Tabelle 21):

1. Die energiestatistischen Grundlagen zur Marktentwicklung erneuerbarer und fossiler Energiebereitstellung im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor liegen ab 1990 vor. Eine jahresscharfe Rückrechnung und jährliche Fortschreibung des Mengengerüsts ist damit möglich.
2. Detaillierte Erkenntnisse zu maßgeblichen Substitutionsbeziehungen sind im Stromsektor erst ab den Jahren 2003ff. und im Wärmesektor bisher nur für 2005 verfügbar. Für den Zeitraum davor bedarf es daher sektorspezifischer Übergangsregelungen:
 - Im Stromsektor wird für die Periode von 1990 bis 1997 angenommen, dass Strom aus Wasserkraft ausschließlich Grundlast substituiert und dabei Braunkohlestrom verdrängte (vgl. Klobasa et al. 2005), während alle anderen erneuerbaren Energien zu 100 % Spitzenlast aus Erdgas ersetzt. Zwischen 1998 und 2003 wird diese Setzung linear in die von Klobasa et al. (2005) ermittelten Substitutionsfaktoren überführt. Ab 2006 werden diese schließlich durch die neuen Substitutionsfaktoren 2006 aus Klobasa et al. (2009) ersetzt.

- Im Wärmesektor werden die aus empirischen Befragungen der privaten Haushalte für 2005 abgeleiteten Substitutionsfaktoren von Wärmepumpen, Solarkollektoren sowie von Holzfeuerungen für die fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas unter Berücksichtigung der relativen Anteile dieser Energieträger am Wärmemix der privaten Haushalte bis 1995 „zurückgeschrieben“. Aus Gründen der Vereinfachung werden die jeweiligen Substitutionsfaktoren von Fernwärme, Elektroheizung und Kohle dabei konstant gehalten. Der Substitutionsmix für den Biomasseeinsatz in den relevanten Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes bzw. in der Landwirtschaft wird für alle fossilen Energieträger jahresscharf aus Angaben der AGEBA bzw. der UBA-Datenbank zur nationalen Emissionsberichterstattung bis 1995 abgeleitet. Für die Jahre vor 1995 werden aus pragmatischen Gründen die Substitutionsfaktoren von 1995 angesetzt.
- Im Verkehrssektor können die für das Jahr 2007 vorliegenden Substitutionsbeziehungen auch für den Zeitraum 1990 bis 2006 angewandt werden.

3. Des Weiteren ist das Prozedere hinsichtlich der diskontinuierlich und zum Teil unvollständig vorliegenden Emissionsfaktoren erneuerbarer Energiebereitstellungsketten zu diskutieren. Neben der eingeschränkten Abdeckung des Zeitraums von 1990 bis 2000 ist dabei besonders zu beachten, dass das rasante Marktwachstum häufig einherging mit einer deutlichen Steigerung der durchschnittlichen installierten Anlagenleistung, mit Material- und Effizienzverbesserungen in der Herstellung sowie mit Verschiebungen in den Marktanteilen verschiedener Technologien. Aus pragmatischen Gründen wird gleichwohl für die Sektoren Strom und Wärme vorgeschlagen, die jeweiligen Emissionsfaktoren für die direkte Nutzung und für die Vorketten nicht jahresscharf zu berechnen, sondern einzelne möglichst repräsentative Zeitpunktbetrachtungen in Abständen von ca. fünf Jahren (1995, 2000, 2005, zukünftig 2010) durchzuführen, soweit die Datenlage dies zulässt. Für die Ableitung der Emissionsminderungen durch Biokraftstoffe vor 2007 wird die Rohstoffbasis für jedes einzelne Jahr geschätzt, und die gegenwärtigen Emissionsfaktoren nach der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien zugrunde gelegt.

Das Verfahren zur Fortschreibung orientiert sich an den bisherigen Ausführungen zur Rückrechnung. Neben der jährlichen Aktualisierung und ggf. Korrektur der jahresscharf, aber zeitverzögert vorliegenden Markt- und (fossilen) Emissionsdaten ist eine Prüfung der Substitutions- und Emissionsfaktoren der erneuerbaren Energien alle zwei Jahre sinnvoll (analog den Berichtspflichten nach der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien). Unabdingbare Voraussetzung hierfür ist die fortlaufende Aktualisierung und Verbesserung der ökobilanziellen Datengrundlagen, z. B. durch repräsentative Bilanzierungen des installierten Anlagenbestands, sowie eine regelmäßige Weiterführung der von der Bundesregierung in Auftrag gegebenen Gutachten zu Substitutionsbeziehungen der erneuerbaren Energien im Stromsektor und den empirischen Erhebungen zur erneuerbaren Energienutzung im Haushalts-, GHD- und Industriesektor.

Tabelle 21: Vorgeschlagenes Verfahren zur Rück- bzw. Fortschreibung der Emissionsbilanzen im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor

	Marktentwicklung der fossilen Energiebereitstellung seit 1990	Marktentwicklung der erneuerbaren Energiebereitstellung seit 1990	Substitutionsbeziehungen zw. erneuerbarer und fossiler Energiebereitstellung	direkte Emissionsfaktoren für fossile Energiebereitstellung	direkte Emissionsfaktoren für erneuerbare Energiebereitstellung	Emissionsfaktoren für die Vorketten der fossilen und erneuerbaren Energiebereitstellung
wesentliche Datenquellen	AGEB-Zeitreihe der fossilen Energiebereitstellung	AGEE-Stat-Zeitreihe der erneuerbaren Energiebereitstellung	<u>Strom</u> : Ergebnisse aus Klobasa et al. (2005, 2009) <u>Wärme</u> : Ergebnisse aus Frondel et al. (2008) sowie AGEB und UBA-ZSE; Schätzungen	UBA-Datenbank ZSE	Ökobilanzen (GEMIS 4.5, Ecoinvent 2.0, ifeu, IE Leipzig), z. T. UBA-Datenbank ZSE	Ökobilanzen, v.a. GEMIS 4.5, z. T. Ecoinvent 2.0, ifeu, EU-JRC
zeitliche Auflösung der Datenquellen	jahresscharf ab 1990	jahresscharf ab 1990	<u>Strom</u> : jahresscharf ab 2003 <u>Wärme</u> : bei Haushalten nur 2005, in Teilen (Industrie, Landwirtschaft) jahresscharf <u>Verkehr</u> : unabhängig vom Jahr feststehend	jahresscharf für Gesamtdeutschland ab 1995, für die Jahre davor Rückschreibung	oft nur Einzeljahre, v.a. für Jahre vor 2000 große Lücken	nur Einzeljahre v.a. 2000, 2005, große Unsicherheiten
Aktualisierungsintervall „Time Lag“ der Daten	jährlich, ca. 1 Jahr	jährlich, ca. ½ Jahr	jährlich (Strom, Wärme), ca. 2-3 Jahre (Strom, Wärme)	jährlich, ca. 2-8 Jahre	unregelmäßig, ca. 5 Jahre	unregelmäßig, ca. 5 Jahre
Vorschlag zur (Rück-) Rechnung bis 1990	jahresscharfe Rückrechnung bis 1990	jahresscharfe Rückrechnung bis 1990	<u>Strom</u> : jahresscharfe Rückrechnung bis 1990 über die im Text dargestellte Übergangsregelung <u>Wärme</u> : jahresscharfe „Rückrechnung“ wie oben dargestellt <u>Verkehr</u> : konstant wie 2007	jahresscharfe Rückrechnung bis 1995, für die Jahre davor Rückschreibung	jahresscharfe Rückrechnung nicht möglich; Berechnung für 1995 (soweit möglich), 2000, 2005,	jahresscharfe Rückrechnung nicht möglich; Berechnung für 1995 (soweit möglich), 2000, 2005 und ggf. Interpolation
Vorschlag zur Fortschreibung ab 2008	jährliche Aktualisierung	jährliche Aktualisierung	Fortschreibung bis neue Informationen verfügbar; Prüfung und ggf. (rückwirkende) Korrektur alle 2 Jahre	jährliche Fortschreibung; ggf. (rückwirkende) Korrektur der Vorjahre	Fortschreibung bis neue Informationen, z.B. aus Forschungsvorhaben, verfügbar; Prüfung und ggf. (rückwirkende) Korrektur alle 2 Jahre	

8 Fazit und Ausblick

Die Neuberechnungen der Treibhausgasbilanz der erneuerbaren Energien, die mit umfangreichen methodischen Änderungen im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor einhergingen, ergeben eine Vermeidung von 104 Mio. t CO₂ in 2007. Im Vergleich zu den bisherigen Angaben in EEiZ 12/2008 bedeutet diese eine Korrektur um 13 Mio. t CO₂.

Bei Berücksichtigung vorgelagerter Prozesse in den Energiebereitstellungsketten sowie einer Erweiterung der betrachteten Schadstoffe um die Treibhausgase Methan und Lachgas ergibt sich eine Treibhausgasvermeidung durch erneuerbare Energien von ca. 106,7 Mio. t CO₂-Äquivalente. Verglichen mit bisherigen Berechnungen entspricht dies einem um ca. 5 Mio. t geringeren Beitrag der erneuerbarer Energien zum Klimaschutz.

Mit dem hier vorgelegten Berechnungsansatz wurden die methodischen Grundlagen zur Ermittlung der Umweltwirkungen erneuerbarer Energien wesentlich erweitert und die für die nationalen sowie internationalen Berichtspflichten essentiellen Emissionsbilanzen der erneuerbaren Energien aktualisiert. Darüber hinaus konnten Bereiche mit Datenlücken, u. a. überarbeitungsbedürftige Emissionsfaktoren, identifiziert werden.

Wie in den Kapiteln 2.5 und 5.4 aufgezeigt, sind einige der verwendeten Emissionsfaktoren allerdings mit beträchtlichen Unsicherheiten verbunden. Am größten werden diese im Bereich Biokraftstoffe und flüssige Biomasse eingeschätzt, da hier neben der allgemein unzureichenden Datenlage im Bereich landwirtschaftlicher Vorketten auch direkte und indirekte Landnutzungsänderungen zu berücksichtigen wären. Die bislang aufgrund unzureichender Kenntnis der Stoffströme (noch) nicht umgesetzte Bilanzierung der Landnutzungsänderungen hat daher zur Folge, dass die hier ermittelten vermiedenen Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energien insbesondere im Verkehrssektor systematisch zu hoch ausgewiesen sind.

Forschungsbedarf besteht darüber hinaus in Hinblick auf repräsentative Emissionsfaktoren für erneuerbare Energiebereitstellungsketten. Zum einen sollten ökobilanzielle Betrachtungen in regelmäßigen Abständen an die technische Entwicklung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien angepasst werden. Zum anderen sind vor allem im Bereich der energetischen Nutzung fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse umfangreiche empirische Erhebungen unerlässlich, um den Kenntnisstand zu Stoffströmen, Aktivitätsraten und Nutzungseffizienzen sowie zu den Emissionen des realen Anlagenbetriebs differenziert nach Brennstoff, Leistungsgröße und Luftreinigungstechnik zu erweitern. In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, ob neben den hier betrachteten acht „klassischen“ Luftschadstoffen weitere Schadstoffe bei zukünftigen Emissionsbilanzen zu berücksichtigen sind.

Die Verbesserung der Datengrundlagen bedarf der stärkeren Kooperation aller in den Bereichen Monitoring der erneuerbaren Energien und Ökobilanzierung von

Energiebereitstellungsketten tätigen Institutionen. Wichtige Impulse hierzu gingen von einem Expertenworkshop "Emissionsbilanzierung erneuerbarer Energien" im März 2009 aus, der von UBA, BMU und AGEE-Stat veranstaltet wurde. Neben dem Austausch von Informationen, zum Beispiel zum methodischen Bilanzierungsansatz, zu den verwendeten Datengrundlagen sowie zu den erzielten Ergebnissen wurden die vorgelegten Neuberechnungen in drei parallelen Arbeitsgruppen detailliert diskutiert und kritisch geprüft. Die wertvollen Ergebnisse dieser Diskussionen sowie die sich hieraus ergebenden Ableitungen sind durch UBA separat dokumentiert worden. Kurzfristig realisierbare Überarbeitungen sind bereits im vorliegenden Bericht umgesetzt worden.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2008): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2007, Stand September 2008.
- AGFW (2006): AGFW-Branchenreport 2006. Frankfurt.
- Bauer, C., Bolliger, R., Tuchschnid, M., Faist-Emmenegger, M. (2007): Wasserkraft. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent No. 6-VIII, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- BDEW (2008) Endenergieverbrauch in Deutschland 2006, Berlin.
- BDEW (2008): Energiemarkt Deutschland. Zahlen und Fakten zur Gas- und Stromversorgung, Berlin.
- BDEW (2009) Endenergieverbrauch in Deutschland 2007, Berlin. BDH (2008): Vortrag zur 2. Deutschen Wärmekonferenz; 16.09.2008.
- BMU (2007): Die Novelle der Kleinf Feuerungsverordnung, Hintergrundpapier Juni 2007.
- BMU (2008a): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung. Internet-Update. Stand Dezember 2008.
- BMU (2008b): Weiterentwicklung der Strategie zur Biomassenutzung; April 2008. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/41119/>
- BMU (2009): Bericht der Bundesregierung über ein Konzept zur Förderung, Entwicklung und Markteinführung von geothermischer Stromerzeugung und Wärmenutzung. Berlin, 13.05.2009.
- Bockey, D; UFOP (2009): Persönliche Mitteilung vom 29.04.09.
- Bundesregierung (2007): Verordnungsentwurf über Anforderungen an eine nachhaltige Erzeugung von zu Biokraftstoffen verwendeter Biomasse (Biomasse-Nachhaltigkeits-Verordnung – BioNachV) vom 24.10.2007.
- Bundesregierung (2008): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen. BR-Drucksache 830/08, 07.11.08.
- Bundesregierung (2009): Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung – BioSt-NachV) vom 10.06.2009.
- Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft BDB^e (2009) Deutsche Bioethanolstatistik 2008: Bioethanolproduktion um 46 Prozent gewachsen. http://www.lab-biokraftstoffe.de/PM_BioethStat.html (20.04.09)

- Burger, B.; Bauer, C. (2007): Windkraft. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent No. 6-XIII, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- Butterbach-Bahl (2008): Emissionen von N₂O und anderen umweltrelevanten Spurengasen (VOC, NO_x) beim Anbau von Biomasse. Tagungsband des Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger; Darmstadt; Sept. 2008.
- Ciroth, A. (2009): Validierung der Emissionsfaktoren ausgewählter erneuerbarer Energiebereitstellungsketten. Unveröffentlichter Forschungsbericht für das Umweltbundesamt.
- Crutzen, P.J.; Mosier, A.R.; Smith K.A. und Winiwarter, W. (2007): „N₂O-release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.“ Atmos. Chem. Phys. Discuss. 7, 11191-11205.
- Dones, R.; Bauer, C.; Bolliger, R.; Burger, B.; Faist Emmenegger, M.; Frischknecht, R.; Heck, T.; Jungbluth, N.; Röder, A.; Tuchschnid, M. (2007): Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report ecoinvent No. 6, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- Drück, H.; Mette, B. (2009): Evaluierung MAP 2007/08. Kurzpräsentation Ergebnisse, kleine solarthermische Anlagen, Berlin, 20. Mai 2009.
- EU (2009): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. Amtsblatt der Europäischen Union, L140/16-62, 05.06.2009.
- Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Reinhardt, G.; Schmitz, J.; Sayer, U.; Gretz, M.; Seizinger, E.; Lanje, K. (2008): Criteria for a Sustainable Use of Bioenergy on a Global Scale. RESEARCH REPORT 206 41 112, UBA-FB 001176/E, Dessau-Roßlau.
- Frey, G.; Schulz, W.; Horst, J., Leprich, U. (2007): Studie zu den Energieeffizienzpotenzialen durch Ersatz von elektrischem Strom im Raumwärmebereich. Studie im Auftrag von co2online gGmbH.
- Frick, S.; Schröder, G.; Rychtyk, M.; Bohnenschäfer, W.; Kaltschmitt, M. (2008): Umwelteffekte einer geothermischen Stromerzeugung. Analyse und Bewertung der klein- und großräumigen Umwelteffekte einer geothermischen Stromerzeugung. Unveröffentlichter Endbericht an das Umweltbundesamt. Leipzig.

- Frischknecht, R.; Tuchschnid, M.; Faist Emmenegger, M.; Bauer, C.; Dones, R. (2007): Strommix und Stromnetz. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. ecoinvent report No. 6, v2.0. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- Fritsche, U.; Rausch, L. (2008): Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Endbericht zum Forschungsvorhaben 360 16 008 des Umweltbundesamts. Darmstadt.
- Fritsche, U.; Rausch, L.; Frey, G. (2007): Umwelteffekte der Strom- und Wärmebereitstellung sowie Kraftstoffnutzung: Zeitreihen von 1990 bis 2004 - Schlussfassung des Endberichts – Darmstadt, Februar 2007.
- Fritsche, U.; Schmidt, K. (2007): Endenergiebezogene Gesamtemissionen für Treibhausgase aus fossilen Energieträgern unter Einbeziehung der Bereitstellungsvorketten. Kurzbericht im Auftrag des Bundesverbands der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (BGW). Darmstadt.
- Frondel, M; Grösche, P; Tauchmann, H.; Vance, C. (2008): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005. Forschungsprojekt Nr. 15/06 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).
- Heck T. (2007): Wärmepumpen. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent No. 6-X, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE 2007): Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FKZ 204 41 133), Leipzig 2007.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Second Assessment Report Climate Change 1995; weitere Informationen unter www.ipcc.de.
- Jungbluth, N. (2007): "Sonnenkollektor-Anlagen." In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. ecoinvent report No. 6-XI, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- Jungbluth, N.; Chudacoff, M.; Dauriat, A.; Dinkel, F.; Doka, G.; Faist Emmenegger, M.; Gnansounou, E.; Kljun, N.; Schleiss, K.; Spielmann, M.; Stettler, C.; Sutter, J. (2007): Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.

- Jungbluth N.; Tuchschnid M. (2007): Photovoltaics. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. ecoinvent report No. 6-XII, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- Kalies, M.; Schröder, G. (2007): Schlüsseldaten Klimagasemissionen - Welchen Beitrag kann die Biomasse zum Klimaschutz leisten? Studie im Auftrag des Ufop, Leipzig.
- Klobasa, M.; Ragwitz, M. (2005): Gutachten zur CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien, Bericht für die AGEE-Stat, Karlsruhe.
- Klobasa, M.; Sensfuß, F., Ragwitz, M. (2009): Gutachten zur CO₂- Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007. Bericht für die AGEE-Stat, Karlsruhe.
- Leuchtweis, C. (2009), Persönliche Mitteilung.
- Majer, S.; Schröder, G. (2008): Erläuterungspapier zum Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung, Studie im Auftrag des ufop, Leipzig, 2008.
- Nitsch, J. (2008): Leitstudie 2008, Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart 2008.
- Öko-Institut (2008): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Version 4.5 Beta. Stand: August 2008.
- Pfeiffer, F.; Struschka, M.; Baumbach, G. (IVD 2000): Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher. Endbericht zum Forschungsvorhaben 295 46 364 des Umweltbundesamts Texte 14/00, Stuttgart.
- Reisinger, K.; Hartmann, H.; Nothaft, C. (2009): Evaluierung des BMU-Marktanreizprogramms: Teilbereich kleine Biomassekessel bis 100 kW. Kurzpräsentation Ergebnisse, Berlin, 20. Mai 2009.
- Remmele, E., TFZ (2009): Persönliche Mitteilung vom 28.04.09.
- Rentz, O.; Karl, U.; Peter, H. (2002): Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010. Endbericht zum Forschungsvorhaben 299 43 142 des Umweltbundesamts. Karlsruhe.
- Schebek, L., Bräutigam, K.-R. (2007): Von der Wiege bis zur Bahre in: Technikfolgenabschätzung (TATuP Schwerpunkt) – Theorie und Praxis 16, Nr. 3.

- Schmitz, N. (2006) Vortrag „Märkte für den stofflichen und energetischen Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen im Rahmen DBU – BASF – Kongress 15. Mai 2006 in Berlin. <http://www.meo-consulting.com/downloads/2praesentationdbubasf1505006final.pdf> (21.04.09)
- Sieber, R. (2008): Der Biodieselmkt in 2007 und ein Ausblick nach 2008. http://www.sbe-bioenergie.de/pdf/news/file_1_86.pdf (21.04.09)
- Struschka, M; Kilgus, D.; Springmann, M.; Baumbach, G. (IVD 2008): Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Endbericht Forschungsvorhaben 205 42 322 des Umweltbundesamtes. Stuttgart.
- UBA (2008): Zentrales System Emissionen. UBA- Datenbank zur Unterstützung der Emissionsberichterstattung, Submission 2008, Stand: Februar 2008.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2004): Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual inventories (following incorporation of the provisions of decision 13/CP.9); FCCC/SBSTA/2004/8.
- Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP) (2008). Bericht 2007/2008. http://www.ufop.de/downloads/Ufop_Bericht_07_08.pdf (21.04.09)
- Vogt, R; Gärtner, S.; Münch, J.; Reinhardt, G., Köppen, S.; Daniel, J.; Postel, J.; Scholwin, F.; Klinski, S.; Brohmann, B.; Fritsche, U.; Hennenberg, K.; Hünecke, K.; Rausch, L.; Köppel, J.; Peters, W.; Pusch, E.; Schultze, C. (2008): Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Endbericht zum Forschungsvorhaben 032 75 44 des BMU. IFEU, Heidelberg.
- WBGU (2008) Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Jahresgutachten 2008. Arbeitsexemplar Bundesregierung. Stand 16.12.2008.
- Weber, M.; SARIA Bio-Industries (2009): Persönliche Mitteilung vom 30.04.09.

Datenanhang

Der vorliegende Bericht umfasst zudem vier Datenanhänge:

- Anhang 1: Emissionsbilanzen ohne Vorketten für die Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien
- Anhang 2: Gesamt-Emissionsbilanzen mit Vorketten für die Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien
- Anhang 3: Emissionsbilanzen ohne Vorketten für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien
- Anhang 4: Gesamt-Emissionsbilanzen mit Vorketten für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

Anhang 1

Emissionsbilanzen ohne Vorketten für die Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien

2007	TWh	(Zahlen aus EEIZ Dezember 2008)
Wasserkraft ²⁾	21,249	
Windenergie	39,713	
Photovoltaik	3,075	
Geothermie ³⁾	0,000	
biogene Festbrennstoffe ges.	8,743	
Altholz	4,372	
HKW	4,372	
biogene flüssige Brennstoffe	1,485	
Biogas	6,425	
Klärgas	0,983	
Deponiegas	1,009	
biogener Anteil des Abfalls ⁴⁾	4,130	
Summe	86,8124	

	Braunkohle	Steinkohle	Gas	Öl
Substitution %				
Stromerzeugung TWh				
SO2 Äqui.	1,36	1,02	0,37	1,15
SO2	0,85	0,61	0,00	0,74
NOx	0,73	0,58	0,52	0,58
NH3				
Staub	0,03	0,03	0,00	0,04
CO	0,54	0,08	0,38	0,18
NMVOG	0,01	0,03	0,01	0,04
CO2 Äqui.	1.060,55	874,46	458,62	649,36
CO2	1.050,24	861,96	456,41	646,04
CH4	0,01	0,01	0,01	0,02
N2O	0,03	0,04	0,01	0,01

Direkte Emissionsfaktoren für die öffentliche Stromerzeugung aus fossilen Energien im Jahr 2007, in g/kWh_{el}

2007	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	NH3	Staub	CO	NMVOG	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Braunkohle-Ost	1,82	1,30	0,74		0,03	0,53	0,01	986,01	976,69	0,01	0,03
Braunkohle-West	0,79	0,29	0,72		0,04	0,56	0,01	1153	1142	0,02	0,04
Braunkohle	1,36	0,85	0,73		0,03	0,54	0,01	1061	1050	0,01	0,03
Steinkohle	1,02	0,61	0,58		0,03	0,08	0,03	874	862	0,01	0,04
Erdgas-GM	1,04	0,01	1,48		0,00	1,41	0,00	654	650	0,00	0,01
Erdgas-GT	0,56	0,01	0,79		0,00	0,60	0,00	614	611	0,02	0,01
Erdgas-DT	0,15	0,00	0,20		0,00	0,01	0,02	481	480	0,00	0,00
Erdgas-GuD	0,34	0,00	0,48		0,00	0,36	0,00	369	367	0,01	0,01
Erdgas	0,37	0,00	0,52		0,00	0,38	0,01	459	456	0,01	0,01
HL-GM	1,67	0,64	1,48		0,02	1,41	0,04	865	859	0,04	0,02
HL-GT	1,48	0,60	1,26		0,01	0,70	0,02	812	807	0,01	0,01
HS-DT	1,23	0,90	0,47		0,05	0,05	0,05	672	669	0,03	0,01
HL-DT	0,73	0,47	0,38		0,01	0,03	0,03	638	634	0,03	0,01
HL-GuD	0,89	0,36	0,76		0,00	0,42	0,01	487	484	0,00	0,01
Öl	1,15	0,74	0,58		0,04	0,18	0,04	649	646	0,02	0,01

Direkte Emissionsfaktoren für die öffentliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2007, in g/kWh_{el}

Angaben nur für die direkten Emissionen, also ohne vorgelagerte Prozessketten und ohne Materialvorleistungen. NH3 wegen lückenhafter Daten in Berechnungen nicht einbezogen. Wasser, Wind, PV, Biogas, flüssige u. feste biog. Brennstoffe, feste Biomasse, für Klär- u. Deponiegas EF für Biogas übernommen, biog. Anteil Abfall aus ZSE, umgerechnet mit GEMIS Nutzungsgraden, NICHT wie in EEIZ 41%

2007	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	NH3	Staub	CO	NMVOG	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Feste Biomasse Gesamt	0,75031	0,16847	0,83597	0,00000	0,03539	0,43444	0,13329	10,96687	0,00000	0,02666	0,03357
Feste Biomasse - Altholz (50%)	0,43096	0,01866	0,59239		0,02048	0,32911	0,13164	4,63380	0,00000	0,02633	0,01316
Feste Biomasse - HKW (50%)	1,06965	0,31828	1,07956		0,05031	0,53978	0,13494	17,29995	0,00000	0,02699	0,05398
Flüssige Biomasse	3,77164	0,03891	5,36312		0,14292	1,14153	0,08604	8,18442	0,00000	0,00313	0,02619
Biogas	1,38362	0,13500	1,79400	0,00000	0,01245	1,50000	0,02205	50,53328	0,00000	2,33250	0,00500
Klärgas	1,38362	0,13500	1,79400	0,00000	0,01245	1,50000	0,02205	50,53328	0,00000	2,33250	0,00500
Deponiegas	1,38362	0,13500	1,79400	0,00000	0,01245	1,50000	0,02205	50,53328	0,00000	2,33250	0,00500
Biog. Anteil Abfall	0,10207	0,07200	0,04320		0,01200	0,01680	0,01680	23,22718	0,00000	0,04320	0,07200

Wasser

Substitution %
Stromerzeugung TWh

	BK	SK	Gas	Öl	Summe
	0,3	0,45	0,25	0	1
					21,25
					t
SO2 Äqui.	0,4	0,5	0,1	0,0	20,387
SO2	0,3	0,3	0,0	0,0	11,261
NOx	0,2	0,3	0,1	0,0	13,038
NH3					
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	522
CO	0,2	0,0	0,1	0,0	6,234
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0,0	374
CO2 Äqui.	318,2	393,5	114,7	0,0	17.558,603
CO2	315,1	387,9	114,1	0,0	17.361,663
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	278
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	616

Wind

Substitution %
Stromerzeugung TWh

	BK	SK	Gas	Öl	Summe
	0,11	0,63	0,24	0,02	1
					39,71
					t
SO2 Äqui.	0,2	0,6	0,1	0,0	35,839
SO2	0,1	0,4	0,0	0,0	19,550
NOx	0,1	0,4	0,1	0,0	23,270
NH3					
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	984
CO	0,1	0,0	0,1	0,0	8,110
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0,0	832
CO2 Äqui.	116,7	550,9	110,1	13,0	31.398,147
CO2	115,5	543,0	109,5	12,9	31.016,735
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	527
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	1.195

PV

Substitution %
Stromerzeugung TWh

	BK	SK	Gas	Öl	Summe
	0	0,5	0,5	0	1
					3,08
					t
SO2 Äqui.	0,0	0,5	0,2	0,0	2,126
SO2	0,0	0,3	0,0	0,0	940
NOx	0,0	0,3	0,3	0,0	1,704
NH3					
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	53
CO	0,0	0,0	0,2	0,0	704
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0,0	52
CO2 Äqui.	0,0	437,2	229,3	0,0	2.049,608
CO2	0,0	431,0	228,2	0,0	2.026,997
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	38
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	70

Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
Summe	Summe	Differenz	daraus folgt	
Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)	der Faktor	
t	t	t	abzgl. 7% für Regelenenergie	abzgl. 7% für Regelenenergieaufwand
20.387	0,00	20.386,95	959,4309513	0,959431
11.261	0,00	11.260,53	529,9321039	0,5299321
13.038	0,00	13.037,74	613,5697819	0,6135698
0	0,00	0,00	0	0
522	0,00	522,14	24,57227158	0,0245723
6.234	0,00	6.234,15	293,3855645	0,2933856
374	0,00	373,56	17,58030465	0,0175803
17.558.603	0,00	17.558.603,19	826326,095	826,32609
17.361.663	0,00	17.361.663,13	817057,891	817,05789
278	0,00	278,39	13,10144383	0,0131014
616	0,00	616,43	29,00991495	0,0290099

Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
Summe	Summe	Differenz	daraus folgt	
Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)	der Faktor	
t	t	t	abzgl. 7% für Regelenenergie	abzgl. 7% für Regelenenergieaufwand
35.839	0,00	33.330,16	839,2758705	0,8392759
19.550	0,00	18.181,72	457,8278166	0,4578278
23.270	0,00	21.640,64	544,9257913	0,5449258
0	0,00	0,00	0	0
984	0,00	915,40	23,05036859	0,0230504
8.110	0,00	7.542,72	189,9306734	0,1899307
832	0,00	774,08	19,49197888	0,019492
31.398.147	0,00	29.200.276,28	735282,5594	735,28256
31.016.735	0,00	28.845.563,45	726350,6521	726,35065
527	0,00	490,11	12,34118381	0,0123412
1.195	0,00	1.111,03	27,9765885	0,0279766

Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
Summe	Summe	Differenz	daraus folgt	
Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)	der Faktor	
t	t	t	abzgl. 7% für Regelenenergie	abzgl. 7% für Regelenenergieaufwand
2.126	0,00	1.977,25	643,0070506	0,6430071
940	0,00	874,47	284,3807346	0,2843807
1.704	0,00	1.584,45	515,2676954	0,5152677
0	0,00	0,00	0	0
53	0,00	48,99	15,93233381	0,0159323
704	0,00	654,87	212,9656493	0,2129656
52	0,00	48,19	15,67051315	0,0156705
2.049.608	0,00	1.906.135,19	619881,3621	619,88136
2.026.997	0,00	1.885.107,34	613043,0378	613,04304
38	0,00	35,07	11,4040471	0,011404
70	0,00	70,38	22,88879393	0,0228888

Geothermie

	BK	SK	Gas	Öl	Summe
Substitution %	0,3	0,4	0,3	0	1
Stromerzeugung TWh					0,00
					t
SO2 Äqui.	0,4	0,4	0,1		0
SO2	0,3	0,2	0,0		0
NOx	0,2	0,2	0,2		0
NH3					0
Staub	0,0	0,0	0,0		0
CO	0,2	0,0	0,1		0
NMVOG	0,0	0,0	0,0		0
CO2 Äqui.	318,2	349,8	137,6		322
CO2	315,1	344,8	136,9		319
CH4	0,0	0,0	0,0		0
N2O	0,0	0,0	0,0		0

Festbrennstoffe

	BK	SK	Gas	Öl	Summe
Substitution %	0,16	0,59	0,25	0	1
Stromerzeugung TWh					8,74
					t
SO2 Äqui.	0,2	0,6	0,1	0,0	7.962
SO2	0,1	0,4	0,0	0,0	4.334
NOx	0,1	0,3	0,1	0,0	5.183
NH3					0,00000
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	213
CO	0,1	0,0	0,1	0,0	1.997
NMVOG	0,0	0,0	0,0	0,0	172
CO2 Äqui.	169,7	515,9	114,7	0,0	6.996.798
CO2	168,0	508,6	114,1	0,0	6.913.082
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	114
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	262

Flüssige Biomasse

	BK	SK	Gas	Öl	Summe
Substitution %	0,05	0,62	0,32	0,01	1
Stromerzeugung TWh					1,49
					t
SO2 Äqui.	0,1	0,6	0,1	0,0	1230,4
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	635,6
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	849,8
NH3					0,0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	33,2
CO	0,0	0,0	0,1	0,0	296,0
NMVOG	0,0	0,0	0,0	0,0	29,8
CO2 Äqui.	53,0	542,2	146,8	6,5	1111440,3
CO2	52,5	534,4	146,1	6,5	1098069,1
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	41,8

Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
Summe	Summe	Differenz	daraus folgt	
Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)	der Faktor	
t	t	t		
0	0,00	0,37	927,1473898	0,9271474
0	0,00	0,20	499,7610381	0,499761
0	0,00	0,24	610,551931	0,6105519
0	0,00	0,00	0	0
0	0,00	0,01	23,15267897	0,0231527
0	0,00	0,12	308,370789	0,3083708
0	0,00	0,01	16,51728257	0,0165173
322	0,00	322,21	805533,7752	805,53378
319	0,00	318,71	796780,1603	796,78016
0	0,00	0,01	12,95367371	0,0129537
0	0,00	0,01	27,35996067	0,027356

Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
Summe	Summe	Differenz	daraus folgt	
Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)	der Faktor	
t	t	t		
7.962	6559,92	1.402,46	160,4091638	0,1604092
4.334	1472,91	2.861,25	327,2620972	0,3272621
5.183	7308,92	-2.125,76	-243,13833	-0,243138
0	0,00	0,00	0	0
213	309,46	-96,02	-10,9825217	-0,010983
1.997	3798,33	-1.801,68	-206,071224	-0,206071
172	1165,39	-992,97	-113,573612	-0,113574
6.996.798	95883,37	6.900.914,34	789307,3706	789,30737
6.913.082	0,00	6.913.082,02	790699,076	790,69908
114	233,08	-118,94	-13,604006	-0,013604
262	293,51	-31,19	-3,56781054	-0,003568

Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
Summe	Summe	Differenz	daraus folgt	
Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)	der Faktor	
t	t	t		
1.230	5600,89	-4.370,45	-2943,0655	-2,943066
636	57,78	577,78	389,074934	0,3890749
850	7964,23	-7.114,41	-4790,84703	-4,790847
0	0,00	0,00	0	0
33	212,23	-179,01	-120,543604	-0,120544
296	1695,17	-1.399,21	-942,227394	-0,942227
30	127,77	-98,00	-65,995373	-0,065995
1.111.440	12153,86	1.099.286,44	740260,2301	740,26023
1.098.069	0,00	1.098.069,11	739440,4789	739,44048
19	4,65	14,52	9,780218542	0,0097802
42	38,89	2,94	1,981827747	0,0019818

Biogas

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch Biogas		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Vermeidung	Erzeugung	Summe	Summe	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	1,01							
					6,43							
SO2 Äqui.	0,1	0,6	0,1	0,0	5323,6	1,383624	8889,8	5,324	8889,78	-3.566,17	-555,045893	-0,555046
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	2749,8	0,135	867,4	2.750	867,38	1.882,44	292,9864039	0,2929864
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	3676,9	1,794	11526,5	3.677	11526,45	-7.849,59	-1221,72614	-1,221726
NH3					0,0			0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	143,7	0,01245	80,0	144	79,99	63,75	9,922321981	0,0099223
CO	0,0	0,0	0,1	0,0	1280,5	1,5	9637,5	1.281	9637,50	-8.356,97	-1300,69624	-1,300696
NMVOc	0,0	0,0	0,0	0,0	128,8	0,02205	141,7	129	141,67	-12,89	-2,00599865	-0,002006
CO2 Äqui.	53,0	542,2	146,8	6,5	4808756,9	50,533275	324676,3	4.808.757	324676,29	4.484.080,58	697911,375	697,91137
CO2	52,5	534,4	146,1	6,5	4750905,1	0	0,0	4.750.905	0,00	4.750.905,08	739440,4789	739,44048
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	83,0	2,3325	14986,3	83	14986,31	-14.903,35	-2319,58765	-2,319588
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	181,0	0,0050025	32,1	181	32,14	148,86	23,16850537	0,0231685

Klärgas

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch Klärgas		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Vermeidung	Erzeugung	Summe	Summe	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	0,98							
					0,98							
SO2 Äqui.	0,1	0,6	0,1	0,0	814,5	1,383624	1360,1	814	1360,10	-545,61	-555,045893	-0,555046
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	420,7	0,135	132,7	421	132,71	288,01	292,9864039	0,2929864
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	562,5	1,794	1763,5	563	1763,50	-1.200,96	-1221,72614	-1,221726
NH3					0,0			0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	0,01245	12,2	22	12,24	9,75	9,922321981	0,0099223
CO	0,0	0,0	0,1	0,0	195,9	1,5	1474,5	196	1474,50	-1.278,58	-1300,69624	-1,300696
NMVOc	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	0,02205	21,7	20	21,68	-1,97	-2,00599865	-0,002006
CO2 Äqui.	53,0	542,2	146,8	6,5	735721,1	50,533275	49674,2	735.721	49674,21	686.046,88	697911,375	697,91137
CO2	52,5	534,4	146,1	6,5	726870,0	0	0,0	726.870	0,00	726.869,99	739440,4789	739,44048
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	2,3325	2292,8	13	2292,85	-2.280,15	-2319,58765	-2,319588
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	0,0050025	4,9	28	4,92	22,77	23,16850537	0,0231685

Deponiegas

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch Deponiegas		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Vermeidung	Erzeugung	Summe	Summe	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	1,01							
					1,01							
SO2 Äqui.	0,1	0,6	0,1	0,0	814,5	1,383624	1396,1	814	1396,08	-581,58	-576,396766	-0,576397
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	420,7	0,135	136,2	421	136,22	284,50	281,958013	0,281958
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	562,5	1,794	1810,1	563	1810,15	-1.247,60	-1236,47254	-1,236473
NH3					0,0			0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	0,01245	12,6	22	12,56	9,43	9,345830037	0,0093458
CO	0,0	0,0	0,1	0,0	195,9	1,5	1513,5	196	1513,50	-1.317,58	-1305,83191	-1,305832
NMVOc	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	0,02205	22,2	20	22,25	-2,55	-2,52249422	-0,002522
CO2 Äqui.	53,0	542,2	146,8	6,5	735721,1	50,533275	50988,1	735.721	50988,07	684.733,02	678625,3879	678,62539
CO2	52,5	534,4	146,1	6,5	726870,0	0	0,0	726.870	0,00	726.869,99	720386,5121	720,38651
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	2,3325	2353,5	13	2353,49	-2.340,80	-2319,92037	-2,31992
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	0,0050025	5,0	28	5,05	22,64	22,44259245	0,0224426

Biogener Anteil des Abfalls

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch biog. Abfall		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/MWhel	
	0,16	0,59	0,25	0	1	t	t	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)	t	t	t
					4,13								
SO2 Äqui.	0,2	0,6	0,1	0,0	3761,3	0,10206712	421,5	3.761	421,54	3.339,72	808,6477958	0,8086478	
SO2	0,1	0,4	0,0	0,0	2047,4	0,07199994	297,4	2.047	297,36	1.750,00	423,7296767	0,4237297	
NOx	0,1	0,3	0,1	0,0	2448,4	0,04319997	178,4	2.448	178,42	2.270,00	549,6361704	0,5496362	
NH3					0,0			0	0,00	0,00	0	0	
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	100,8	0,01999999	49,6	101	49,56	51,26	12,41232334	0,0124123	
CO	0,1	0,0	0,1	0,0	943,2	0,01679999	69,4	943	69,38	873,79	211,5712741	0,2115713	
NMVOOC	0,0	0,0	0,0	0,0	81,4	0,01679999	69,4	81	69,38	12,06	2,919900708	0,0029199	
CO2 Äqui.	169,7	515,9	114,7	0,0	3305132,6	23,2271814	95928,3	3.305.133	95928,26	3.209.204,36	777047,0615	777,04706	
CO2	168,0	508,6	114,1	0,0	3265587,2	0	0,0	3.265.587	0,00	3.265.587,18	790699,076	790,69908	
CH4	0,0	0,0	0,0	0,0	53,9	0,04319997	178,4	54	178,42	-124,50	-30,1452709	-0,030145	
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	123,9	0,07199994	297,4	124	297,36	-173,45	-41,9966573	-0,041997	

Bilanzierung

Substitution % Stromerzeugung TWh	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz) abzgl. Regelenergieaufwand	kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/MWhel
	t	t	t		
SO2 Äqui.	78.259	24.228	51.373	592	1
SO2	42.360	2.964	37.961	437	0
NOx	51.295	30.552	18.995	219	0
NH3			0	0	
Staub	2.094	676	1.346	16	0
CO	19.957	18.188	1.152	13	0
NMVOOC	1.710	1.548	100	1	0
CO2 Äqui.	68.700.249	629.304	65.729.803	757.145	757
CO2	67.887.097	0	65.574.036	755.353	755
CH4	1.139	20.049	-18.950	-218	0
N2O	2.546	672	1.790	21	0

Anhang 2

Gesamt-Emissionsbilanzen mit Vorketten für die Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien

2007	TWh	(Zahlen aus EEIZ Dezember 2008)
Wasserkraft ²⁾	21,249	
Windenergie	39,713	
Photovoltaik	3,075	
Geothermie ³⁾	0,000	
biogene Festbrennstoffe ges.	8,743	
Altholz	4,372	
HKW	4,372	
biogene flüssige Brennstoffe	1,485	
Biogas	6,425	
Klär gas	0,983	
Deponiegas	1,009	
biogener Anteil des Abfalls ⁴⁾	4,130	
Summe	86,812	

Substitution %	Braunkohle	Steinkohle	Gas	Öl
Stromerzeugung TWh				
SO ₂ Äqui.	1,40	1,08	0,53	1,71
SO ₂	0,87	0,63	0,02	1,12
NO _x	0,76	0,64	0,73	0,84
NH ₃				
Staub	0,03	0,04	0,01	0,08
CO	0,57	0,14	0,40	0,33
NM ₅ OC	0,01	0,03	0,03	0,21
CO ₂ Äqui.	1.093,14	1000,56	532,97	754,82
CO ₂	1.082,09	899,81	500,24	745,83
CH ₄	0,03	3,84	1,32	0,24
N ₂ O	0,03	0,04	0,01	0,01

Emissionsfaktoren (incl. Vorketten) für die öffentliche Stromerzeugung aus fossilen Energien im Jahr 2007, in g/kWh _{el}											
2007	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	NH ₃	Staub	CO	NM ₅ OC	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Braunkohle-Ost	1,85	1,31	0,77	0,01	0,03	0,55	0,01	1007,78	997,83	0,03	0,03
Braunkohle-West	0,84	0,31	0,75	0,01	0,04	0,60	0,01	1199	1187	0,04	0,04
Braunkohle	1,40	0,87	0,76	0,01	0,03	0,57	0,01	1093	1082	0,03	0,03
Steinkohle	1,08	0,63	0,64	0,00	0,04	0,14	0,03	1001	900	3,84	0,04
Erdgas-GM	1,04	0,01	1,48	0,00	0,00	1,41	0,00	654	650	0,00	0,01
Erdgas-GT	0,56	0,01	0,79	0,00	0,00	0,60	0,00	614	611	0,02	0,01
Erdgas-DT	0,15	0,00	0,20	0,00	0,00	0,01	0,02	481	480	0,00	0,00
Erdgas-GuD	0,34	0,00	0,48	0,01	0,00	0,36	0,00	369	367	0,01	0,01
Erdgas	0,53	0,02	0,73	0,01	0,01	0,40	0,03	533	500	1,32	0,01
HL-GM	1,67	0,64	1,48	0,00	0,02	1,41	0,04	865	859	0,04	0,02
HL-GT	1,48	0,60	1,26	0,00	0,01	0,70	0,02	812	807	0,01	0,01
HS-DT	1,23	0,90	0,47	0,01	0,05	0,05	0,05	672	669	0,03	0,01
HL-DT	0,73	0,47	0,38	0,00	0,01	0,03	0,03	638	634	0,03	0,01
HL-GuD	0,89	0,36	0,76	0,00	0,00	0,42	0,01	487	484	0,00	0,01
Öl	1,71	1,12	0,84	0,01	0,08	0,33	0,21	755	746	0,24	0,01

Emissionsfaktoren (incl. Vorketten) für die öffentliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2007, in g/kWh _{el}											
2007	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	NH ₃	Staub	CO	NM ₅ OC	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Wasserkraft	0,01375	0,00463	0,01310	0,00014	0,04139	0,01205	0,00212	4,47781	3,40166	0,05040	0,00006
Windenergie	0,05178	0,03386	0,02574	0,00069	0,03567	0,06380	0,00570	11,63383	10,83432	0,03159	0,00044
Photovoltaik	0,31956	0,21093	0,15609	0,00437	0,08218	0,22444	0,08409	68,81951	64,22188	0,18201	0,00250
Geothermie	0,47923	0,26076	0,31388	0,00514	0,20546	0,12876	0,04081	310,70361	294,14413	0,62551	0,01104
Festbrennstoffe Gesamt	1,92832	0,17868	2,51385	0,00000	0,03804	0,44577	0,13910	21,04186	9,82748	0,03477	0,03382
Feste Biomasse - Altholz (50%)	0,49984	0,03236	0,67166		0,02337	0,34198	0,13990	17,84672	12,87811	0,03755	0,01348
Feste Biomasse - HKW (50%)	3,35681	0,32500	4,35604		0,05270	0,54955	0,13830	24,23700	6,77685	0,03198	0,05416
Flüssige Biomasse	4,75373	0,45121	6,18177	0,00000	0,88741	8,41618	0,17650	274,24972	209,57022	0,60506	0,16766
Biogas	1,61088	0,22140	1,99639	0,00000	0,33124	1,32570	0,04529	323,35133	91,87500	6,36150	0,31576
Klär gas	1,38362	0,13500	1,79400	0,00000	0,01245	1,50000	0,02205	50,53328	0,00000	2,33250	0,00500
Deponiegas	1,38362	0,13500	1,79400	0,00000	0,01245	1,50000	0,02205	50,53328	0,00000	2,33250	0,00500
Biog. Anteil Abfall	0,10207	0,07200	0,04320		0,01200	0,01680	0,01680	23,22718	0,00000	0,04320	0,07200

Wasser

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Wasser	Summe	Summe	Summe	Differenz		
	0,3	0,45	0,25	0	1			Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)		
					21,25			t	t	t		
SO2 Äqui.	0,4	0,5	0,1	0,0	22,073	0,01375	292,17274	22,073	292,17	21.780,75	1025,0245	1,0250245
SO2	0,3	0,3	0,0	0,0	11,650	0,00463	98,42664	11,650	98,43	11.551,36	543,61915	0,5436192
NOx	0,2	0,3	0,2	0,0	14,838	0,01310	278,37083	14,838	278,37	14.559,21	685,1717	0,6851717
NH3						0,00014	2,93078	0	2,93	-2,93	-0,1379256	-0,000138
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	655	0,04139	879,60063	655	879,60	-224,84	-10,561008	-0,010581
CO	0,2	0,1	0,1	0,0	7,128	0,01205	255,97602	7,128	255,98	6.872,28	323,41678	0,3234168
NMVOOC	0,0	0,0	0,0	0,0	521	0,00212	44,98668	521	44,99	476,22	22,411458	0,0224115
CO2 Äqui.	327,9	450,3	133,2	0,0	19.367,141	4,47781	95148,91779	19.367,141	95148,92	19.271.991,84	906959,94	906,95994
CO2	324,6	404,9	125,1	0,0	18.159,420	3,40166	72281,87204	18.159,420	72281,87	18.087.137,78	851199,48	851,19948
CH4	0,0	1,7	0,3	0,0	43,888	0,05040	1070,86579	43,888	1070,87	42.817,21	2015,0222	2,0150222
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	643	0,00006	1,22214	643	1,22	641,42	30,185886	0,0301859

Wind

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Wind	Summe	Summe	Summe	Differenz		
	0,11	0,63	0,24	0,02	1			Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)		
					39,71			t	t	t		
SO2 Äqui.	0,2	0,7	0,1	0,0	39,578	0,05178	2056,21148	39,578	2056,21	34.894,90	878,67707	0,8786771
SO2	0,1	0,4	0,0	0,0	20,636	0,03386	1344,64644	20,636	1344,65	17.941,39	451,77631	0,4517763
NOx	0,1	0,4	0,2	0,0	26,932	0,02574	1022,36556	26,932	1022,36	24.095,86	606,74998	0,60675
NH3						0,00069	27,44740	0	27,45	-25,53	-0,6427639	-0,000643
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	1,286	0,03567	1416,53809	1,286	1416,54	-121,30	-3,0543126	-0,003054
CO	0,1	0,1	0,1	0,0	10,127	0,06380	2533,75569	10,127	2533,76	7.062,11	177,82856	0,1778286
NMVOOC	0,0	0,0	0,0	0,0	1,253	0,00570	226,19731	1,253	226,20	955,12	24,050529	0,0240505
CO2 Äqui.	120,2	630,4	127,9	15,1	35.487,934	11,63383	462014,22648	35.487,934	462014,23	32.574.105,02	820237,83	820,23783
CO2	119,0	566,9	120,1	14,9	32.599,785	10,83432	430263,34838	32.599,785	430263,35	29.917.655,14	753346,64	753,34664
CH4	0,0	2,4	0,3	0,0	108,856	0,03159	1254,58391	108,856	1254,58	100.069,02	2519,8051	2,5198051
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	1,246	0,00044	17,43425	1,246	17,43	1.142,57	28,770602	0,0287706

PV

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Photovoltaik	Summe	Summe	Summe	Differenz		
	0	0,5	0,5	0	1			Vermeidung	Erzeugung	(Bilanz)		
					3,08			t	t	t		
SO2 Äqui.	0,0	0,5	0,3	0,0	2,466	0,31956	982,66237	2,466	982,66	1.379,52	448,62586	0,4486259
SO2	0,0	0,3	0,0	0,0	999	0,21093	648,60496	999	648,60	326,32	106,12182	0,1061218
NOx	0,0	0,3	0,4	0,0	2,107	0,15609	479,96753	2,107	479,97	1.513,22	492,1035	0,4921035
NH3						0,00437	13,44672	0	13,45	-12,51	-4,0668116	-0,004067
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	79	0,08218	252,71833	79	252,72	-161,14	-52,404009	-0,052404
CO	0,0	0,1	0,2	0,0	834	0,22444	690,15170	834	690,15	133,48	43,409404	0,0434094
NMVOOC	0,0	0,0	0,0	0,0	90	0,08409	258,57901	90	258,58	-157,19	-51,117622	-0,051118
CO2 Äqui.	0,0	500,0	266,5	0,0	2.356,902	68,81951	211620,00179	2.356,902	211620,00	1.995.111,98	648816,9	648,8169
CO2	0,0	449,9	250,1	0,0	2.152,574	64,22188	197482,29622	2.152,574	197482,30	1.818.235,54	591296,11	591,29611
CH4	0,0	1,9	0,7	0,0	7,922	0,18201	559,69008	7,922	559,69	6.846,56	2226,523	2,226523
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	75	0,00250	7,69101	75	7,69	62,38	20,28643	0,0202864

Geothermie

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch Geothermie		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Summe	Differenz (Bilanz)	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)		
	0,3	0,4	0,3	0	1	0,00						
					t	t	t	t	t	t		
SO2 Äqui.	0,4	0,4	0,2	0	0	0,47923	0,19169	0	0,19	0,21	532,06397	0,532064
SO2	0,3	0,3	0,0	0	0	0,26076	0,10431	0	0,10	0,10	256,88599	0,256886
NOx	0,2	0,3	0,2	0	0	0,31388	0,12555	0	0,13	0,16	389,08359	0,3890836
NH3						0,00514	0,00206	0	0,00	0,00	-5,1446286	-0,005145
Staub	0,0	0,0	0,0	0	0	0,20546	0,08218	0	0,08	-0,07	-175,82007	-0,17582
CO	0,2	0,1	0,1	0	0	0,12876	0,05150	0	0,05	0,09	219,61441	0,2196144
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0	0	0,04081	0,01632	0	0,02	-0,01	-16,433377	-0,016433
CO2 Äqui.	327,9	400,2	159,9	355	310,70361	124,28145	355	124,28	230,94	577,35449	577,35449	
CO2	324,6	359,9	150,1	334	294,14413	117,65765	334	117,66	216,19	540,478,3	540,4783	
CH4	0,0	1,5	0,4	1	0,62551	0,25020	1	0,25	0,53	1313,92	1,31392	
N2O	0,0	0,0	0,0	0	0,01104	0,00442	0	0,00	0,01	17,575742	0,0175757	

Festbrennstoffe

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch Festbrennstoffe		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Summe	Differenz (Bilanz)	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)		
	0,16	0,59	0,25	0	8,74							
					t	t	t	t	t	t		
SO2 Äqui.	0,2	0,6	0,1	0,0	8,694	1,92832	16859,3	8,694	16859,33	-8,164,98	-933,888	-0,933888
SO2	0,1	0,4	0,0	0,0	4,507	0,17868	1562,2	4,507	1562,23	2,944,67	336,80347	0,3368035
NOx	0,1	0,4	0,2	0,0	5,956	2,51385	21978,6	5,956	21978,60	-16,022,58	-1832,6177	-1,832618
NH3						0,00000	0	0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	273	0,03804	332,5	273	332,55	-59,41	-6,795432	-0,006795
CO	0,1	0,1	0,1	0,0	2,407	0,44577	3897,3	2,407	3897,33	-1,490,31	-170,45774	-0,170458
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0,0	236	0,13910	1216,1	236	1216,14	-979,82	-112,06936	-0,112069
CO2 Äqui.	174,9	590,3	133,2	0,0	7,855,389	21,04186	183968,0	7,855,389	183968,99	7,671,420,07	877,435,67	877,43567
CO2	173,1	530,9	125,1	0,0	7,248,666	9,82748	85921,6	7,248,666	85921,64	7,162,743,96	819,254,71	819,25471
CH4	0,0	2,3	0,3	0,0	22,712	0,03477	304,0	22,712	303,95	22,407,99	2562,9638	2,5629638
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	273	0,03382	295,7	273	295,69	-22,35	-2,5568297	-0,002557

Flüssige Biomasse

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch Flüss. Biomasse		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Summe	Differenz (Bilanz)	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	1,49							
					t	t	t	t	t	t		
SO2 Äqui.	0,1	0,7	0,2	0,0	1377,1	4,75373	7059,3	1,377	7059,28	-5,682,14	-3826,3595	-3,826359
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	670,9	0,45121	670,1	671	670,05	0,83	0,5566274	0,0005566
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	1004,4	6,18177	9179,9	1,004	9179,93	-8,175,49	-5505,3789	-5,505379
NH3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0	0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	0,88741	1317,8	45	1317,80	-1,272,80	-857,10499	-0,857105
CO	0,0	0,1	0,1	0,0	368,3	8,41618	12498,0	368	12498,03	-12,129,74	-8168,1761	-8,168176
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0,0	45,4	0,17650	262,1	45	262,10	-216,69	-145,91775	-0,145918
CO2 Äqui.	54,7	620,3	170,6	7,5	1266861,8	274,24972	407260,8	1,266,862	407260,83	859,600,97	578855,87	578,85587
CO2	54,1	557,9	160,1	7,5	1157589,6	209,57022	311211,8	1,157,590	311211,78	846,377,83	569951,4	569,9514
CH4	0,0	2,4	0,4	0,0	4163,3	0,60506	898,5	4,163	898,52	3,264,82	2198,532	2,198532
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8	0,16766	249,0	44	248,97	-205,15	-138,15118	-0,138151

Biogas

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Biogas		Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	1							
					6,43							
					t	t	t	t	t			
SO2 Äqui.	0,1	0,7	0,2	0,0	5958,3	1,61088456	10349,9	5.958	10349,93	-4.391,60	-683,51691	-0,683517
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	2902,6	0,22139625	1422,5	2.903	1422,47	1.480,15	230,37345	0,2303734
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	4345,8	1,99639125	12826,8	4.346	12826,81	-8.480,98	-1319,997	-1,319997
NH3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	194,7	0,331236	2128,2	195	2128,19	-1.933,49	-300,93155	-0,300932
CO	0,0	0,1	0,1	0,0	1593,4	1,32570375	8517,6	1.593	8517,65	-6.924,21	-1077,6979	-1,077698
NMVOG	0,0	0,0	0,0	0,0	196,5	0,04528763	291,0	196	290,97	-94,48	-14,705093	-0,014705
CO2 Äqui.	54,7	620,3	170,6	7,5	5481203,4	323,351325	2077532,3	5.481.203	2077532,26	3.403.671,16	529754,27	529,75427
CO2	54,1	557,9	160,1	7,5	5008426,5	91,875	590296,9	5.008.426	590296,88	4.418.129,58	687646,63	687,64663
CH4	0,0	2,4	0,4	0,0	18013,1	6,36150	40872,6	18.013	40872,64	-22.859,54	-3557,9054	-3,557905
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	189,6	0,3157575	2028,7	190	2028,74	-1.839,18	-286,25326	-0,286253

Klärgas

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Klär- u. Deponiegas		Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	1							
					0,98							
					t	t	t	t	t			
SO2 Äqui.	0,1	0,7	0,2	0,0	911,6	1,38362	1360,1	912	1360,10	-448,50	-456,25635	-0,456256
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	444,1	0,13500	132,7	444	132,71	311,38	316,7697	0,3167697
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	664,9	1,79400	1763,5	665	1763,50	-1.098,61	-1117,6058	-1,117606
NH3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0	0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	29,8	0,01245	12,2	30	12,24	17,55	17,854446	0,0178544
CO	0,0	0,1	0,1	0,0	243,8	1,50000	1474,5	244	1474,50	-1.230,71	-1251,9942	-1,251994
NMVOG	0,0	0,0	0,0	0,0	30,1	0,02205	21,7	30	21,68	8,39	8,5325318	0,0085325
CO2 Äqui.	54,7	620,3	170,6	7,5	838602,8	50,53328	49674,2	838.603	49674,21	788.928,59	802572,32	802,57232
CO2	54,1	557,9	160,1	7,5	766269,8	0,00000	0,0	766.270	0,00	766.269,76	779521,63	779,52163
CH4	0,0	2,4	0,4	0,0	2755,9	2,33250	2292,8	2.756	2292,85	463,09	471,0946	0,4710946
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0	0,00500	4,9	29	4,92	24,09	24,501739	0,0245017

Deponiegas

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch		Bilanzierung			kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
						Klär- u. Deponiegas		Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)		
	0,05	0,62	0,32	0,01	1							
					1,01							
					t	t	t	t	t			
SO2 Äqui.	0,1	0,7	0,2	0,0	935,7	1,38362	1396,1	936	1396,08	-460,36	-456,25635	-0,456256
SO2	0,0	0,4	0,0	0,0	455,8	0,13500	136,2	456	136,22	319,62	316,7697	0,3167697
NOx	0,0	0,4	0,2	0,0	682,5	1,79400	1810,1	682	1810,15	-1.127,66	-1117,6058	-1,117606
NH3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0	0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	30,6	0,01245	12,6	31	12,56	18,02	17,854446	0,0178544
CO	0,0	0,1	0,1	0,0	250,2	1,50000	1513,5	250	1513,50	-1.263,26	-1251,9942	-1,251994
NMVOG	0,0	0,0	0,0	0,0	30,9	0,02205	22,2	31	22,25	8,61	8,5325318	0,0085325
CO2 Äqui.	54,7	620,3	170,6	7,5	860783,5	50,53328	50988,1	860.784	50988,07	809.795,47	802572,32	802,57232
CO2	54,1	557,9	160,1	7,5	786537,3	0,00000	0,0	786.537	0,00	786.537,32	779521,63	779,52163
CH4	0,0	2,4	0,4	0,0	2828,8	2,33250	2353,5	2.829	2353,49	475,33	471,0946	0,4710946
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	29,8	0,00500	5,0	30	5,05	24,72	24,501739	0,0245017

Biogener Anteil des Abfalls

Substitution % Stromerzeugung TWh	BK	SK	Gas	Öl	Summe	Emissionen durch biog. Abfall			Bilanzierung			kg/GWh el	kg/Mwhel
	0,16	0,59	0,25	0	4,13	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)	daraus folgt der Faktor	
SO2 Äqui.	0,2	0,6	0,1	0,0	4107,0	0,10207	421,5	4,107	4,107	421,54	3.685,48	892,36864	0,8923686
SO2	0,1	0,4	0,0	0,0	2129,0	0,07200	297,4	2.129	2.129	297,36	1.831,60	443,48704	0,443487
NOx	0,1	0,4	0,2	0,0	2813,5	0,04320	178,4	2.813	2.813	178,42	2.635,08	638,03325	0,6380332
NH3					0,0	0,00000		0	0	0,00	0,00	0	0
Staub	0,0	0,0	0,0	0,0	129,0	0,01200	49,6	129	129	49,56	79,46	19,240704	0,0192407
CO	0,1	0,1	0,1	0,0	1137,0	0,01680	69,4	1.137	1.137	69,38	1.067,64	258,50783	0,2585078
NMVOC	0,0	0,0	0,0	0,0	111,6	0,01680	69,4	112	112	69,38	42,25	10,228904	0,0102289
CO2 Äqui.	174,9	590,3	133,2	0,0	3710712,2	23,22718	95928,3	3.710.712	3.710.712	95928,26	3.614.783,95	875250,35	875,25035
CO2	173,1	530,9	125,1	0,0	3424109,5	0,00000	0,0	3.424.109		0,00	3.424.109,45	829082,19	829,08219
CH4	0,0	2,3	0,3	0,0	10728,6	0,04320	178,4	10.729	10.729	178,42	10.550,20	2554,529	2,554529
N2O	0,0	0,0	0,0	0,0	129,1	0,07200	297,4	129	129	297,36	-168,24	-40,736398	-0,040736

Bilanzierung

Substitution % Stromerzeugung TWh	Summe Vermeidung	Summe Erzeugung	Differenz (Bilanz)	kg/GWh el daraus folgt der Faktor	kg/Mwhel
SO2 Äqui.	86101,1	40777,5	42593,3	490,6	0
SO2	44395,2	6312,8	36707,4	422,8	0
NOx	59344,0	49518,2	7898,2	91,0	0
NH3	0,0	43,8	-41,0		
Staub	2722,6	6401,8	-3658,0	-42,1	0
CO	24089,3	31450,3	-7902,6	-91,0	0
NMVOC	2514,8	2412,3	42,4	0,5	0
CO2 Äqui.	77225884,1	3634260,1	70989640,0	817736,2	818
CO2	71303711,0	1687575,5	67227412,6	774398,7	774
CH4	221867,9	49785,3	164035,2	1889,5	2
N2O	2658,0	2907,1	-339,7	-3,9	0

Anhang 3

**Emissionsbilanzen ohne Vorketten für die
Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien**

Anhang 3 Emissionsbilanzierung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien -- Direkte Emissionen ohne Vorketten

1. Endenergiebereitstellung erneuerbarer Wärme 2007 (BMU 2008a, Erneuerbare Energien in Zahlen - Internet-Update Dez. 2008)

2007	GWh	
Feste Biomasse (Haushalte)	57.778	
- Brennholz-Einzelfeuerstätten	42.756	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
- Scheitholz-Zentralheizung	15.022	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Feste Biomasse (Industrie)	16.770	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Feste Biomasse H(K)W	5.688	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Flüssige Biomasse	4.647	
- AV (Pflanzenöl)	0	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
- Industrie (Schwarzlauge)	4.647	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Gasförmige Biomasse (BHKW)	4.669	
- Biogas (BHKW)	2.891	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
- Klärgas (BHKW + Direktnutzung)	1.445	ausgekoppelte, genutzte Endenergie + Brennstoffeinsatz Direktnutzung
- Deponiegas (BHKW)	333	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
Biogener Anteil Abfall H(K)W	4.783	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Solarthermie	3.704	End- bzw. Nutzenergie
Oberflächennahe Geothermie	2.139	End- bzw. Nutzenergie
Tiefe Geothermie	160	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
GESAMT EE-WÄRME	100.337	

2. Substitutionsfaktoren der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007

Erneuerbare Wärme	Neuer Substitutionsmix							Kurzbeschreibung, Datenquellen
	Öl	Gas	StK	BrK	FW	Elit		
Solarthermie	45%	51%	0%	0%	2%	3%	Fortschreibung RWI / Forsa 2008	
Oberflächennahe Geothermie (Wärmepumpe)	45%	44%	1%	2%	5%	3%	Fortschreibung RWI / Forsa 2008	
Brennholz- Einzelfeuerungen	41%	50%	0%	1%	2%	6%	Fortschreibung RWI / Forsa 2008	
Brennholz-Zentralfeuerungen	65%	20%	2%	3%	0%	10%	eigene Schätzung in Anlehnung an Evaluation des MAP (TFZ 2006)	
Feste Biomasse (Industrie)	11%	62%	11%	13%	4%	0%	Endenergiemix im Papiergewerbe, Verarbeitung v. Steine und Erden und sonst. Wirtschaftszweige (u.a. Holzindustrie) nach AGEB	
Flüssige Biomasse (Industrie)	4%	78%	11%	2%	5%	0%	Endenergiemix im Papiergewerbe nach AGEB	
Flüssige Biomasse (Pflanzenöl-BHKW)	35%	48%	1%	1%	6%	8%	fossiler Wärmemix der privaten Haushalte nach AGEB	
Bio-, Klär-, Deponiegas (BHKW)	48%	46%	6%	0%	0%	0%	fossiler Wärmemix der Landwirtschaft und Gärtnereien nach UBA-ZSE 2006	
Feste Biomasse-H(K)W	0%	0%	0%	0%	100%	0%	Ersatz Fernwärme	
Biogener Anteil des Abfalls	0%	0%	0%	0%	100%	0%	Ersatz Fernwärme	
Tiefe Geothermie	0%	0%	0%	0%	100%	0%	Ersatz Fernwärme	
Summe Gesamt	34%	43%	3%	3%	12%	4%		

3.a Direkte Emissionsfaktoren ohne Vorketten für die Wärmebereitstellung aus fossilen Energien 2007, in g/kWh_{Endenergie}

g/kWh _{Input}	Datenquelle direkte Em.	Datenquelle Vorkette	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	Staub	CO	NMVOG
Heizöl (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	267,018	266,400	0,000	0,002	0,318	0,213	0,150	0,003	0,052	0,006
Erdgas (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	202,054	201,600	0,008	0,001	0,057	0,002	0,080	0,000	0,053	0,002
Steinkohlen (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	375,394	352,800	0,465	0,041	1,507	1,349	0,227	0,067	12,188	0,232
Braunkohle-Brikett (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	368,908	358,920	0,199	0,019	0,564	0,346	0,313	0,332	8,494	0,592
Fernwärme o. Netzverluste (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	269,248	266,747	0,005	0,008	0,269	0,122	0,212	0,005	0,086	0,007
Fernwärme m. Netzverluste (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	306,943	304,091	0,006	0,009	0,307	0,139	0,242	0,006	0,098	0,008
Stromheizung m. NV (inkl. Strom)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	616,416	610,101	0,009	0,020	0,803	0,494	0,443	0,019	0,278	0,009
Heizöl (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	267,027	266,400	0,000	0,002	0,324	0,214	0,157	0,005	0,044	0,009
Erdgas (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	201,980	201,600	0,001	0,001	0,070	0,002	0,098	0,000	0,040	0,001
Steinkohlen (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	371,288	352,800	0,361	0,035	1,385	1,194	0,274	0,067	9,754	0,174
Braunkohle-Brikett (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	368,908	358,920	0,199	0,019	0,564	0,346	0,313	0,332	8,494	0,592
Heizöl-Mix EL + S (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	271,944	270,209	0,013	0,005	0,470	0,312	0,227	0,012	0,027	0,024
Erdgas (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5	202,513	201,660	0,004	0,002	0,122	0,002	0,172	0,001	0,044	0,006
Steinkohle-Mix (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	351,519	343,974	0,008	0,024	1,309	1,057	0,361	0,035	0,104	0,024
Braunkohle-Mix (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (agg)	370,833	367,120	0,008	0,011	1,515	1,307	0,300	0,073	0,140	0,026

3.b Direkte Emissionsfaktoren ohne Vorketten für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007, in g/kWh_{Endenergie}

g/kWh _{Input}	Datenquelle direkte Em.	Datenquelle Vorkette	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	Staub	CO	NMVOC
Feste Biomasse-Einzelf Feuerungen (HH)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	12,094	0,000	0,477	0,007	0,189	0,031	0,227	0,434	11,397	0,742
Feste Biomasse-Scheitholz kessel (HH)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	1,580	0,000	0,064	0,001	0,264	0,018	0,354	0,247	8,715	0,112
Feste Biomasse-Mix (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (aggr.) + Rentz et al. 2002	GEMIS 4.5 (aggr.)	4,248	0,000	0,043	0,011	0,420	0,028	0,563	0,111	0,177	0,108
Feste Biomasse-H(K)W	GEMIS 4.5 (aggr.)	(aggr.)	3,434	0,000	0,007	0,011	0,682	0,084	0,860	0,015	0,155	0,029
Flüssige Biomasse (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009	Gemis 4.5	2,284	0,000	0,015	0,006	0,263	0,128	0,194	0,193	0,127	0,254
Flüssige Biomasse (Pflanzenöl)	Gemis 4.5 (mod.)	Ecoinvent v2.01	3,922	0,000	0,002	0,013	1,808	0,019	2,570	0,068	0,547	0,041
Biogas-Mix (BHKW)	Vogt et al. 2008	Vogt et al. 2008	8,618	0,000	0,398	0,001	0,236	0,023	0,306	0,002	0,256	0,004
Klär gas (BHKW)	Vogt et al. 2008	gleich Null	8,618	0,000	0,398	0,001	0,236	0,023	0,306	0,002	0,256	0,004
Deponie gas (BHKW)	Vogt et al. 2008	gleich Null	8,618	0,000	0,398	0,001	0,236	0,023	0,306	0,002	0,256	0,004
Biogener Anteil Abfall	UBA-ZSE Subm. 2009	gesetzt	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Solarthermie-Mix	gleich Null gesetzt	Ecoinvent v2.01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Oberflächen nabe Geothermie (Wärmepumpen-Mix)	gleich Null gesetzt	(mod.)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tiefe Geothermie H(K)W	gleich Null gesetzt	Frick et al. 2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

4. Emissionsbilanz ohne Vorketten für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007, in t bzw. g/kWh_{Endenergie} (spez. Vermeidungsfaktor)

EE-WÄRME - GESAMT			Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl 0,34	Erdgas 0,43	Steinkohle 0,03	Braunkohle 0,03	Fernwärme 0,12	Elektrizität 0,04				
CO ₂ Äqui.	t	9.078.537	8.763.512	1.091.335	1.198.530	3.405.261	2.688.870	26.226.044	682.434	25.543.610	254,58	
CO ₂	t	9.055.562	8.739.822	1.050.728	1.179.828	3.373.628	2.661.323	26.060.890	0	26.060.890	259,73	
CH ₄	t	28	299	571	230	68	39	1.234	24.022	-22.788	-0,23	
N ₂ O	t	72	56	92	45	97	86	448	574	-126	-0,00	
SO ₂ Äqui.	t	11.079	3.179	4.172	3.893	3.407	3.502	29.232	25.303	3.929	0,04	
SO ₂	t	7.417	78	3.521	3.208	1.541	2.156	17.921	3.259	14.662	0,15	
NO _x	t	5.258	4.446	936	985	2.682	1.933	16.240	31.672	-15.433	-0,15	
Staub	t	126	10	145	512	67	83	943	25.144	-24.201	-0,24	
CO	t	1.714	2.167	14.841	9.348	1.087	1.213	30.371	623.844	-593.473	-5,91	
NMVOC	t	243	144	319	687	89	41	1.523	36.579	-35.056	-0,35	

5. Emissionsbilanzen der einzelnen Pfade der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007, in t bzw. g/kWh_{Endenergie} (spez. Vermeidungsfaktor)

Feste Biomasse-Einzelf Feuerungen (HH)			Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl 0,41	Erdgas 0,50	Steinkohle 0,00	Braunkohle 0,01	Fernwärme 0,02 mit NV	Elektrizität 0,06				
CO ₂ Äqui.	t	4.634.414	4.307.070	61.334	180.821	229.736	1.652.681	11.066.056	517.076	10.548.981	246,727	
CO ₂	t	4.623.695	4.297.384	57.642	175.926	227.602	1.635.750	11.017.999	0	11.017.999	257,696	
CH ₄	t	3	178	76	98	5	24	383	20.381	-19.997	-0,468	
N ₂ O	t	34	19	7	9	7	53	129	287	-158	-0,004	
SO ₂ Äqui.	t	5.516	1.218	246	276	230	2.152	9.639	8.089	1.550	0,036	
SO ₂	t	3.700	38	220	169	104	1.325	5.557	1.340	4.217	0,099	
NO _x	t	2.610	1.695	37	153	181	1.188	5.865	9.697	-3.833	-0,090	
Staub	t	54	2	11	163	5	51	286	18.571	-18.286	-0,428	
CO	t	908	1.123	1.991	4.163	73	746	9.005	487.294	-478.289	-11,187	
NMVOC	t	104	51	38	290	6	25	515	31.725	-31.210	-0,730	

Feste Biomasse-Scheitholzessel (HH)

15.022

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,65	Erdgas 0,20	Steinkohle 0,02	Braunkohle 0,03	Fernwärme 0,00	Elektrizität 0,10				
	Einheit	mit NV									
CO2 AQUI.	t	2.607.288	607.064	112.785	166.255	0	925.997	4.419.389	23.732	4.395.657	292,609
CO2	t	2.601.258	605.698	105.997	161.754	0	916.510	4.391.218	0	4.391.218	292,314
CH4	t	2	25	140	90	0	13	270	957	-687	-0,046
N2O	t	19	3	12	8	0	30	73	12	61	0,004
SO2 AQUI.	t	3.103	172	453	254	0	1.206	5.188	3.972	1.215	0,081
SO2	t	2.081	5	405	156	0	743	3.390	276	3.115	0,207
NOx	t	1.468	239	68	141	0	666	2.582	5.311	-2.729	-0,182
Staub	t	31	0	20	150	0	29	229	3.714	-3.485	-0,232
CO	t	511	158	3.662	3.828	0	418	8.577	130.920	-122.343	-8,144
NMVOc	t	59	7	70	267	0	14	417	1.681	-1.264	-0,084

Feste Biomasse-Mix (Industrie)

16.770

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,11	Erdgas 0,62	Steinkohle 0,11	Braunkohle 0,13	Fernwärme 0,04	Elektrizität 0,00				
	Einheit	mit NV									
CO2 AQUI.	t	480.996	2.108.593	620.989	805.760	199.429	0	4.215.766	71.245	4.144.522	247,14
CO2	t	477.928	2.099.709	607.660	797.692	197.577	0	4.180.565	0	4.180.565	249,29
CH4	t	22	40	15	18	4	0	100	719	-619	-0,04
N2O	t	8	26	42	25	6	0	107	181	-74	-0,00
SO2 AQUI.	t	832	1.270	2.313	3.293	200	0	7.907	7.037	870	0,05
SO2	t	551	19	1.868	2.840	90	0	5.368	465	4.903	0,29
NOx	t	401	1.787	639	651	157	0	3.635	9.442	-5.807	-0,35
Staub	t	22	6	61	159	4	0	251	1.866	-1.614	-0,10
CO	t	48	459	184	305	64	0	1.061	2.961	-1.900	-0,11
NMVOc	t	42	67	43	56	5	0	213	1.813	-1.600	-0,10

Feste Biomasse-H(K)W

5.688

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,00	Erdgas 0,00	Steinkohle 0,00	Braunkohle 0,00	Fernwärme 1,00	Elektrizität 0,00				
	Einheit	ohne NV									
CO2 AQUI.	t	0	0	0	0	1.531.483	0	1.531.483	19.531	1.511.952	265,81
CO2	t	0	0	0	0	1.517.256	0	1.517.256	0	1.517.256	266,75
CH4	t	0	0	0	0	30	0	30	39	-9	-0,00
N2O	t	0	0	0	0	44	0	44	60	-17	-0,00
SO2 AQUI.	t	0	0	0	0	1.532	0	1.532	3.881	-2.349	-0,41
SO2	t	0	0	0	0	693	0	693	478	215	0,04
NOx	t	0	0	0	0	1.206	0	1.206	4.890	-3.684	-0,65
Staub	t	0	0	0	0	30	0	30	84	-53	-0,01
CO	t	0	0	0	0	489	0	489	884	-395	-0,07
NMVOc	t	0	0	0	0	40	0	40	163	-123	-0,02

Flüssige Biomasse (Industrie)

4.647

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,04	Erdgas 0,78	Steinkohle 0,11	Braunkohle 0,02	Fernwärme 0,05 mit NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 AQUI.	t	53.318	733.650	192.926	33.607	64.869	0	1.078.370	10.613	1.067.757	229,77
CO2	t	53.195	732.000	181.314	32.697	64.266	0	1.063.473	0	1.063.473	228,85
CH4	t	0	30	239	18	1	0	289	70	219	0,05
N2O	t	0	3	21	2	2	0	29	30	-1	-0,00
SO2 AQUI.	t	63	207	774	51	65	0	1.162	1.222	-60	-0,01
SO2	t	43	7	693	31	29	0	803	593	210	0,05
NOx	t	30	289	117	29	51	0	515	904	-389	-0,08
Staub	t	1	0	34	30	1	0	67	899	-832	-0,18
CO	t	10	191	6.264	774	21	0	7.260	591	6.669	1,44
NMVOc	t	1	9	119	54	2	0	185	1.179	-994	-0,21

Flüssige Biomasse (Pflanzenöl)

0

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,35	Erdgas 0,48	Steinkohle 0,01	Braunkohle 0,01	Fernwärme 0,06 mit NV	Elektrizität 0,08				
Einheit											
CO2 AQUI.	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240,80
CO2	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	266,34
CH4	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
N2O	t	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-0,01
SO2 AQUI.	t	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-1,56
SO2	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12
NOx	t	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-2,42
Staub	t	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-0,06
CO	t	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-0,28
NMVOc	t	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	-0,03

Biogas-Mix (BHKW)

2.891

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,48	Erdgas 0,46	Steinkohle 0,06	Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,00 mit NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 AQUI.	t	370.519	270.296	61.429	0	0	0	702.245	24.917	677.328	234,27
CO2	t	369.649	269.787	58.371	0	0	0	697.807	0	697.807	241,35
CH4	t	0	1	60	0	0	0	61	1.150	-1.089	-0,38
N2O	t	3	2	6	0	0	0	10	2	8	0,00
SO2 AQUI.	t	449	94	229	0	0	0	772	682	90	0,03
SO2	t	297	2	198	0	0	0	497	67	431	0,15
NOx	t	218	131	45	0	0	0	395	885	-490	-0,17
Staub	t	7	0	11	0	0	0	18	6	12	0,00
CO	t	60	54	1.614	0	0	0	1.728	740	988	0,34
NMVOc	t	13	2	29	0	0	0	44	11	33	0,01

Klärgas (BHKW)		1.445						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
1,00	Substitutionsfaktoren	Heizöl 0,48	Erdgas 0,46	Vermiedene Emissionen Steinkohle 0,06	Vermiedene Emissionen Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,00 mit NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Aqvi.	t	185.151	135.069	30.697	0	0	0	350.917	12.451	338.466	234,27
CO2	t	184.717	134.815	29.168	0	0	0	348.699	0	348.699	241,35
CH4	t	0	0	30	0	0	0	30	575	-544	-0,38
N2O	t	1	1	3	0	0	0	5	1	4	0,00
SO2 Aqvi.	t	224	47	115	0	0	0	386	341	45	0,03
SO2	t	149	1	99	0	0	0	249	33	215	0,15
NOx	t	109	66	23	0	0	0	197	442	-245	-0,17
Staub	t	3	0	6	0	0	0	9	3	6	0,00
CO	t	30	27	806	0	0	0	863	370	494	0,34
NMVOc	t	7	1	14	0	0	0	22	5	16	0,01

Deponiegas (BHKW)		333						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
1,00	Substitutionsfaktoren	Heizöl 0,48	Erdgas 0,46	Vermiedene Emissionen Steinkohle 0,06	Vermiedene Emissionen Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,00 mit NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Aqvi.	t	42.671	31.129	7.074	0	0	0	80.874	2.870	78.004	234,27
CO2	t	42.571	31.070	6.722	0	0	0	80.363	0	80.363	241,35
CH4	t	0	0	7	0	0	0	7	132	-125	-0,38
N2O	t	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0,00
SO2 Aqvi.	t	52	11	26	0	0	0	89	79	10	0,03
SO2	t	34	0	23	0	0	0	57	8	50	0,15
NOx	t	25	15	5	0	0	0	45	102	-56	-0,17
Staub	t	1	0	1	0	0	0	2	1	1	0,00
CO	t	7	6	186	0	0	0	199	85	114	0,34
NMVOc	t	2	0	3	0	0	0	5	1	4	0,01

Biogener Anteil Abfall		4.783						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
1,00	Substitutionsfaktoren	Heizöl 0,00	Erdgas 0,00	Vermiedene Emissionen Steinkohle 0,00	Vermiedene Emissionen Braunkohle 0,00	Fernwärme 1,00 ohne NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Aqvi.	t	0	0	0	0	1.287.813	0	1.287.813	0	1.287.813	269,25
CO2	t	0	0	0	0	1.275.850	0	1.275.850	0	1.275.850	266,75
CH4	t	0	0	0	0	26	0	26	0	26	0,01
N2O	t	0	0	0	0	37	0	37	0	37	0,01
SO2 Aqvi.	t	0	0	0	0	1.289	0	1.289	0	1.289	0,27
SO2	t	0	0	0	0	583	0	583	0	583	0,12
NOx	t	0	0	0	0	1.014	0	1.014	0	1.014	0,21
Staub	t	0	0	0	0	25	0	25	0	25	0,01
CO	t	0	0	0	0	411	0	411	0	411	0,09
NMVOc	t	0	0	0	0	33	0	33	0	33	0,01

Solarthermie-Mix

3.704

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,45	Erdgas 0,51	Steinkohle 0,00	Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,02 mit NV	Elektrizität 0,03				
Einheit											
CO2 Äqui.	t	444.345	378.433	0	0	18.507	65.757	907.042	0	907.042	244,88
CO2	t	443.317	377.582	0	0	18.335	65.083	904.317	0	904.317	244,15
CH4	t	0	16	0	0	0	1	17	0	17	0,00
N2O	t	3	2	0	0	1	2	8	0	8	0,00
SO2 Äqui.	t	529	107	0	0	19	86	740	0	740	0,20
SO2	t	355	3	0	0	8	53	419	0	419	0,11
NOx	t	250	149	0	0	15	47	461	0	461	0,12
Staub	t	5	0	0	0	0	2	8	0	8	0,00
CO	t	87	99	0	0	6	30	221	0	221	0,06
NMVOc	t	10	5	0	0	0	1	16	0	16	0,00

Oberflächennahe Geothermie (Wärmepumpen-Mix)

2.139

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,45	Erdgas 0,44	Steinkohle 0,01	Braunkohle 0,02	Fernwärme 0,05 mit NV	Elektrizität 0,03				
Einheit											
CO2 Äqui.	t	259.834	192.209	4.100	12.087	30.344	44.435	543.008	0	543.008	253,86
CO2	t	259.233	191.777	3.853	11.760	30.062	43.979	540.664	0	540.664	252,76
CH4	t	0	8	5	7	1	1	21	0	21	0,01
N2O	t	2	1	0	1	0	1	5	0	5	0,00
SO2 Äqui.	t	309	54	16	18	30	58	487	0	487	0,23
SO2	t	207	2	15	11	14	36	285	0	285	0,13
NOx	t	146	76	2	10	24	32	291	0	291	0,14
Staub	t	3	0	1	11	1	1	17	0	17	0,01
CO	t	51	50	133	278	10	20	542	0	542	0,25
NMVOc	t	6	2	3	19	1	1	32	0	32	0,01

Tiefe Geothermie H(K)W

160

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})
		Heizöl 0,00	Erdgas 0,00	Steinkohle 0,00	Braunkohle 0,00	Fernwärme 1,00 ohne NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Äqui.	t	0	0	0	0	43.080	0	43.080	0	43.080	269,25
CO2	t	0	0	0	0	42.679	0	42.679	0	42.679	266,75
CH4	t	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0,01
N2O	t	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0,01
SO2 Äqui.	t	0	0	0	0	43	0	43	0	43	0,27
SO2	t	0	0	0	0	19	0	19	0	19	0,12
NOx	t	0	0	0	0	34	0	34	0	34	0,21
Staub	t	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0,01
CO	t	0	0	0	0	14	0	14	0	14	0,09
NMVOc	t	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0,01

Anhang 4

**Gesamt-Emissionsbilanzen mit Vorketten für die
Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien**

Anhang 4 Emissionsbilanzierung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien -- Gesamtemissionen mit Vorketten

1. Endenergiebereitstellung erneuerbarer Wärme 2007 (BMU 2008a, Erneuerbare Energien in Zahlen - Internet-Update Dez. 2008)

2007	GWh	
Feste Biomasse (Haushalte)	57.778	
- Brennholz-Einzelfeuerstätten	42.756	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
- Scheitholz-Zentralheizung	15.022	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Feste Biomasse (Industrie)	16.770	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Feste Biomasse H(K)W	5.688	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Flüssige Biomasse	4.647	
- AV (Pflanzenöl)	0	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
- Industrie (Schwarzlauge)	4.647	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Gasförmige Biomasse (BHKW)	4.669	
- Biogas (BHKW)	2.891	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
- Klärgas (BHKW + Direktnutzung)	1.445	ausgekoppelte, genutzte Endenergie + Brennstoffeinsatz Direktnutzung
- Deponiegas (BHKW)	333	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
Biogener Anteil Abfall H(K)W	4.783	Endenergie, hier: Brennstoffeinsatz
Solarthermie	3.704	End- bzw. Nutzenergie
Oberflächennahe Geothermie	2.139	End- bzw. Nutzenergie
Tiefe Geothermie	160	ausgekoppelte, genutzte Endenergie
GESAMT EE-WÄRME	100.337	

2. Substitutionsfaktoren der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007

Erneuerbare Wärme	Neuer Substitutionsmix							Kurzbeurteilung, Datenquellen
	Öl	Gas	StK	BrK	FW	Eit		
Solarthermie	45%	51%	0%	0%	2%	3%	Fortschreibung RWI / Forsa 2008	
Oberflächennahe Geothermie (Wärmepumpe)	45%	44%	1%	2%	5%	3%	Fortschreibung RWI / Forsa 2008	
Brennholz- Einzelfeuerungen	41%	50%	0%	1%	2%	6%	Fortschreibung RWI / Forsa 2008	
Brennholz-Zentralfeuerungen	65%	20%	2%	3%	0%	10%	eigene Schätzung in Anlehnung an Evaluation des MAP (TFZ 2009)	
Feste Biomasse (Industrie)	11%	62%	11%	13%	4%	0%	Endenergiemix im Papiergewerbe, Verarbeitung v. Steine und Erden und sonst	
Flüssige Biomasse (Industrie)	4%	78%	11%	2%	5%	0%	Wirtschaftszweige (u.a. Holzindustrie) nach AGE B	
Flüssige Biomasse (Pflanzenöl-BHKW)	35%	48%	1%	1%	6%	8%	Endenergiemix im Papiergewerbe nach AGE B	
Bio-, Klär-, Deponiegas (BHKW)	48%	46%	6%	0%	0%	0%	fossiler Wärmemix der privaten Haushalte nach AGE B	
Feste Biomasse-H(K)W	0%	0%	0%	0%	100%	0%	fossiler Wärmemix der Landwirtschaft und Gärtnereien nach UBA-ZSE 2009	
Biogener Anteil des Abfalls	0%	0%	0%	0%	100%	0%	Ersatz Fernwärme	
Tiefe Geothermie	0%	0%	0%	0%	100%	0%	Ersatz Fernwärme	
Summe Gesamt	34%	43%	3%	3%	12%	4%		

3.a Gesamte Emissionsfaktoren mit Vorketten für die Wärmebereitstellung aus fossilen Energien 2007, in g/kWh_{Endenergie}

g/kWh _{Input}	Datenquelle direkte Em.	Datenquelle Vorkette	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	Staub	CO	NM VOC
Heizöl (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	318,735	315,602	0,100	0,003	0,565	0,377	0,271	0,020	0,145	0,077
Erdgas (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	250,835	227,528	1,082	0,002	0,138	0,013	0,180	0,006	0,136	0,049
Steinkohlen (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	420,510	355,407	2,460	0,043	1,798	1,471	0,470	0,078	12,522	0,239
Braunkohle-Brikett (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	432,408	418,427	0,232	0,029	0,649	0,381	0,385	0,430	8,563	0,599
Fernwärme o. Netzverluste (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	299,737	284,192	0,617	0,008	0,368	0,165	0,292	0,014	0,128	0,015
Fernwärme m. Netzverluste (Haushalte)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	341,700	323,979	0,703	0,010	0,420	0,188	0,333	0,016	0,146	0,017
Stromheizung m. NV (inkl. Strom)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	665,605	650,219	0,421	0,021	1,024	0,617	0,584	0,044	0,341	0,016
Heizöl (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	318,745	315,602	0,100	0,003	0,571	0,378	0,278	0,022	0,136	0,080
Erdgas (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	250,761	227,528	1,074	0,002	0,151	0,013	0,198	0,006	0,123	0,047
Steinkohlen (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	416,403	355,407	2,357	0,037	1,676	1,316	0,517	0,078	10,087	0,181
Braunkohle-Brikett (Landwirtschaft)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	432,408	418,427	0,232	0,029	0,649	0,381	0,385	0,430	8,563	0,599
Heizöl-Mix EL + S (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	313,548	309,851	0,090	0,006	0,701	0,465	0,338	0,026	0,074	0,094
Erdgas (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5	233,030	219,698	0,587	0,003	0,190	0,007	0,262	0,004	0,102	0,016
Steinkohle-Mix (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	396,916	366,221	1,099	0,025	1,520	1,194	0,469	0,058	0,141	0,030
Braunkohle-Mix (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (agg)	GEMIS 4.5 (aggr)	443,625	433,965	0,021	0,030	1,588	1,337	0,361	0,148	0,173	0,031

3.b Gesamte Emissionsfaktoren mit Vorketten für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007, in g/kWh_{Endenergie}

g/kWh _{Input}	Datenquelle direkte Em.	Datenquelle Vorkette	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	Staub	CO	NMVOG
Feste Biomasse-Einzelf Feuerungen (HH)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	16.144	3.914	0,480	0,007	0,211	0,037	0,251	0,437	11,413	0,751
Feste Biomasse-Scheitholzkessel (HH)	UBA-ZSE Subm. 2009	GEMIS 4.5	12,317	10,356	0,075	0,001	0,295	0,028	0,384	0,250	8,735	0,121
Feste Biomasse-Mix (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009 (aggr.) + Rentz et al. 2002	GEMIS 4.5 (aggr.)	8,169	3,702	0,052	0,011	0,453	0,028	0,610	0,111	0,179	0,108
Feste Biomasse-H(K)W	GEMIS 4.5 (aggr.)	GEMIS 4.5	9,144	5,499	0,014	0,011	0,702	0,089	0,880	0,016	0,170	0,030
Flüssige Biomasse (Industrie)	UBA-ZSE Subm. 2009	Gemis 4.5	2,284	0,000	0,015	0,006	0,263	0,128	0,194	0,193	0,127	0,254
Flüssige Biomasse (Pflanzenöl)	Gemis 4.5 (mod.)	Ecoinvent v2.01	108,295	82,211	0,238	0,068	2,193	0,180	2,891	0,361	3,401	0,077
Biogas-Mix (BHKW)	Vogt et al. 2008	Vogt et al. 2008	51,929	15,669	1,085	0,054	0,284	0,038	0,354	0,003	0,265	0,009
Klär gas (BHKW)	Vogt et al. 2008	gesetzt	8,618	0,000	0,398	0,001	0,236	0,023	0,306	0,002	0,256	0,004
Deponiegas (BHKW)	Vogt et al. 2008	gesetzt	8,618	0,000	0,398	0,001	0,236	0,023	0,306	0,002	0,256	0,004
Biogener Anteil Abfall	UBA-ZSE Subm. 2009	gesetzt	3,484	0,000	0,006	0,011	0,142	0,009	0,191	0,002	0,083	0,003
Solarthermie-Mix	gleich Null gesetzt	Ecoinvent v2.01	70,957	62,877	0,132	0,017	0,214	0,137	0,111	0,111	0,211	0,020
Oberflächennahe Geothermie (Wärmepumpen-Mix)	gleich Null gesetzt	Ecoinvent v2.01 (mod.)	210,557	199,434	0,419	0,007	0,322	0,183	0,199	0,165	0,081	0,023
Tiefe Geothermie H(K)W	gleich Null gesetzt	Frick et al. 2008	231,313	218,985	0,466	0,008	0,357	0,194	0,234	0,153	0,096	0,030

4. Gesamt-Emissionsbilanz mit Vorketten für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007, in t bzw. g/kWh_{Endenergie} (spez. Vermeidungsfaktor)

EE-WÄRME - GESAMT												
1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})	
		Heizöl	Erdgas	Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme	Elektrizität					
	Einheit	0,34	0,43	0,03	0,03	0,12	0,04					
CO2 Äqui.	t	10.817.354	10.687.957	1.228.191	1.424.304	3.790.867	2.903.438	30.852.110	2.007.237	28.844.873	287,48	
CO2	t	10.709.910	9.781.628	1.093.304	1.388.428	3.594.268	2.836.322	29.403.860	1.156.120	28.247.740	281,53	
CH4	t	3.376	41.738	5.003	292	7.799	1.835	60.043	27.989	32.054	0,32	
N2O	t	118	96	96	96	105	92	603	880	-276	-0,00	
SO2 Äqui.	t	19.454	6.562	4.910	4.142	4.659	4.465	44.193	29.735	14.457	0,14	
SO2	t	12.950	508	3.914	3.311	2.085	2.691	25.460	4.693	20.767	0,21	
NOx	t	9.341	8.682	1.431	1.194	3.699	2.548	26.896	35.978	-9.082	-0,09	
Staub	t	703	245	199	779	176	193	2.294	26.091	-23.797	-0,24	
CO	t	4.789	5.511	15.324	9.494	1.623	1.487	38.229	626.354	-588.125	-5,86	
NMVOG	t	2.654	1.763	338	706	191	70	5.723	37.256	-31.533	-0,31	

5. Emissionsbilanzen der einzelnen Pfade der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2007, in t bzw. g/kWh_{Endenergie} (spez. Vermeidungsfaktor)

Feste Biomasse-Einzelf Feuerungen (HH)												
1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden.})	
		Heizöl	Erdgas	Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme mit NV	Elektrizität					
	Einheit	0,41	0,50	0,00	0,01	0,02	0,06					
CO2 Äqui.	t	5.532.041	5.346.907	68.705	211.946	255.751	1.784.563	13.199.913	690.252	12.509.661	292,584	
CO2	t	5.477.661	4.850.075	58.068	205.093	242.488	1.743.311	12.576.696	167.358	12.409.338	290,238	
CH4	t	1.734	23.066	402	114	526	1.128	26.969	20.505	6.464	0,151	
N2O	t	58	40	7	14	7	57	183	298	-114	-0,003	
SO2 Äqui.	t	9.811	2.947	294	318	314	2.744	16.428	9.036	7.392	0,173	
SO2	t	6.536	282	240	187	141	1.654	9.040	1.579	7.461	0,174	
NOx	t	4.705	3.829	77	189	250	1.566	10.615	10.714	-99	-0,002	
Staub	t	352	128	13	211	12	118	834	18.667	-17.833	-0,417	
CO	t	2.521	2.900	2.046	4.197	110	914	12.687	487.992	-475.305	-11,117	
NMVOG	t	1.337	1.035	39	293	13	43	2.761	32.096	-29.335	-0,686	

Feste Biomasse-Scheitholzessel (HH)

15.022

1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl	Erdgas	Vermiedene Emissionen			Elektrizität	Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
					Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme					
			0,65	0,20	0,02	0,03	0,00 mit NV	0,10				
CO2 Äqui.	t		3.112.287	753.624	126.340	194.873	0	999.890	5.187.014	185.023	5.001.992	332,972
CO2	t		3.081.693	683.598	106.780	188.572	0	976.777	5.037.420	155.576	4.881.844	324,974
CH4	t		975	3.251	739	104	0	632	5.702	1.123	4.579	0,305
N2O	t		33	6	13	13	0	32	96	19	77	0,005
SO2 Äqui.	t		5.520	415	540	292	0	1.538	8.305	4.429	3.876	0,258
SO2	t		3.677	40	442	172	0	927	5.257	417	4.840	0,322
NOx	t		2.647	540	141	173	0	878	4.379	5.764	-1.385	-0,092
Staub	t		198	18	23	194	0	66	499	3.754	-3.255	-0,217
CO	t		1.418	409	3.762	3.859	0	512	9.960	131.217	-121.256	-8,072
NMVOc	t		752	146	72	270	0	24	1.264	1.815	-551	-0,037

Feste Biomasse-Mix (Industrie)

16.770

1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl	Erdgas	Vermiedene Emissionen			Elektrizität	Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
					Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme					
			0,11	0,62	0,11	0,13	0,04 mit NV	0,00				
CO2 Äqui.	t		554.583	2.426.332	701.187	963.926	222.012	0	4.868.039	137.000	4.731.039	282,11
CO2	t		548.044	2.287.523	646.962	942.935	210.498	0	4.635.962	62.083	4.573.880	272,74
CH4	t		159	6.115	1.941	45	457	0	8.717	873	7.844	0,47
N2O	t		10	34	43	65	6	0	158	183	-24	-0,00
SO2 Äqui.	t		1.240	1.981	2.685	3.451	273	0	9.631	7.598	2.033	0,12
SO2	t		822	73	2.109	2.905	122	0	6.031	474	5.557	0,33
NOx	t		598	2.726	828	785	217	0	5.153	10.236	-5.082	-0,30
Staub	t		46	46	102	321	10	0	526	1.868	-1.342	-0,08
CO	t		132	1.058	249	377	95	0	1.911	3.001	-1.091	-0,07
NMVOc	t		167	166	53	68	11	0	465	1.818	-1.353	-0,08

Feste Biomasse-H(K)W

5.688

1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl	Erdgas	Vermiedene Emissionen			Elektrizität	Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
					Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme					
			0,00	0,00	0,00	0,00	1,00 ohne NV	0,00				
CO2 Äqui.	t		0	0	0	0	1.704.905	0	1.704.905	52.009	1.652.897	290,59
CO2	t		0	0	0	0	1.616.487	0	1.616.487	31.280	1.585.207	278,69
CH4	t		0	0	0	0	3.507	0	3.507	82	3.425	0,60
N2O	t		0	0	0	0	48	0	48	61	-14	-0,00
SO2 Äqui.	t		0	0	0	0	2.095	0	2.095	3.992	-1.897	-0,33
SO2	t		0	0	0	0	938	0	938	508	430	0,08
NOx	t		0	0	0	0	1.663	0	1.663	5.006	-3.342	-0,59
Staub	t		0	0	0	0	79	0	79	93	-14	-0,00
CO	t		0	0	0	0	730	0	730	964	-234	-0,04
NMVOc	t		0	0	0	0	86	0	86	172	-87	-0,02

Flüssige Biomasse (Industrie)

4.647

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen					Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})	
		Heizöl 0,04	Erdgas 0,78	Steinkohle 0,11	Braunkohle 0,02	Fernwärme 0,05 mit NV					Elektrizität 0,00
Einheit											
CO2 Äqui.	t	63.646	910.772	216.112	39.392	72.214	0	1.302.136	10.613	1.291.523	277,93
CO2	t	63.020	826.143	182.654	38.118	68.469	0	1.178.405	0	1.178.405	253,58
CH4	t	20	3.929	1.264	21	149	0	5.383	70	5.313	1,14
N2O	t	1	7	22	3	2	0	34	30	5	0,00
SO2 Äqui.	t	113	502	924	59	89	0	1.687	1.222	465	0,10
SO2	t	75	48	756	35	40	0	953	593	361	0,08
NOx	t	54	652	242	35	70	0	1.053	904	150	0,03
Staub	t	4	22	40	39	3	0	108	899	-791	-0,17
CO	t	29	494	6.435	780	31	0	7.769	591	7.178	1,54
NMVOc	t	15	176	123	55	4	0	373	1.179	-806	-0,17

Flüssige Biomasse (Pflanzenöl)

0

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen					Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})	
		Heizöl 0,35	Erdgas 0,48	Steinkohle 0,01	Braunkohle 0,01	Fernwärme 0,06 mit NV					Elektrizität 0,08
Einheit											
CO2 Äqui.	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CO2	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CH4	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
N2O	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
SO2 Äqui.	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
SO2	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
NOx	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Staub	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CO	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
NMVOc	t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Biogas-Mix (BHKW)

2.891

1,00	Substitutionsfaktoren	Vermiedene Emissionen					Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})	
		Heizöl 0,48	Erdgas 0,46	Steinkohle 0,06	Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,00 mit NV					Elektrizität 0,00
Einheit											
CO2 Äqui.	t	442.282	335.576	68.894	0	0	0	846.752	150.138	696.613	240,94
CO2	t	437.921	304.484	58.802	0	0	0	801.207	45.302	755.905	261,45
CH4	t	139	1.438	390	0	0	0	1.966	3.137	-1.171	-0,40
N2O	t	5	3	6	0	0	0	14	156	-142	-0,05
SO2 Äqui.	t	792	202	277	0	0	0	1.272	821	451	0,16
SO2	t	524	18	218	0	0	0	760	109	650	0,22
NOx	t	385	265	86	0	0	0	736	1.023	-287	-0,10
Staub	t	30	8	13	0	0	0	51	9	42	0,01
CO	t	189	165	1.669	0	0	0	2.024	765	1.259	0,44
NMVOc	t	112	64	30	0	0	0	205	26	179	0,06

Klärgas (BHKW)		1.445						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
1,00	Substitutionsfaktoren	Heizöl 0,48	Erdgas 0,46	Vermiedene Emissionen Steinkohle 0,06	Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,00 mit NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Aqu.	t	221.012	167.690	34.427	0	0	0	423.128	12.451	410.677	284,25
CO2	t	218.832	152.153	29.384	0	0	0	400.369	0	400.369	277,11
CH4	t	69	718	195	0	0	0	982	575	408	0,28
N2O	t	2	1	3	0	0	0	7	1	6	0,00
SO2 Aqu.	t	396	101	139	0	0	0	636	341	295	0,20
SO2	t	262	9	109	0	0	0	380	33	346	0,24
NOx	t	193	133	43	0	0	0	368	442	-74	-0,05
Staub	t	15	4	6	0	0	0	26	3	23	0,02
CO	t	95	83	834	0	0	0	1.011	370	642	0,44
NMVOc	t	56	32	15	0	0	0	102	5	97	0,07

Deponiegas (BHKW)		333						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
1,00	Substitutionsfaktoren	Heizöl 0,48	Erdgas 0,46	Vermiedene Emissionen Steinkohle 0,06	Braunkohle 0,00	Fernwärme 0,00 mit NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Aqu.	t	50.935	38.647	7.934	0	0	0	97.516	2.870	94.646	284,25
CO2	t	50.433	35.066	6.772	0	0	0	92.271	0	92.271	277,11
CH4	t	16	166	45	0	0	0	226	132	94	0,28
N2O	t	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0,00
SO2 Aqu.	t	91	23	32	0	0	0	146	79	68	0,20
SO2	t	60	2	25	0	0	0	87	8	80	0,24
NOx	t	44	31	10	0	0	0	85	102	-17	-0,05
Staub	t	3	1	1	0	0	0	6	1	5	0,02
CO	t	22	19	192	0	0	0	233	85	148	0,44
NMVOc	t	13	7	3	0	0	0	24	1	22	0,07

Biogener Anteil Abfall		4.783						Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
1,00	Substitutionsfaktoren	Heizöl 0,00	Erdgas 0,00	Vermiedene Emissionen Steinkohle 0,00	Braunkohle 0,00	Fernwärme 1,00 ohne NV	Elektrizität 0,00				
Einheit											
CO2 Aqu.	t	0	0	0	0	1.433.643	0	1.433.643	16.664	1.416.979	296,25
CO2	t	0	0	0	0	1.359.293	0	1.359.293	0	1.359.293	284,19
CH4	t	0	0	0	0	2.949	0	2.949	31	2.918	0,61
N2O	t	0	0	0	0	40	0	40	52	-12	-0,00
SO2 Aqu.	t	0	0	0	0	1.762	0	1.762	678	1.084	0,23
SO2	t	0	0	0	0	788	0	788	43	745	0,16
NOx	t	0	0	0	0	1.399	0	1.399	913	486	0,10
Staub	t	0	0	0	0	67	0	67	9	58	0,01
CO	t	0	0	0	0	614	0	614	396	218	0,05
NMVOc	t	0	0	0	0	72	0	72	12	60	0,01

Solarthermie-Mix

3.704

1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl	Erdgas	Vermiedene Emissionen		Fernwärme	Elektrizität	Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
			0,45	0,51	Steinkohle	Braunkohle	0,02 mit NV	0,03				
CO2 Aequi.	t	530.408	469.797	0	0	20.602	71.004	1.091.812	262.825	828.986	223,81	
CO2	t	525.194	426.144	0	0	19.534	69.363	1.040.235	232.895	807.340	217,96	
CH4	t	166	2.027	0	0	42	45	2.280	489	1.792	0,48	
N2O	t	6	4	0	0	1	2	12	63	-52	-0,01	
SO2 Aequi.	t	941	259	0	0	25	109	1.334	793	541	0,15	
SO2	t	627	25	0	0	11	66	729	506	223	0,06	
NOx	t	451	336	0	0	20	62	870	411	459	0,12	
Staub	t	34	11	0	0	1	5	51	411	-360	-0,10	
CO	t	242	255	0	0	9	36	542	783	-242	-0,07	
NMVOc	t	128	91	0	0	1	2	222	75	147	0,04	

Oberflächennahe Geothermie (Wärmepumpen-Mix)

2.139

1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl	Erdgas	Vermiedene Emissionen		Fernwärme	Elektrizität	Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
			0,45	0,44	Steinkohle	Braunkohle	0,05 mit NV	0,03				
CO2 Aequi.	t	310.161	238.613	4.592	14.167	33.780	47.980	649.294	450.382	198.912	92,99	
CO2	t	307.112	216.441	3.881	13.709	32.029	46.871	620.043	426.589	193.454	90,44	
CH4	t	97	1.029	27	8	69	30	1.261	897	364	0,17	
N2O	t	3	2	0	1	0	2	8	16	-8	-0,00	
SO2 Aequi.	t	550	132	20	21	42	74	838	689	149	0,07	
SO2	t	366	13	16	12	19	44	471	392	78	0,04	
NOx	t	264	171	5	13	33	42	527	426	101	0,05	
Staub	t	20	6	1	14	2	3	45	353	-308	-0,14	
CO	t	141	129	137	281	14	25	727	173	554	0,26	
NMVOc	t	75	46	3	20	2	1	146	50	96	0,05	

Tiefe Geothermie H(K)W

160

1,00	Substitutionsfaktoren	Einheit	Heizöl	Erdgas	Vermiedene Emissionen		Fernwärme	Elektrizität	Vermiedene Emissionen Gesamt	Verursachte Emissionen	Differenz (Emissionsbilanz)	spezifischer Verm.-faktor (g/kWh _{Enden})
			0,00	0,00	Steinkohle	Braunkohle	1,00 ohne NV	0,00				
CO2 Aequi.	t	0	0	0	0	47.958	0	47.958	37.010	10.948	68,42	
CO2	t	0	0	0	0	45.471	0	45.471	35.038	10.433	65,21	
CH4	t	0	0	0	0	99	0	99	75	24	0,15	
N2O	t	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0,00	
SO2 Aequi.	t	0	0	0	0	59	0	59	57	2	0,01	
SO2	t	0	0	0	0	26	0	26	31	-5	-0,03	
NOx	t	0	0	0	0	47	0	47	37	9	0,06	
Staub	t	0	0	0	0	2	0	2	24	-22	-0,14	
CO	t	0	0	0	0	21	0	21	15	5	0,03	
NMVOc	t	0	0	0	0	2	0	2	5	-2	-0,02	