

# Renews Spezial

Ausgabe 49 / Februar 2011

Hintergrundinformation  
der Agentur für Erneuerbare Energien

## Klima- und Umweltschutz durch Erneuerbare Energien

[www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)



**Autoren:**

Daniel Leckner, Claudia Kunz

Stand: Februar 2011

**Herausgegeben von:**

**Agentur für Erneuerbare  
Energien e. V.**

Reinhardtstr. 18

10117 Berlin

Tel.: 030-200535-3

Fax: 030-200535-51

[kontakt@unendlich-viel-energie.de](mailto:kontakt@unendlich-viel-energie.de)

ISSN 2190-3581

**Unterstützer:**

Bundesverband Erneuerbare Energie

Bundesverband Solarwirtschaft

Bundesverband WindEnergie

GtV - Bundesverband Geothermie

Bundesverband Bioenergie

Fachverband Biogas

Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

## Inhalt

• <b>Klimawandel und Treibhausgasemissionen</b>	<b>4</b>
• <b>Klimapolitische Ziele und Strategien</b>	<b>5</b>
• <b>Emissionsbilanzen verschiedener Energieträger</b>	<b>8</b>
– Treibhausgas- und Schadstoffemissionen der Energieversorgung	8
– Ersatz fossiler Energieträger durch Erneuerbare Energien	11
– Emissionsvermeidung durch Erneuerbare Energien	13
• <b>Klima- und Umweltschutz durch Erneuerbare Energien</b>	<b>14</b>
– Vermeidung von Treibhausgasen im Stromsektor	15
– Vermeidung von Treibhausgasen im Wärmesektor	15
– Vermeidung von Treibhausgasen im Verkehrssektor	15
– Umweltschutz durch Erneuerbare Energien	16
• <b>Energetische Amortisationszeiten</b>	<b>17</b>
• <b>Einsparung externer Kosten durch Erneuerbare Energien</b>	<b>17</b>
• <b>Fazit</b>	<b>18</b>
• <b>Quellen und weitere Informationen</b>	<b>19</b>

## Klimawandel und Treibhausgasemissionen

Seit Beginn der Messungen im Jahr 1850 bis zum Jahr 2005 hat sich die Oberflächentemperatur der Erde weltweit um durchschnittlich 0,8 Grad Celsius erhöht. Je nach Klimaschutzanstrengungen, Wirtschaftswachstum und technologischer Entwicklung wird sie bis Ende dieses Jahrhunderts voraussichtlich um weitere 1,1 bis 6,4 Grad Celsius steigen. Der Klimawandel ist also in vollem Gange und er ist vom Menschen gemacht. Darüber sind sich die Wissenschaftler des seit 1988 im Auftrag der Vereinten Nationen (UN) arbeitenden Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) einig. Das IPCC, bestehend aus Forschern und Experten der ganzen Welt, hat 2007 in seinem vierten Sachstandbericht beschrieben, dass der Meeresspiegel durch die globale Erwärmung bis 2100 um bis zu 59 Zentimeter steigen kann. Das hätte verheerende Folgen für die Artenvielfalt und die Lebensräume von Mensch und Tier.

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist auf die steigende Konzentration verschiedener Gase in der Erdatmosphäre zurückzuführen. Dort halten sie die von der Erde abgestrahlte Wärme wie in einem Treibhaus zurück. Diese sogenannten Treibhausgase erwärmen die Atmosphäre in unterschiedlichem Maße. Um sie vergleichbar zu machen, wird ihre Klimawirksamkeit in Relation zu der von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gesetzt und als Kohlendioxidäquivalent (CO<sub>2</sub>-Äq.) angegeben. Methan (CH<sub>4</sub>) hat beispielsweise ein 25-fach höheres Treibhauspotenzial als Kohlendioxid, während eine Tonne Lachgas (N<sub>2</sub>O) die 298-fache Wirkung von CO<sub>2</sub> hat.

Das Treibhauspotenzial gibt aber keine Auskunft über den tatsächlichen Beitrag des Gases zur Erderwärmung, denn die Konzentration und die Zunahme der einzelnen Treibhausgase in der Atmosphäre sind sehr unterschiedlich. So ist der menschengemachte Treibhauseffekt zu 60 Prozent auf den Ausstoß von Kohlendioxid zurückzuführen, auch wenn CO<sub>2</sub> zu den schwachen Treibhausgasen zählt. Durch das Verbrennen von Erdöl, Erdgas und Kohle sind in den letzten zwei Jahrhunderten etwa 2,3 Billionen Tonnen CO<sub>2</sub> ausgestoßen worden. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist seit der Industrialisierung von 280 Teilen pro Million (ppm) auf 390 ppm (2010) gestiegen. Zuletzt gab es einen derart hohen Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre vor 650.000 Jahren. Lachgas (Distickstoffoxid, N<sub>2</sub>O) ist zwar 298 mal so wirksam wie CO<sub>2</sub>, durch viel geringere Mengen in der Atmosphäre trägt es allerdings nur zu vier Prozent zum anthropogenen Treibhauseffekt bei.

### Die wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgas	Treibhauspotenzial <sup>1</sup>	Konzentration in der Atmosphäre <sup>2</sup>	typische anthropogene Quellen
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	1	390 ppm	Verbrennung fossiler Energieträger
Methan (CH <sub>4</sub> )	25	1,8 ppm	Reisanbau, Viehzucht
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	298	0,3 ppm	Dünger in der Landwirtschaft
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	22.800	76,9 ppt	Isoliergas in der Elektroindustrie
Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)	124-14.800	60,8 ppt	Kühlmittel
Perfluorkohlenstoffe (PFC)	7.390-12.200	5,6 ppt	Aluminiumherstellung, Lösemittel

Quellen: IPCC 2007, Germanwatch 2008, Scripps Institution of Oceanography 2011  
 1) Bezogen auf 100 Jahre. 2) ppm: Teile pro Million, ppt: Teile pro Billion.

Der Weltklimarat empfiehlt, den Treibhausgasgehalt in der Atmosphäre auf höchstens 490 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. zu stabilisieren. Um dies zu erreichen, müsse der Ausstoß an Treibhausgasen spätestens ab 2015 weltweit zurückgehen. Bis 2050 sei eine Senkung um 50 bis 85 Prozent gegenüber dem Jahr 2000 erforderlich, je nach Zeitpunkt der Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre. Dadurch könne die globale Erwärmung auf zwei bis 2,4 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Wert begrenzt werden. Die klimabedingten Folgen für Umwelt, Mensch und Tier könnten so auf einem noch beherrschbaren Niveau gehalten werden. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) empfiehlt den Industriestaaten, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 30 Prozent gegenüber 1990 zu senken. Bis 2050 müssten die Emissionen global um mindestens 50 Prozent vermindert werden, um das 2-Grad-Ziel mit „großer Wahrscheinlichkeit“ nicht zu verfehlen. Laut der Umweltorganisation Germanwatch bedeutet das für die Industrienationen eine Reduktion um mehr als 80 Prozent, wenn sich die Pro-Kopf-Emissionen weltweit angleichen, den Entwicklungsländern also noch ein Anstieg der Emissionen zugestanden wird.

Sollte das 2-Grad-Ziel nicht erreicht werden, ist nach Einschätzung des WBGU die internationale Sicherheit bedroht. Vermehrte Ernteausfälle durch Bodenversalzung, Wasserknappheit und fortschreitende Wüstenbildung sowie die klimabedingte Zunahme von Sturm- und Flutkatastrophen bergen ein hohes Konfliktpotenzial.

## Klimapolitische Ziele und Strategien

Auf Grundlage des ersten Sachstandsberichts (IPCC 1990) wurde 1992 die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) als internationales Umweltabkommen von mittlerweile 194 Nationen verabschiedet. Kerninhalt ist die Verpflichtung, die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, bei dem der menschliche Einfluss auf das Klimasystem der Erde keine „gefährlichen Störungen“ hervorruft.

Um Ziele und Strategien zur Eingrenzung des Klimawandels abzustimmen, treffen die Unterzeichnerstaaten regelmäßig auf internationalen Klimakonferenzen zusammen. Eine der wichtigsten Konferenzen fand 1997 in Kyoto statt. Durch die Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls verpflichteten sich erstmals mehrere Industriestaaten, darunter die Europäische Union (EU) mit ihren damals 15 Mitgliedstaaten, Japan und Russland, zu konkreten Minderungszielen für den Treibhausgasausstoß. Mit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Jahr 2005 wurde völkerrechtlich verbindlich festgelegt, die Emissionen der insgesamt sechs Kyoto-Treibhausgase (siehe Tabelle S.4) bis zum Zeitraum 2008-2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Für die EU bedeutet das eine Senkung um 8 Prozent.

### Treibhausgas-Reduktionsziele der vier größten Emittenten nach dem Kyoto-Protokoll und Stand 2008 in Prozent gegenüber 1990

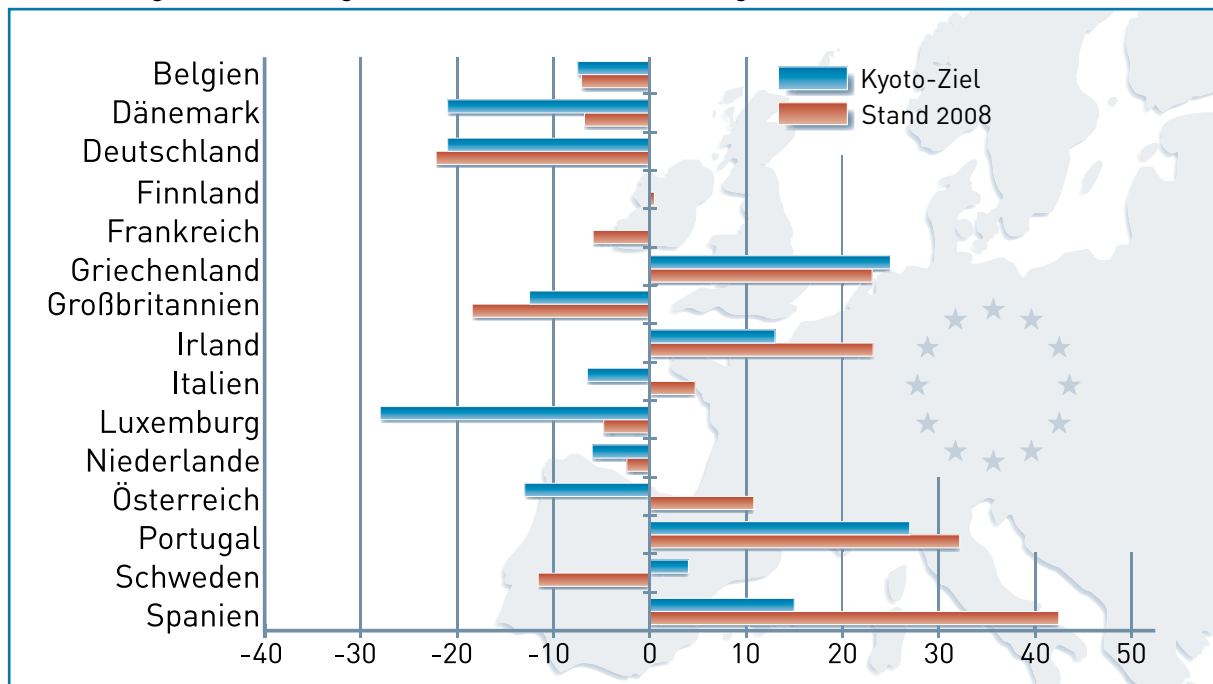
	EU-15 <sup>1</sup>	USA <sup>2</sup>	Japan	Russland
Stand 2008	- 6,5	+ 13,3	+ 1	- 32,9
Zielsetzung 2008-2012	- 8	- 7 (ursprünglich)	- 6	± 0

Quellen: UNFCCC 2008, BMU 2010;

<sup>1</sup> Die seit 2004 beigetretenen Länder, außer Zypern und Malta, haben sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls individuelle Ziele gesetzt.  
<sup>2</sup> Im Gegensatz zu den übrigen Staaten ist das Reduktionsziel für die USA nicht völkerrechtlich verbindlich, da es von den USA nicht ratifiziert wurde.

## Klimaschutzziele der EU 15 - Staaten für den Zeitraum 2008-2012 und Stand 2008

### Veränderung der Treibhausgasemissionen in Prozent im Vergleich zu 1990



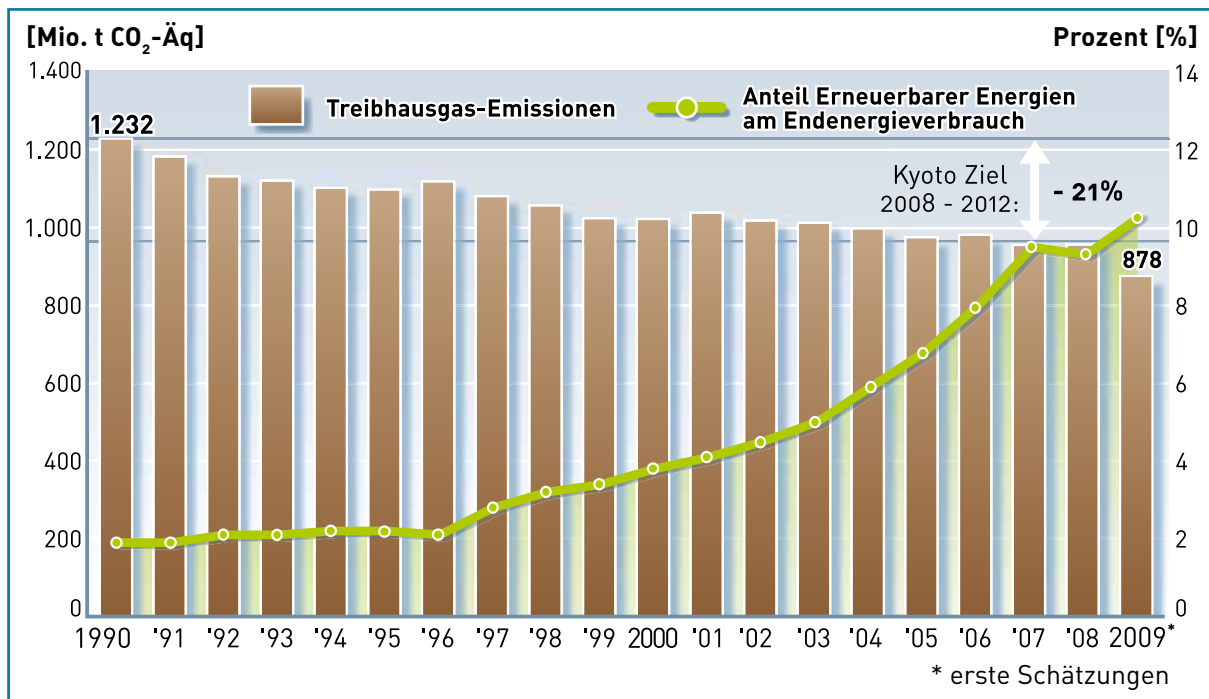
Quellen: UNFCCC, UBA; Stand: 12/2010

Bisher sind nur Industriestaaten zu verbindlichen Klimaschutzzielen verpflichtet. Da sie zu 79 Prozent verantwortlich für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß des 20. Jahrhunderts sind und durch die Industrialisierung ihren Wohlstand erreicht haben, müssen die Industrienationen eine Vorreiterrolle übernehmen. Für die Entwicklungsländer gelten bisher noch keine Verpflichtungen zur Emissionsreduktion. Doch in Zukunft müssen insbesondere die Schwellenländer China und Indien, die Länder Süd- und Mittelamerikas und der Mittlere Osten Klimaschutzstrategien entwickeln. Ohne entsprechende Anstrengungen würden der Energiebedarf und die Treibhausgas-Emissionen durch das starke Wirtschaftswachstum in diesen Ländern erheblich wachsen und die Klimaschutzbemühungen anderer Länder ins Leere laufen.

Allein Chinas Kohlendioxid-Emissionen sind laut dem Internationalen Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) zwischen 1990 und 2009 um 200 Prozent auf 7,4 Milliarden Tonnen gestiegen. Das ist beinahe so viel wie der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der USA und Russlands zusammen. Deutschland hat die Vorgaben des Kyoto-Protokolls bereits 2007 erreicht und damit zurzeit eine Vorbildfunktion inne. Ein Großteil der Emissionsreduktionen wurde dabei durch die Stilllegung von emissionsintensiven Industrieanlagen der DDR erzielt, die im Referenzjahr 1990 noch in Betrieb waren. Im Bereich der Energieversorgung hat vor allem der Ausbau der Erneuerbaren Energien für mehr Klimaschutz gesorgt.

## Entwicklung des deutschen Treibhausgasausstoßes von 1990 - 2009

2007 erreichte Deutschland erstmals das Kyoto-Ziel für den Zeitraum von 2008 - 2012, die Treibhausgas-Emissionen um 21 Prozent im Vergleich zu 1990 zu senken.



Quellen: UBA, AGEE-Stat, BMU; Stand: 02/2010

Im Klima- und Energiepaket aus dem Jahr 2008 haben sich die Staaten der Europäischen Union für den Zeitraum nach 2012 zu weiteren Zielen verpflichtet. So sollen die Treibhausgas-Emissionen in der EU bis 2020 um 20 Prozent im Vergleich zu 1990 sinken. Sollten sich weitere Industrieländer diesem Ziel anschließen, will die EU den Wert auf 30 Prozent erhöhen.

Energieeffizienz und Erneuerbare Energien bilden die beiden zentralen Pfeiler in der Klimaschutzstrategie. Demnach soll die Energieeffizienz bis 2020 um 20 Prozent steigen und der Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch der EU auf 20 Prozent wachsen. Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU von 2009 konkretisiert das Gesamtziel durch individuelle Zielvorgaben für die einzelnen Mitgliedsstaaten. Deutschland wird demnach den Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch von 10 Prozent im Jahr 2009 bis 2020 auf mindestens 18 Prozent steigern. Für den Verkehrssektor sieht die genannte EU-Richtlinie für alle Mitgliedsstaaten einen Anteil von 10 Prozent Erneuerbarer Energien am Energieverbrauch im Jahr 2020 vor.

Die Bundesregierung hat sich in der Koalitionsvereinbarung von 2009 zur Einhaltung des 2-Grad-Zieles bekannt und will die Treibhausgas-Emissionen Deutschlands bis 2020 um 40 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 reduzieren. Im Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2010 wird dieser Wert bestätigt und um das Ziel erweitert, 2050 bis zu 95 Prozent weniger Treibhausgase als 1990 auszustoßen. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien auf 60 Prozent am Endenergieverbrauch bis 2050 stellt einen der Grundpfeiler dar, um diese ambitionierten Pläne umzusetzen.

## Ziele der Bundesregierung laut Energiekonzept 2010

### Angaben in Prozent

	2020	2030	2040	2050
Treibhausgasausstoß, verglichen mit 1990	-40	-55	-70	-80 bis -95
Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch	18	30	45	60
Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch	35	50	65	80
Stromverbrauch, verglichen mit 2008	-10	-	-	-25
Endenergieverbrauch im Verkehrssektor, verglichen mit 2005	-10	-	-	-40

Quelle: Bundesregierung 2010

Trotz des Bewusstseins über die Existenz des Klimawandels und der Erkenntnis, dass der Mensch maßgeblich dafür verantwortlich ist, sind bisher weltweit kaum erfolgreiche Klimaschutzmaßnahmen ergriffen worden. Ganz im Gegenteil ist der weltweite Kohlendioxid-Ausstoß laut Berechnungen des IWR zwischen 1990 und 2009 um 37 Prozent gestiegen. Selbst die Wirtschaftskrise hat nach IWR wider Erwarten nur einen geringen Einfluss auf den globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß gehabt. So sind die Kohlendioxid-Emissionen 2009 weltweit nur um 413 Mio. t (1,3 Prozent) gegenüber 2008 gesunken.

Der Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrieländer ist energiebedingt, entsteht also durch die Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle zur Strom- und Wärmeversorgung und im Verkehr. In Deutschland stammten 2008 87 Prozent des ausgestoßenen Kohlendioxids aus dem Energieverbrauch.

## Emissionsbilanzen verschiedener Energieträger

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien Sonne, Wind, Wasserkraft, Biomasse und Geothermie ist eine zentrale Maßnahme für mehr Klima- und Umweltschutz. Während der Abbau und die Verbrennung fossiler Energieträger enorme Mengen an Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen in die Atmosphäre entlassen, entstehen bei der Nutzung Erneuerbarer Energien nur wenige Emissionen. Diese beruhen im Wesentlichen auf dem Energiebedarf für die Herstellung, Wartung und Abbau der Erneuerbare-Energien-Anlagen. Bei der Biomasse spielen noch die Gewinnung und die Verarbeitung der Rohstoffe eine Rolle.

### Treibhausgas- und Schadstoffemissionen der Energieversorgung

Die Umweltauswirkungen der einzelnen Energietechnologien werden mittels spezifischer Emissionsfaktoren verglichen. Diese geben an, wie viel Treibhausgase und Luftschadstoffe pro Kilowattstunde (kWh) bereitgestellter Endenergie entstehen. Dabei wird der ganze Lebenszyklus betrachtet, also Herstellung, Aufbau, Wartung, Betrieb und Entsorgung der Anlagen. Die Berücksichtigung der sogenannten Vorkette beinhaltet unter anderem die Emissionen aus der Bereitstellung von Baumaterialien, der Förderung fossiler Energieträger sowie deren Transport.

Ende 2009 hat das Umweltbundesamt detaillierte Angaben zu den Emissionsfaktoren veröffentlicht:



## Spezifische Emissionen der Stromerzeugung

Angaben in Gramm pro Kilowattstunde erzeugten Stroms im deutschen Kraftwerkspark 2009 inklusive Vorketten

	CO <sub>2</sub> -Äq. g / kWh <sub>el</sub>	CO <sub>2</sub> g / kWh <sub>el</sub>	CH <sub>4</sub> g / kWh <sub>el</sub>	SO <sub>2</sub> g / kWh <sub>el</sub>	NO <sub>x</sub> g / kWh <sub>el</sub>
<b>Braunkohle</b>	1.102	1.090	0,03	0,71	0,76
<b>Steinkohle</b>	956	864	3,84	0,60	0,61
<b>Erdgas</b>	438	407	1,37	0,02	0,60
<b>Erdöl</b>	834	825	0,24	1,13	0,87
<b>Uran<sup>1</sup></b>	32-65	31-61			
<b>Wasserkraft</b>	5	3	0,05	0,01	0,01
<b>Windenergie</b>	12	11	0,03	0,03	0,03
<b>Photovoltaik</b>	69	64	0,18	0,21	0,16
<b>Geothermie</b>	310	294	0,63	0,26	0,31
<b>Feste Biomasse</b>	18	6	0,03	0,18	0,88
<b>Flüssige Biomasse</b>	197	122	0,71	0,49	1,11
<b>Biogas</b>	233	101	2,61	0,22	2,09
<b>Klär- und Deponiegas</b>	51	0	2,34	0,14	1,80

Quellen: Quellen: UBA 2009 / 2010, Öko-Institut 2007  
Kohlendioxidäquivalente beinhalten hier die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

Demnach ist die Stromerzeugung aus allen Erneuerbaren Energien, auch den technologisch noch nicht so weit ausgereiften, wesentlich umweltfreundlicher als aus fossilen Energieträgern. Das liegt daran, dass für den Betrieb der Anlagen keine fossilen Brennstoffe benötigt werden. Uran stellt hier eine Besonderheit dar: Der Emissionsfaktor von Uran beinhaltet zwar die vorgelagerten Prozesse (Vorkette), aber keine nachgelagerten Prozesse. Die Auswirkung von Aufbereitung und Lagerung der nuklearen Abfälle auf die Emissionsfaktoren lässt sich laut Öko-Institut aufgrund der weltweit nicht gelösten Endlagerproblematik und dem Mangel an Daten schlecht einschätzen. Wichtig ist aber die Feststellung, dass die Förderung und Verarbeitung von Uran und damit der Betrieb von Atomkraftwerken nicht CO<sub>2</sub>-frei ist. Studien, die den gesamten Lebenszyklus betrachten, sprich Vorkette, Anlagenbau, Betrieb, nachgelagerte Prozesse (Zwischen- und Endlagerung) und den Rückbau des Atomkraftwerkes, kommen auf deutlich höhere Werte. Je nach methodischem Vorgehen kommt man auf einen Emissionsfaktor von bis zu 288 Gramm CO<sub>2</sub>-Äq. je Kilowattstunde.

## Spezifische Emissionen der Wärmeerzeugung

Angaben in Gramm pro Kilowattstunde erzeugter Wärme in deutschen Haushalten, Gewerbe und Industrie 2009 inklusive Vorketten

	CO <sub>2</sub> -Äq. g / kWh <sub>th</sub>	CO <sub>2</sub> g / kWh <sub>th</sub>	CH <sub>4</sub> g / kWh <sub>th</sub>	SO <sub>2</sub> g / kWh <sub>th</sub>	NO <sub>x</sub> g / kWh <sub>th</sub>
<b>Heizöl</b>	313 – 319	310 – 316	0,10	0,38 – 0,43	0,27 – 0,33
<b>Erdgas</b>	232 – 251	219 – 228	0,59 – 1,08	0,01	0,18 – 0,24
<b>Steinkohle</b>	415 – 428	355 – 400	1,10 – 2,46	1,41 – 1,9	0,47 – 0,54
<b>Braunkohle</b>	432 – 460	418 – 447	0,02 – 0,28	0,38 – 1,42	0,38 – 0,49
<b>Fernwärme<sup>1</sup></b>	295 – 319	278 – 300	0,69 – 0,75	0,21 – 0,23	0,29 – 0,32
<b>Strom<sup>2</sup></b>	643	611	1,10	0,44	0,65
<b>Feste Biomasse</b>	9 – 32	4 – 31	0,01 – 0,48	0,02 – 0,12	0,25 – 0,88
<b>Flüssige Biomasse</b>					
- Pflanzenöl	66	41	0,24	0,16	0,37
- Schwarzlauge	2	0	0,02	0,13	0,45
<b>Biogas</b> (Nutzung von Abwärme eines Blockheizkraftwerks)	140	60	1,57	0,13	1,25
<b>Klär- und Deponiegas</b>	31	0	1,41	0,08	1,08
<b>Biogener Anteil des Abfalls</b>	4	0	0,01	0,01	0,19
<b>Solarthermie</b>	69	61	0,13	0,13	0,11
<b>Wärmepumpe</b> (Nutzung des deutschen Strommixes)	220	209	0,38	0,15	0,22
<b>Tiefe Geothermie</b>	231	219	0,47	0,19	0,23

Quellen: UBA 2009 / 2010. Kohlendioxidäquivalente beinhalten hier nur die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Alle Angaben beziehen sich auf den deutschen Kraftwerkspark des Jahres 2009.  
1) Bandbreite bedingt durch Berücksichtigung der Netzverluste. 2) inkl. Netzverluste.

Die Bandbreiten der Emissionsfaktoren ergeben sich vor allem durch unterschiedliche Nutzungseffizienzen in den verschiedenen Anwendungsbereichen Haushalte, Industrie und Landwirtschaft. Bei der flüssigen Biomasse hängen die Umweltauswirkungen stark vom eingesetzten Rohstoff ab. So hat der Einsatz von Schwarzlauge als Nebenprodukt der Zellstoffherstellung einen sehr geringen Emissionsfaktor, während die Nutzung von Biogas einen höheren Treibhausgasausstoß verursacht, da hier auch Emissionen aus dem Anbau und der Düngung von Energiepflanzen berücksichtigt werden.

Je nach Herkunft, Anbau- und Produktionsverfahren können die CO<sub>2</sub>-Bilanzen insbesondere bei Biokraftstoffen äußerst unterschiedlich ausfallen. Zu berücksichtigen sind zum Beispiel unterschiedliche Erträge der jeweiligen Energiepflanzen, Düngemitelesinsatz, Transport, Energieeinsatz für die Biokraftstoffproduktion und der jeweilige Ersatz fossiler Energieträger. Die Emissionen variieren sowohl zwischen den verschiedenen als auch bei den gleichen Biokraftstoffen.

Während zum Beispiel der durch Düngemittel verursachte Ausstoß von Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) oder der Verbrauch fossilen Diesels durch Traktoren die  $\text{CO}_2$ -Bilanz belasten, wirkt sich die Verwertung von Nebenprodukten, die bei der Produktion von Biokraftstoffen anfallen (z.B. Schlempe, Rapsschrot, Glycerin, Prozesswärme), positiv auf die  $\text{CO}_2$ -Bilanz aus. Biodiesel und Pflanzenöl aus Raps sowie Bioethanol aus Getreide verursachen im Verhältnis zu fossilem Diesel bzw. Benzin bis zu zwei Drittel weniger Emissionen. Die Bandbreiten der Treibhausgasemissionen von Biokraftstoffen sind aufgrund der Vielfalt der genannten Einflussfaktoren groß, die Emissionen liegen jedoch stets deutlich unter denen fossiler Kraftstoffe.

## Spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Kraftstoffe

### Angaben in Gramm pro Kilowattstunde inklusive Vorketten

	Diesel/Benzin (fossil)	Biodiesel	Pflanzenöl	Bioethanol
$\text{CO}_2$ -Äquivalent g/kWh	302	157	126	132

Quelle: BMU 2010. Kohlendioxidäquivalente beinhalten hier nur die Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ .

Ein entscheidender Faktor für die Klimabilanz von Biokraftstoffen ist die Frage der Landnutzungsänderung. Wenn zum Beispiel eigens für den Anbau von Biomasse Urwaldflächen gerodet oder Moore trockengelegt werden, ist die  $\text{CO}_2$ -Bilanz zwangsläufig über Jahrzehnte negativ. Durch die Umwandlung von Primärregenwald in Palmölplantagen werden rund 365 Tonnen  $\text{CO}_2$  pro Hektar und Jahr freigesetzt, da eine Palmölplantage nach der Brandrodung wesentlich weniger Kohlenstoff speichern kann als ein Naturwald.

Die steigende Nachfrage nach Biokraftstoffen als Alternative zu immer teurer werdenden fossilen Kraftstoffen kann direkt oder indirekt die Rodung von Regenwald und anderen ökologisch besonders wertvollen Flächen begünstigen. Um diesen Effekt zu vermeiden, hat die Europäische Union 2011 Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe eingeführt. Wer in Deutschland oder der EU Biokraftstoffe vertreibt, muss nachweisen, dass die dafür genutzte Biomasse nicht von Flächen mit hohem Naturschutzwert und Kohlenstoffbestand stammt, also gerade nicht von gerodeten Regenwaldflächen. Internationale Kontroll- und Zertifizierungssysteme werten dazu zum Beispiel Satellitenaufnahmen zur Landnutzung aus. In Deutschland werden Biokraftstoffe allerdings hauptsächlich mit heimischer Biomasse erzeugt, nämlich aus Raps für Biodiesel und Pflanzenöl sowie Getreide und Zuckerrüben für Bioethanol. Importe von Biomasse für die Biokraftstoffproduktion sind zum Beispiel im Vergleich zu den Importen von Futtermitteln noch marginal, nehmen allerdings zu.

### Ersatz fossiler Energieträger durch Erneuerbare Energien

Die Nutzung Erneuerbarer Energien an Stelle von fossilen Energieträgern senkt den Ausstoß von Treibhausgasen. Um die Menge an vermiedenen Emissionen zu berechnen, ist es notwendig abzuschätzen, in welchem Umfang Erneuerbare Energien welche konventionellen Energieträger ersetzen (substituieren).

Im Stromsektor werden die Substitutionsfaktoren auf Grundlage des vorhandenen Kraftwerkparks errechnet. Durch die spezifischen Einspeiseprofile von Windenergie, Solarstrom, Wasserkraft, Biomasse und Geothermie ergeben sich unterschiedliche Substitutionsfaktoren. Photovoltaikanlagen liefern beispielsweise grundsätzlich tagsüber Strom, vor allem zur verbrauchsstarken Mittagszeit. Sie ersetzen daher beispielsweise zur Hälfte Mittellastkraftwerke auf Basis von Steinkohle und zur anderen Hälfte Spitzenlastkraftwerke auf Basis von Erdgas. Geothermie und Wasserkraft ersetzen durch ihr gleichmäßiges Einspeiseprofil auch Braunkohle-, also Grundlastkraftwerke.

## Durch Erneuerbare Energien ersetzte Energieträger im deutschen Stromsektor

Angaben in Prozent

	Braunkohle	Steinkohle	Erdgas	Erdöl
<b>Wasserkraft und Geothermie</b>	30	45	25	0
<b>Windenergie</b>	11	63	24	2
<b>Photovoltaik</b>	0	50	50	0
<b>Feste Biomasse und Biogener Anteil des Abfalls</b>	16	59	25	0
<b>Flüssige Biomasse</b>	5	62	32	1
<b>Biogas</b>	5	62	32	1
<b>Klär- und Deponiegas</b>	5	62	32	1

Quellen: UBA 2009 / 2010

Auch im Wärmesektor werden Substitutionsfaktoren bestimmt, um zu berechnen, in welchem Maße welche fossilen Energieträger verdrängt werden. Da die Wärmeerzeugung im Vergleich zum Strom- und Verkehrssektor eine hohe technische Vielfalt aufweist, werden die Substitutionsfaktoren hier überwiegend auf Basis von empirischen Studien gebildet. So wurden Anlagenbetreiber befragt, auf welche Technologie sie umsteigen würden, wenn ihre aktuelle erneuerbare Wärmeenergieanlage nicht mehr zur Verfügung stehen würde. Demnach würden beispielsweise 65 Prozent der Besitzer einer Pelletheizung zu einer heizölbetriebenen Anlage wechseln, 20 Prozent auf eine Erdgasheizung, fünf Prozent auf Kohleöfen und drei Prozent auf eine Stromheizung umsteigen.

## Durch Erneuerbare Energien ersetzte fossile Energieträger im Wärmesektor

	Heizöl	Erdgas	Steinkohle	Braunkohle	Fernwärme	Stromheizung
<b>Holz - Einzelöfen (Haushalte)</b>	41	50	0	1	2	6
<b>Holz - Zentralfeuerungen (Haushalte)</b>	65	20	2	3	0	10
<b>Pellet-Feuerung</b>	65	20	2	3	0	10
<b>Feste Biomasse (Industrie)</b>	17	55	10	12	7	0
<b>Feste Biomasse (HKW)</b>	0	0	0	0	100	0
<b>Flüssige Biomasse (Industrie)</b>	5	74	9	1	11	0
<b>Flüssige Biomasse (Haushalte)</b>	33	48	1	1	8	8
<b>Bio-, Klär- und Deponiegas (BHKW)</b>	61	33	6	0	0	0
<b>Biogener Anteil des Abfalls (HKW)</b>	0	0	0	0	100	0
<b>Geothermie (HKW)</b>	0	0	0	0	100	0
<b>Solarthermie</b>	45	51	0	0	2	3
<b>Wärmepumpen (Haushalte)</b>	45	44	1	2	5	3

Quellen: UBA 2009 / 2010

Die Substitutionsbeziehungen im Kraftstoffbereich sind dagegen einfacher. Bioethanol ersetzt stets fossiles Benzin und Biodiesel bzw. Pflanzenöl ersetzen stets fossilen Diesel. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass der Energiegehalt eines Liters Biokraftstoff stets um mehrere Prozentpunkte unter dem des substituierten fossilen Referenzkraftstoffs liegt.

## Emissionsvermeidung durch Erneuerbare Energien

Durch die Verrechnung der verschiedenen Emissions- und Substitutionsfaktoren ergeben sich für die einzelnen Erneuerbaren Energien spezifische Faktoren für die Vermeidung von Treibhausgasen und Luftschadstoffen. Sie geben an, welche Menge an Treibhausgasen beziehungsweise Luftschadstoffen pro erzeugter Kilowattstunde aus Erneuerbaren Energien vermieden werden. Dabei sind die durch die Erneuerbaren Energien verursachten Emissionen berücksichtigt. Zu negativen Vermeidungsfaktoren kommt es, wenn der Erneuerbare Energieträger mehr Emissionen verursacht als der ersetzte fossile Energieträger. Die meisten Treibhausgase vermeidet demnach mit 866 Gramm pro Kilowattstunde die Stromerzeugung aus Wasserkraft. Das liegt daran, dass Wasserkraftwerke nur geringe Emissionen in der Vorkette verursachen und vorrangig besonders emissionsintensiven Braun- und Steinkohlestrom ersetzen.

## Spezifische Vermeidungsfaktoren der erneuerbaren Stromerzeugung

Angaben in Gramm pro Kilowattstunde erzeugten Stroms inklusive Vorketten

	CO <sub>2</sub> -Äq. g/kWh <sub>el</sub>	CO <sub>2</sub> g/kWh <sub>el</sub>	CH <sub>4</sub> g/kWh <sub>el</sub>	SO <sub>2</sub> g/kWh <sub>el</sub>	NO <sub>x</sub> g/kWh <sub>el</sub>
<b>Wasserkraft</b>	866	815	2	0,48	0,64
<b>Windenergie</b>	776	714	3	0,42	0,56
<b>Photovoltaik</b>	585	532	2	0,09	0,42
<b>Geothermie</b>	560	524	2	0,23	0,34
<b>Feste Biomasse</b>	833	780	3	0,30	- 0,24
<b>Flüssige Biomasse</b>	600	607	2	- 0,06	- 0,50
<b>Biogas</b>	563	628	0,2	0,20	- 1,47
<b>Klär-, Deponie- und Grubengas</b>	746	729	0,5	0,29	- 1,19
<b>Biogener Anteil des Abfalls</b>	827	786	3	0,39	- 0,62

Quellen: UBA 2009/2010. Alle Angaben beziehen sich auf den deutschen Kraftwerkspark des Jahres 2009. Kohlendioxidäquivalente beinhalten hier nur die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

Für die Wärmebereitstellung weisen die feste Biomasse (Holz) und der biogene Abfall die besten Treibhausgasbilanzen auf. Die feste Biomasse verursacht nur sehr geringe Treibhausgasemissionen (12 g CO<sub>2</sub>-Äq. /kWh), substituiert aber zu 65 Prozent Heizöl, das einen hohen Emissionsfaktor hat (319 g CO<sub>2</sub>-Äq. /kWh).

## Spezifische Vermeidungsfaktoren der erneuerbaren Wärmebereitstellung

Angaben in Gramm pro Kilowattstunde erzeugter Wärme inklusive Vorketten

	CO <sub>2</sub> -Äq. g/kWh <sub>el</sub>	CO <sub>2</sub> g/kWh <sub>el</sub>	CH <sub>4</sub> g/kWh <sub>el</sub>	SO <sub>2</sub> g/kWh <sub>el</sub>	NO <sub>x</sub> g/kWh <sub>el</sub>
<b>Feste Biomasse</b>	286 – 331	273 – 321	0,19 – 0,68	0,13 – 0,42	-0,59 – 2,00
<b>Flüssige Biomasse</b>					
- Pflanzenöl	250	258	0,50	0,05	- 0,11
- Schwarzlauge	277	254	1,09	0,06	- 0,22
<b>Biogas</b> (Nutzung von Abwärme eines Blockheizkraftwerks)	161	227	- 1,01	0,18	- 0,98
<b>Klär- und Deponiegas</b>	270	288	- 0,85	0,23	- 0,08
<b>Biogener Anteil des Abfalls</b>	291	278	0,68	0,20	0,10
<b>Solarthermie</b>	225	218	0,51	0,06	0,13
<b>Wärmepumpe</b> (Nutzung des deutschen Stommix)	81	78	0,24	0,07	0,02
<b>Tiefe Geothermie</b>	64	59	0,23	0,02	0,06

Quelle: Quellen: UBA 2009 / 2010. Alle Angaben beziehen sich auf die deutsche Wärmeversorgungsstruktur des Jahre 2009. Kohlendioxidäquivalente beinhalten hier nur die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

Bei den Treibhausgasbilanzen der Biokraftstoffe ergeben sich deutliche Differenzen zwischen der reinen CO<sub>2</sub>-Vermeidung und der Bilanz aller Treibhausgase (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten). Der Grund liegt vor allem in der Berücksichtigung des stark klimarelevanten Lachgases (N<sub>2</sub>O), das bei der Düngung der Energiepflanzen entsteht. Wird die Gesamtheit aller vermiedenen Treibhausgase in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten betrachtet, fällt der Vermeidungsfaktor daher geringer aus.

### Spezifische Vermeidungsfaktoren der Biokraftstoffe im Jahr 2009

Angaben in Gramm pro Kilowattstunde inklusive Vorketten

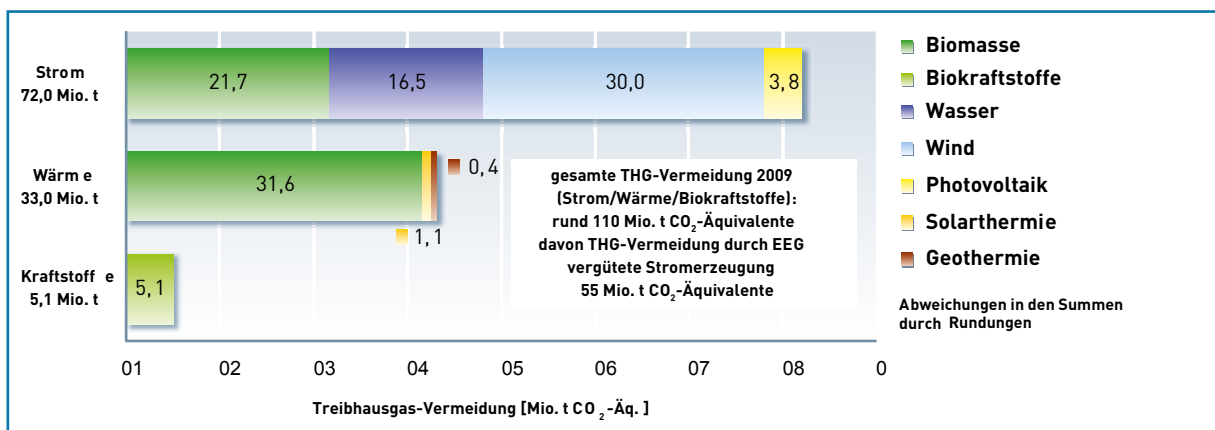
	Biodiesel	Pflanzenöl	Bioethanol
CO <sub>2</sub> -Äquivalent (g/kWh)	145	176	170
CO <sub>2</sub> (g/kWh)	227	275	266

Quelle: BMU 2010. Alle Angaben beziehen sich auf die erneuerbare Kraftstoffbereitstellung des Jahre 2009  
Kohlenstoffdioxidäquivalente beinhaltet hier nur die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

## Klima- und Umweltschutz durch Erneuerbare Energien

Im Jahr 2009 lag der Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bei 10,4 Prozent. Die Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energiequellen hat sich seit 2000 von rund 98 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) auf 248 Mrd. kWh (2009) fast verdreifacht. Dadurch wurden im Jahr 2009 insgesamt 110 Millionen Tonnen (Mio. t) Treibhausgase vermieden. Das entspricht 15 Prozent der gesamten energiebedingten Treibhausgas-Emissionen Deutschlands. Dass Deutschland bereits im Jahr 2007 sein Kyoto-Ziel erreicht hat, ist zu einem großen Teil auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien zurückzuführen.

### Vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland 2009



Quelle: BMU 2010

Auch in Zukunft werden die Erneuerbaren Energien eine wesentliche Säule des Klimaschutzes bilden. Welchen Beitrag sie zur Emissionsminderung leisten, hängt davon ab, wie der weitere Ausbau der Erneuerbaren Energien vorangeht. So rechnet der Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE) mit einem Anteil der Erneuerbaren Energien am deutschen Endenergieverbrauch von 28 Prozent im Jahr 2020 und einer Vermeidung von 287 Mio. t Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-Äq).

### Vermeidung von Treibhausgasen im Stromsektor

Den größten Klimaschutzbeitrag leisten Erneuerbare Energien im Stromsektor. Im Jahr 2009 vermieden sie hier 72 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Das liegt einerseits daran, dass der Anteil der Erneuerbaren Energien im Stromsektor mit 16,4 Prozent deutlich höher ist als bei Wärme und Verkehr. Vor allem aber basiert die Stromerzeugung in Deutschland noch überwiegend auf dem besonders klimaschädlichen Energieträger Kohle. Zudem sind die Umwandlungsprozesse ineffizienter als im Wärmesektor (vgl. Emissionsfaktoren S. 9). Dem weiteren Wachstum der Erneuerbaren Energien im Stromsektor kommt deswegen eine besonders hohe Bedeutung für den Klimaschutz zu.

Durch die Erneuerbaren Energien ist die deutsche Stromversorgung bereits wesentlich sauberer geworden. Der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Erzeugung von einer Kilowattstunde Strom ist zwischen 1990 und 2009 von 744 auf 575 Gramm gesunken. Dadurch konnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor gesenkt werden, obwohl der Stromverbrauch gestiegen ist.

### Vermeidung von Treibhausgasen im Wärmesektor

Mit einer Wärmebereitstellung von 120 Milliarden Kilowattstunden haben die Erneuerbaren Energien im Jahr 2009 einen Anteil von 8,8 Prozent am Wärmeverbrauch erreicht. Dadurch wurden 32 Mio. t CO<sub>2</sub> vermieden. Das entspricht in etwa den jährlichen Gesamtemissionen (CO<sub>2</sub>) einer Großstadt mit 3,1 Millionen Einwohnern, also nahezu der Größe Berlins.

Der Wärmebedarf macht etwa 57 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland aus und verursacht rund 40 Prozent der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen. Nach Schätzungen des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE) befinden sich nur 12 Prozent der deutschen Heizungen auf dem aktuellen Stand der Technik. Als Energieträger werden zu 70 Prozent Erdöl und Erdgas „verheizt“. Daraus ergibt sich ein großes Potenzial für mehr Klimaschutz im Wärmesektor. Hierbei müssen der Ausbau der Erneuerbaren Energien, die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden und der verstärkte Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Hand in Hand gehen.

Um das Potenzial der Erneuerbaren Energien besser zu erschließen, verpflichtet das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz Eigentümer neuer Gebäude dazu, mindestens einen Teil des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energieträgern wie Solarthermie, Biomasse oder Erdwärme zu gewinnen. Für die ehrgeizigen Klimaschutzziele der Bundesregierung ist es nach Einschätzung des BEE allerdings erforderlich, weitere Maßnahmen zu ergreifen, um die Potenziale von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien im vollen Umfang erschließen zu können.

### Vermeidung von Treibhausgasen im Verkehrssektor

Der Straßenverkehr hängt zu 94,5 Prozent und damit noch fast vollständig vom Energieträger Erdöl ab. Um diese Abhängigkeit zu reduzieren und für mehr Klimaschutz zu sorgen, spielen auch in diesem Sektor die Erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle. Im Jahr 2009 vermied der Einsatz von Biokraftstoffen 8 Mio. t CO<sub>2</sub>. Für das Jahr 2020 verlangt die EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien einen Anteil von 10 Prozent Kraftstoffen aus erneuerbaren Energieträgern. Neben den Biokraftstoffen bieten in Zukunft erneuerbarer Strom und Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien Potenziale für mehr Klimaschutz im Verkehr. Unerlässlich sind zudem Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und der Verlagerung auf den nicht-motorisierten Verkehr, Effizienzsteigerungen bei den Fahrzeugen und eine stärkere Bedeutung des Schienenverkehrs, der mit Strom aus Erneuerbaren Energien besonders emissionsarm fahren kann.

## Umweltschutz durch Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien schützen nicht nur das Klima. Durch den Einsatz Erneuerbarer Energien wird auch der Ausstoß von Luftschadstoffen wie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stickoxide (NO<sub>x</sub>) vermindert (siehe Kapitel Emissionsvermeidungsfaktoren S.13).

Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes, giftiges Gas, das vor allem bei der Verbrennung von schwefelhaltigen fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Erdölprodukten entsteht. Es reizt die Schleimhäute und verursacht den so genannten „Sauren Regen“, da es in Verbindung mit Wasser Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) bildet. Der „Saurer Regen“ gefährdet empfindliche Ökosysteme wie Wald und Seen und greift Gebäude und Materialien an. Glücklicherweise konnten die SO<sub>2</sub>-Emissionen der Industriestaaten durch den Einsatz schwefelarmer Brennstoffe und Rauchgasreinigung in den Kraftwerken in den letzten Jahrzehnten stark reduziert werden, was zu einer deutlichen Entlastung der Wälder geführt hat.

Stickoxide (NO<sub>x</sub>) ist ein Sammelbegriff für die verschiedenen gasförmigen Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen, die bei Verbrennungsprozessen entstehen. Da sie in Verbindung mit Wasser Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) bilden, reizen und schädigen sie die Schleimhäute und sind mitverantwortlich für „Saurer Regen“. Stickoxide verursachen auch Smog, wobei dies durch die heutige Filtertechnik in Kraftwerken und den Wegfall der DDR-Industrie in Deutschland erfreulicherweise kein großes Thema mehr ist. Allerdings entsteht bei sehr warmen Wetterlagen mit intensiver Sonneneinstrahlung aus Stickoxiden bodennahes Ozon, auch Sommersmog genannt. Vor allem der Verkehr spielt hier als Verursacher eine große Rolle. Ozon kann Reizungen der Atemwege (z.B. Kratzen und Brennen im Hals), Kopfschmerzen und Augenbrennen auslösen und in hohen Konzentrationen auch die Lungenfunktion einschränken.

Laut Umweltbundesamt haben Erneuerbare Energien im Strom- und Wärmesektor 2009 insgesamt 57.000 Tonnen Schwefeldioxid-Emissionen vermieden. Das sind etwa 11 Prozent der gesamten SO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands. Für die Stickoxide fällt die Emissionsbilanz dagegen ungünstiger aus. So wurden durch den Einsatz von Biomasse im Strom- und Wärmesektor im Jahr 2009 im Vergleich zur fossilen Energieversorgung rund 2.000 Tonnen Stickoxide mehr ausgestoßen. Das liegt daran, dass die Landwirtschaft generell hohe Stickoxid-Emissionen verursacht. Es handelt sich hier also nicht um ein spezielles Problem der Biomasse in der Energieversorgung, sondern der konventionellen Landwirtschaft mit Massentierhaltung und hohem Düngemiteleinsatz.

Erneuerbare Energien bewahren die Umwelt darüber hinaus vor anderen schädlichen Folgen fossiler und nuklearer Energieversorgung. Dazu gehören zum Beispiel Ölkatastrophen durch Tanker- und Bohrinselunfälle wie im Jahr 2010 im Golf von Mexiko oder das Entstehen hoher Mengen radioaktiver Abfälle, für die es bislang weltweit kein sicheres Endlager gibt. Allein in Deutschland entstehen jährlich etwa 435 Tonnen Atommüll. Die durch die fossile und nukleare Energieversorgung verursachten Umweltschäden ziehen enorme volkswirtschaftliche Kosten nach sich, die nicht auf der Energierechnung erscheinen.



## Energetische Amortisationszeiten

„Eine Windenergieanlage braucht für die Herstellung mehr Energie als sie jemals erzeugt“, lautet ein noch immer verbreitetes Vorurteil. Diese Aussage ist zwar nicht korrekt, sie hält sich jedoch hartnäckig, weshalb die energetische Amortisation im Folgenden näher betrachtet wird. Die energetische Amortisationszeit gibt an, wie viel Zeit eine Energieanlage benötigt, um die für ihre Herstellung, Betrieb und Entsorgung erforderliche Energiemenge zu produzieren.

Mit fossilen Energieträgern betriebene Kraftwerke amortisieren sich energetisch nie. Zwar sind die Energiemengen für die Herstellung der Kraftwerke schon nach zwei bis drei Monaten Betriebszeit wieder eingespielt, aber beim Betrieb werden kontinuierlich fossile Brennstoffe zugeführt. Ein typisches Steinkohlekraftwerk braucht für die Erzeugung einer Kilowattstunde elektrischer Energie 2,5 Kilowattstunden Primärenergie in Form von Kohle. Beispielsweise verbraucht das Großkraftwerk Staudinger in Hessen nach Angaben des Betreibers E.ON jährlich etwa zwei Millionen Tonnen Steinkohle, die per Schiff und Bahn aus Ländern wie Südafrika, Kolumbien, Norwegen oder Indonesien antransportiert werden.

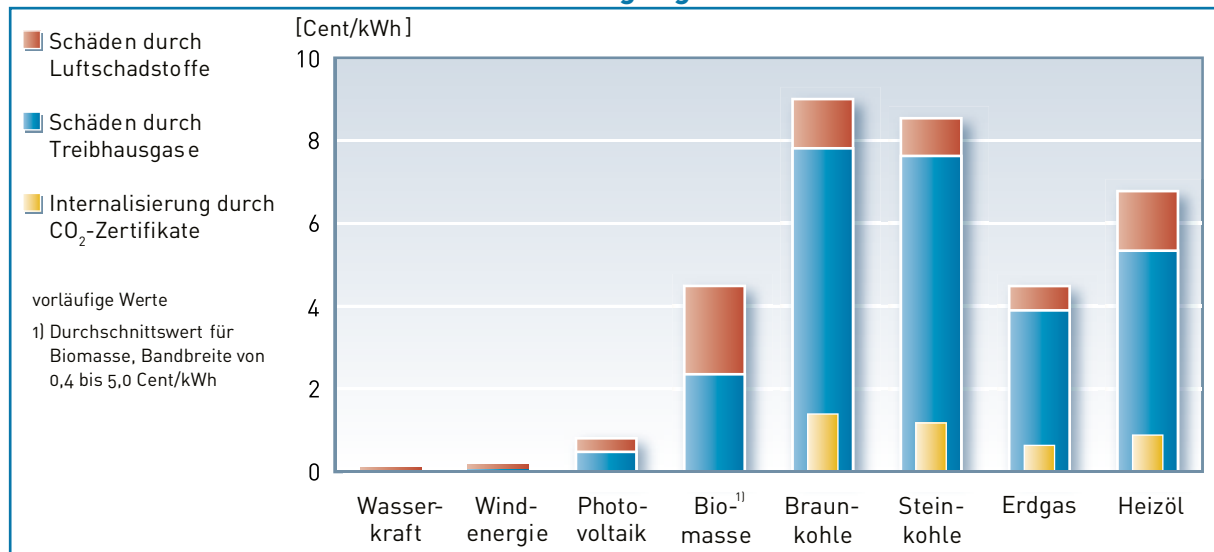
Erneuerbare Energien haben den großen Vorteil, dass für ihren Betrieb keine fossilen oder nuklearen Energieträger zugeführt werden müssen. Wind- und Sonnenenergie stehen praktisch unendlich und emissionsfrei zur Verfügung. Nach Angaben des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) von 2007 erzeugen Windenergieanlagen schon in drei bis sieben Monaten die Energiemenge, die für ihre Herstellung, ihren Betrieb und ihre spätere Entsorgung benötigt wird. Über 20 Jahre Betriebsdauer liefern sie etwa die 70-fache Menge an Energie, die für sie eingesetzt werden musste.

Auch Wasserkraft- und Geothermieanlagen amortisieren sich energetisch innerhalb eines Jahres. Etwas energieintensiver ist die Herstellung von Solarzellen. Die energetische Amortisationszeit von polykristallinen Photovoltaikanlagen wurde 2007 für Mitteleuropa mit drei bis fünf Jahren angegeben, diejenige von Dünnschichtmodulen mit zwei bis drei Jahren. Dabei ist zu beachten, dass die Werte angesichts der rasanten Entwicklung in der Solarindustrie heute wahrscheinlich deutlich besser sind. Die inzwischen stark gesunkenen Herstellungskosten für Photovoltaik-Anlagen sprechen dafür, dass auch der Energieaufwand für die Produktion gesunken sein muss. Dass es keine neueren Veröffentlichungen zur Frage der energetischen Amortisation gibt, zeigt, dass sich das Thema in der Fachwelt erledigt hat.

## Einsparung externer Kosten durch Erneuerbare Energien

Die Vermeidung von Treibhausgasen und Luftschadstoffen durch den Einsatz Erneuerbarer Energien mindert die Kosten für Umweltschäden und bringt damit gesamtwirtschaftliche Vorteile. Zu den durch fossile Energieträger hervorgerufenen Umweltschäden gehören zum Beispiel klimawandelbedingte Landverluste und Ernteeinbußen oder die Veränderung ganzer Ökosysteme und damit Verlust von Lebensräumen. Hinzu kommen Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe oder klimabedingte Wetterextreme wie Hitze- und Kältewellen oder Überschwemmungen. Da die Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden, die durch den Einsatz fossiler Energieträger entstehen, mit Ausnahme der CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten aus dem Emissionshandel nicht auf der Stromrechnung stehen, sondern von Staat und Gesellschaft (z.B. über Versicherungen, Gesundheitssystem) getragen werden, spricht man von externen Kosten.

## Umweltschäden durch die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen sowie CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten - Stromerzeugung



Quelle: BMU 2010

Erneuerbare Energien senken den Ausstoß von klima- und umweltschädlichen Stoffen und damit die externen Kosten der Energieversorgung. Sie bewirken dadurch einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzen. Den Wert vermiedener Umweltschäden zu beziffern, ist eine schwierige Aufgabe, zu der es inzwischen einige Studien gibt. Aktuell wird der Wert einer eingesparten Tonne CO<sub>2</sub> mit 70 Euro angegeben. Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und andere Institute haben auf dieser Grundlage berechnet, dass der Einsatz von Erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmesektor im Jahr 2009 Klima- und Umweltschäden in Höhe von 7,8 Milliarden Euro (Mrd. Euro) vermieden hat.

Durch den im Rahmen des europäischen Emissionshandels vorgeschriebenen Erwerb von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten sind die Kosten für die energiebedingten Umweltschäden teilweise, jedoch nicht vollständig in den Energiepreisen enthalten. Nach Abzug der Kosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate lag der volkswirtschaftliche Effekt der Erneuerbaren Energien durch vermiedene Umweltschäden im Jahr 2009 immer noch bei rund 6,8 Mrd. Euro.

### Fazit

Erneuerbare Energien sind ein wesentlicher Baustein für jede Klima- und Umweltschutzstrategie. Schon heute tragen sie erheblich zur Reduzierung von Treibhausgasen und Luftschadstoffen bei, indem sie fossile und nukleare Energieträger ersetzen. Vorbehalte, die Nutzung Erneuerbarer Energien habe eine schlechte Umwelt- oder Energiebilanz, sind inzwischen wissenschaftlich widerlegt. Die Förderung der Erneuerbaren Energien zahlt sich unter anderem durch die Einsparung externer Kosten in Form von Umwelt- und Gesundheitsschäden volkswirtschaftlich aus.

## Quellen und weitere Informationen

**Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) / Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE):**

Stromversorgung 2020. Wege in eine moderne Energiewirtschaft. Berlin, Januar 2009.

**Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat):**

Zeitreihe zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin, Dezember 2010.

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU):**

Erneuerbare Energien in Zahlen. Internet-Update. Berlin, Dezember 2010.

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) / Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi):** Energiekonzept der Bundesregierung. Berlin, September 2010.

**Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE):** Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche für Deutschland. Berlin, November 2009.

**Europäische Union (EU): Prognosen zum Klimaschutz:** EU auf dem Weg zur Umsetzung der Ziele von Kyoto. Brüssel, Stand: Februar 2011. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1534&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en>

**E.ON Kraftwerke GmbH:** Porträt Kraftwerk Staudinger. Stand: Februar 2011.

[http://www.kraftwerk-staudinger.com/pages/ekw\\_de/Kraftwerk\\_Staudinger/Portraet/index.htm](http://www.kraftwerk-staudinger.com/pages/ekw_de/Kraftwerk_Staudinger/Portraet/index.htm)

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) / Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) / Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) / Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin):**

Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt. Bestandsaufnahme und Bewertung vorliegender Ansätze zur Quantifizierung der Kosten-Nutzen-Wirkungen im Strom- und Wärmebereich. März 2010.

**Germanwatch:** Globaler Klimawandel – Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten. Bonn, Februar 2008.

**Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR):**

CERINA-Plan. Münster, Stand Februar 2011. <http://www.cerina.org>

**IPCC 2007: Klimaänderung 2007:**

Wissenschaftliche Grundlagen. Vierter Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC). Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Bern/Wien/Berlin, 2007.

**Jacobeit, Jucundus (Humbolt-Universität zu Berlin):**

Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Klimasystem. Berlin, September 2007.

**Öko-Institut:** Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung. Arbeitspapier. Darmstadt, März 2007

**Sovacool, Benjamin K. (National University of Singapore):**

Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. Singapur, Juni 2008.

**Umweltbundesamt (UBA):**

- Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2008 und erste Schätzung 2009. Dessau-Roßlau, März 2010.
- Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. Dessau-Roßlau, Stand: Januar 2011.
- Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2009. Dessau-Roßlau, Januar 2011.
- Presseinformation 13/2010 – Treibhausgasemissionen im Jahr 2009. Dessau-Roßlau, Februar 2010.
- Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2009. Aktualisierte Anhänge 2 und 4 der Veröffentlichung „Climate Change 12/2009“, Dessau-Roßlau, September 2010
- Climate Change 12/2009. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007. Dessau-Roßlau, Dezember 2009

**United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC):**

Greenhouse Gas Data. Stand: Januar 2011. [http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3800.php](http://unfccc.int/ghg_data/items/3800.php)

**University of California, Scripps Institution of Oceanography (SIO):**

Scripps CO<sub>2</sub> Program. Stand 2011. <http://scrippsco2.ucsd.edu>

**Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU):**

Sicherheitsrisiko Klimawandel. Zusammenfassung für Entscheidungsträger. Berlin, Mai 2007.

**World Resources Institute (WRI), zitiert durch den World Wide Fund For Nature (WWF):**

Die wichtigsten Treibhausgase. Stand: Februar 2011.

<http://www.wwf.de/themen/klima-energie/klimawandel/treibhauseffekt/die-wichtigsten-treibhausgase>

**World Wide Fund For Nature (WWF):** Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl. Frankfurt/Main, April 2007.

**In der Reihe RENEWS Spezial sind bisher erschienen:**

Titel der Ausgabe	Nr.	Datum
Erneuerbare Energien Ein Gewinn für den Wirtschaftsstandort Deutschland	48	Jan 11
Erneuerbare Wärme – Klimafreundlich, wirtschaftlich, technisch ausgereift	47	Jan 11
Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien	46	Dez 10
Solarparks – Chancen für die Biodiversität	45	Dez 10
Bundesländervergleich Erneuerbare Energien 2010	44	Nov 10
Holzenergie – Bedeutung, Potenziale, Herausforderungen	43	Okt 10
Erneuerbare Energien – Mehr Unabhängigkeit vom Erdöl	42	Sep 10
20 Jahre Förderung von Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland - eine Erfolgsgeschichte	41	Sept 10
Kosten und Potenziale von Photovoltaik und solarthermischen Kraftwerken	40	Aug 10
Biokraftstoffe	38	Aug 10
Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien	37	Juli 10
Daten und Fakten Biokraftstoffe 2009	36	Juli 10
Grundlastkraftwerke und Erneuerbare Energien – ein Systemkonflikt?	35	Juni 10
Anbau von Energiepflanzen	34	Juni 10
Erneuerbare Energien und Elektromobilität	33	Juni 10
Wirtschaftsfaktor Erneuerbare Energien in Deutschland	32	Juni 10
Akzeptanz der Erneuerbaren Energien in der deutschen Bevölkerung	31	Mai 10
Erneuerbare Elektromobilität	30	April 10
Strom speichern	29	April 10
Kosten und Nutzen des Ausbaus Erneuerbarer Energien	28	März 10
10 Jahre Erneuerbare-Energien-Gesetz - 20 Jahre Stromeinspeisungsgesetz	27	März 10
Kosten und Preise für Strom – Fossile, Atomstrom und Erneuerbare Energien im Vergleich	26	Feb 10
Häuslebauer nehmen Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz gut an Umfrage unter 500 Bauunternehmen, Planungs- und Architekturbüros	24	Jan 10
Erneuerbare Energien in der Fläche	23	Jan 10
Reststoffe für Bioenergie nutzen	22	Jan 10
Regionale Wertschöpfung durch die Nutzung Erneuerbarer Energien	21	Dez 09
Biogas – Daten und Fakten 2009 –Energiebereitstellung	20	Nov 09
Wärme speichern	18	Nov 09
Zertifizierung von Bioenergieträgern	15	Nov 09
Erneuerbare Mobilität	12	April 09
Erneuerbare-Energien-Gesetz vs. Emissionshandel?	11	März 09
Stromversorgung 2020 – Wege in eine moderne Energiewirtschaft	10	Jan 09
Deutscher Mittelstand für Erneuerbare Energien	9	Nov 09
Stromlücke oder Luxusproblem	8	Nov 09
Kombikraftwerk	7	Okt 07

Siehe auch: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/service/mediathek/renewsspezial.html>





**Agentur für Erneuerbare  
Energien e.V.**

Reinhardtstr. 18

10117 Berlin

Tel.: 030-200535-3

Fax: 030-200535-51

[kontakt@unendlich-viel-energie.de](mailto:kontakt@unendlich-viel-energie.de)

ISSN 2190-3581

[www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)

