ASUE
Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

# $CO_2$-Vermeidung

DVGW

www.asue.de

# Inhalt


**1 | Der Klimawandel 2**

**2 | Der Treibhauseffekt 4**
Entstehung 4
Treibhausgase 4
Weitere Einflussfaktoren 6

**3 | Internationaler Klimaschutz 7**
Klimakonferenzen und Klimaabkommen 7
Der Europäische Emissionshandel 8

**4 | Der Treibhausgasausstoß in Deutschland 10**
Treibhausgasausstoß nach Sektoren 10
$CO_2$-Footprint 10
Klimaschutzmaßnahmen 12
Energiewirtschaft 13
Wärmemarkt 14
Verkehr 15
Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz 16
Europäische und internationale Klimapolitik 16
Landwirtschaft 17
Abfall- und Kreislaufwirtschaft 17
F-Gase 17

**5 | $CO_2$-Vermeidungskosten 18**
Emissionsfaktoren und Wirkungsgrade 19
Klimaschonende Kraftwerke und Heizungen 20

**6 | $CO_2$-Vermeidungskosten im Strommarkt 21**
Effiziente Stromerzeugung 21
Strommix zur $CO_2$-Reduktion 22

**7 | $CO_2$-Vermeidungskosten im Wärmemarkt 24**
Hohes Einsparpotenzial im Wärmemarkt 24
Effiziente Heiztechnologien sind 25
Heizungsmix zur $CO_2$-Reduktion 26

**8 | $CO_2$-Vermeidungskosten im Verkehrssektor 28**

**9 | $CO_2$-Vermeidungskosten durch Sektorenkopplung 30**
Kraft-Wärme-Kopplung 30
Power-to-Gas 31

**10 | Zusammenfassung 33**


# 1 Der Klimawandel

Der Klimawandel ist ein sehr dringendes, ernst zu nehmendes Problem mit weitreichenden Folgen für die gesamte Menschheit. Die Auswirkungen reichen vom Anstieg des Meeresspiegels über die Zunahme von Wetterextremen wie Hitzeperioden und Überschwemmungen bis zur Bedrohung zahlreicher Tier- und Pflanzenarten, deren Lebensräume zu schwinden drohen. Inzwischen ist wissenschaftlich ausreichend belegt, dass der Mensch mit seinen Tätigkeiten maßgeblich zum Klimawandel beiträgt und es besteht ein gesellschaftlicher Konsens darüber, dass die internationale Staatengemeinschaft schnell und entschlossen handeln muss.

**Ausgesprochen**

*„Ein Weiter-So gibt es nicht. Der Klimaschutz ist die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts."*
**Angela Merkel, Bundeskanzlerin, 2007**

*„Die Lage ist alarmierend. ‚Business as usual' ist keine Option. Gefragt sind technologische Innovationen, die mit großen $CO_2$-Einsparungen und einer steigenden Energieeffizienz verbunden sind."* **Michael Werner, verantwortlicher Partner für den Bereich Sustainability Services bei PwC in Deutschland, November 2012**

*„Unser Wirtschaftssystem fördert noch immer die ineffiziente Verwendung von Ressourcen, indem bei einigen von ihnen die Preise nicht ihre wahren Kosten widerspiegeln."*
**Europäische Kommission, Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa, Oktober 2011**

Zur Bekämpfung des Klimawandels gibt es unterschiedliche Ansätze und Methoden, die kontrovers diskutiert werden. Allen voran steht die Frage, wie wir in Zukunft unseren Energiebedarf decken wollen. Wichtig bei solchen Debatten ist stets, nüchtern und wissenschaftlich mit dem Thema umzugehen und auf diese Weise die sinnvollsten Maßnahmen und Instrumente herauszuarbeiten. Auch das von Deutschland ins Rollen gebrachte Projekt der Energiewende sollte auf diese Weise regelmäßig überprüft werden, denn manchmal scheint in Vergessenheit zu geraten, dass nicht die Erneuerbaren Energien als Selbstzweck das Ziel sind, sondern die effektive Vermeidung von Treibhausgasemissionen oberste Priorität haben muss. Effektivität in dieser Hinsicht bedeutet, auch die Kriterien Machbarkeit und Bezahlbarkeit der eingesetzten Technologien nicht aus den Augen zu verlieren. Denn wenn eine Maßnahme große Mengen Kohlenstoffdioxid einsparen lässt, aber hohe Kosten verursacht, wird sie aufgrund des hohen Kapitalbedarfs nicht so häufig zum Einsatz kommen können. Dagegen ist einer Maßnahme, die zwar weniger Kohlenstoffdioxid einsparen lässt, aber dafür deutlich weniger Kosten verursacht, in der Regel den Vorzug zu geben. Sie kann zu gleichen Kosten häufiger umgesetzt werden und somit mittelfristig mehr Kohlenstoffdioxid einsparen.

Ein sinnvolles Instrument zur Umsetzung solcher ganzheitlicher Betrachtungen stellt das Konzept der $CO_2$-Vermeidungskosten dar, welches in der vorliegenden Broschüre näher betrachtet werden soll.

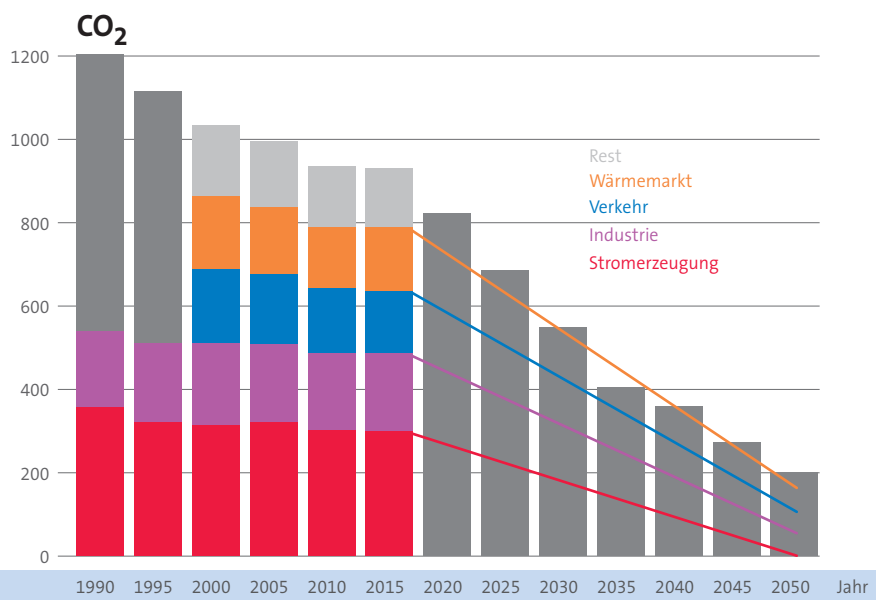
*„Der ungute Trend, dass hochmoderne energieeffiziente Gaskraftwerke stillstehen, während die ältesten und ineffizientesten Kohlekraftwerke bis zum Anschlag produzieren, muss schrittweise umgekehrt werden."*
**Barbara Hendricks, Bundesumweltministerin, Dezember 2014**

*„Die Menschheit ist aufgerufen, sich der Notwendigkeit bewusst zu werden, Änderungen im Leben, in der Produktion und im Konsum vorzunehmen, um diese Erwärmung oder zumindest die menschlichen Ursachen, die sie hervorrufen und verschärfen, zu bekämpfen."* **Papst Franziskus, Juni 2015**

*„Wir plündern zugleich die Vergangenheit und die Zukunft für den Überfluss der Gegenwart – das ist die Diktatur des Jetzt."*
**Hans Joachim Schellnhuber, Klimaforscher und Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, 2011**

**1 Notwendige $CO_2$-Minderungen in den Sektoren bis 2050**

**Deutschland hat sich gemäß dem Kyoto-Protokoll zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen gegenüber dem Jahr 1990 um 80 % bis 2050 zu senken.**
**Bisher konnten bereits rund 25 % eingespart werden.**



# 2 Der Treibhauseffekt

## Entstehung

Wenn die Strahlen der Sonne auf die Erde treffen, werden sie dort in Wärme umgewandelt und diese Wärme wieder ins Weltall abgegeben. Einige der Stoffe in der Erdatmosphäre haben allerdings die Eigenschaft, diese Wärme zu absorbieren, statt sie wieder ins Weltall durchzulassen, die sogenannten Treibhausgase. Je höher ihre Konzentration in der Erdatmosphäre ist, desto mehr Wärme können sie speichern, wodurch sich die Temperatur auf der Erdoberfläche erhöht.

## Treibhausgase

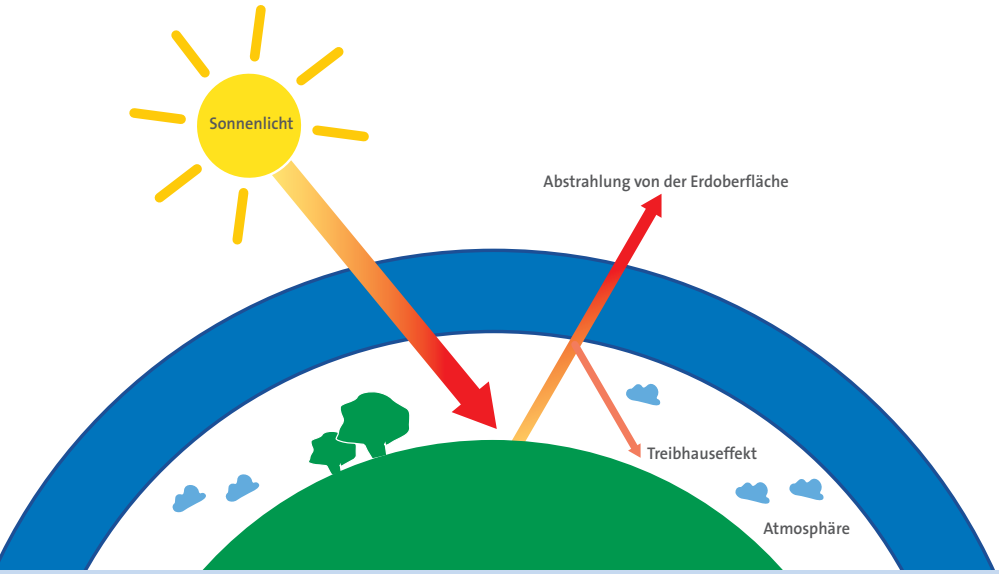
**Kohlenstoffdioxid ($CO_2$):** Mit der Zellatmung stellen Tiere und Menschen mit Hilfe von Sauerstoff ihre Energie bereit, wobei $CO_2$ entsteht und abgegeben wird. Auch einige Bakterien stellen es auf diese Weise her. Pflanzen wiederum nehmen im Rahmen der Fotosynthese zur Energiegewinnung das $CO_2$ auf und geben Sauerstoff ab. So ergibt sich ein natürlicher Kreislauf. Allerdings wird auch bei der Verbrennung von fossilen Rohstoffen, z. B. Kohle, Erdöl und Erdgas, zusätzlich $CO_2$ freigesetzt, welches damit den Kreislauf zusätzlich belastet. Nur bei der Verbrennung nachwachsender Rohstoffe (Holz, Biomasse) geht man davon aus, dass diese in gleichem Maße nachwachsen und dafür wiederum $CO_2$ einbinden. Allerdings werden auch häufig durch Brandrodung große Mengen $CO_2$ freigesetzt, die nicht wieder in nachwachsenden Pflanzen gebunden werden.

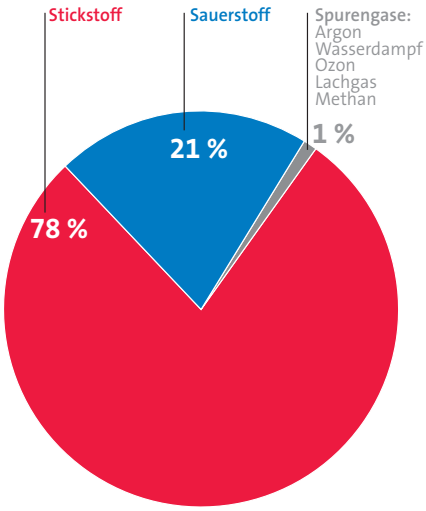
2 Treibhauseffekt

**Der Treibhauseffekt sorgt dafür, dass Leben auf der Erde möglich ist. Durch die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre kommt es allerdings zur Erderwärmung.**

3 Zusammensetzung der Atmosphäre

**Die Treibhausgase haben mengenmäßig nur einen kleinen Anteil an der Erdatmosphäre, trotzdem haben sie einen großen Einfluss auf das Klima.**



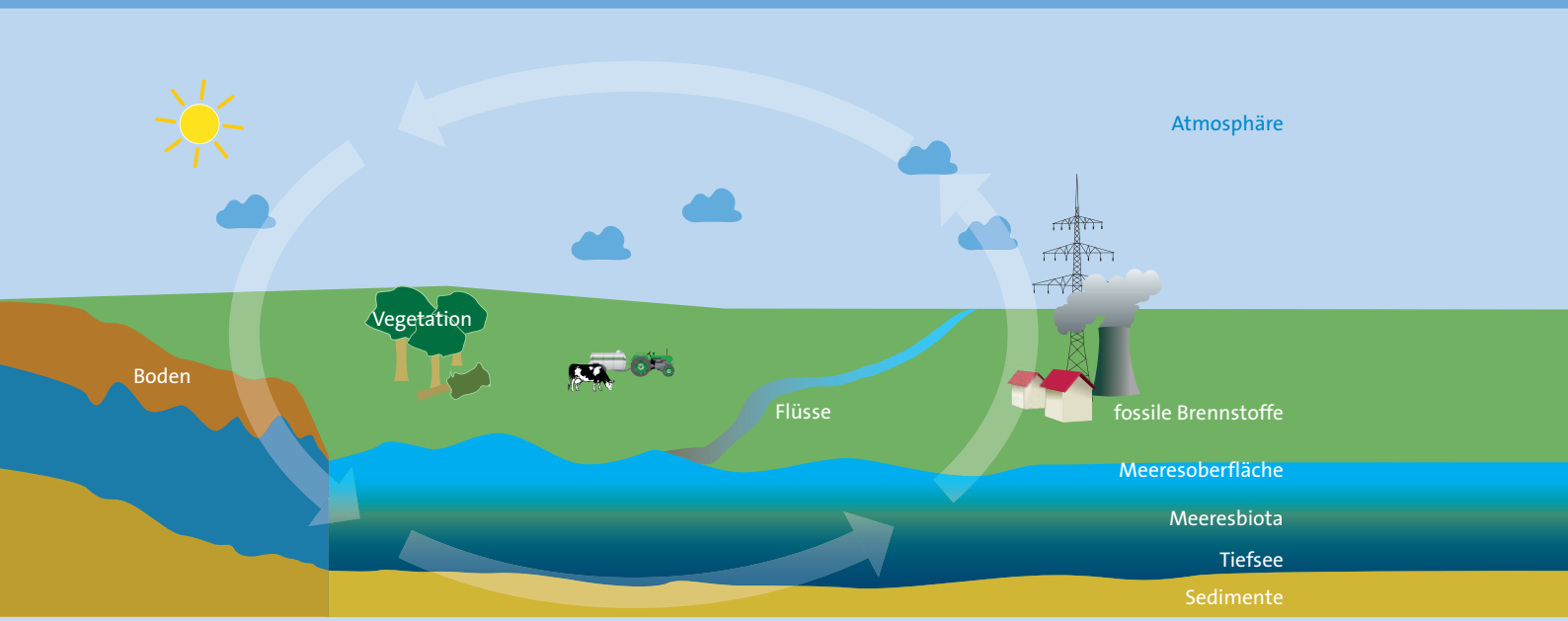
**Methan ($CH_4$):** Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas, welches wie die anderen fossilen Energieträger über mehrere Millionen Jahre im Erdreich entsteht und hauptsächlich zur Energiegewinnung gefördert wird. Im Rahmen der anschließenden Verbrennung wird es allerdings zu $CO_2$ umgewandelt, so dass der Großteil des Methans auf diesem Weg nicht in die Atmosphäre gelangt. Eine Ausnahme stellen Leckagen und Leitungsverluste bei Förderung und Transport dar sowie Methanentweichungen als Begleitprodukt bei der Kohleförderung als sog. Grubengas. Neben der Form des Erdgases wird Methan auch durch bestimmte Bakterien hergestellt, die in sauerstofffreien (anaeroben) Milieus zu finden sind. Natürliche Quellen sind z. B. Sümpfe, Ozeane und Termiten. Menschengemachte Quellen sind dagegen v. a. die Viehzuchthaltung, weil sich die Mikroorganismen in den Mägen der wiederkäuenden Rinder befinden. Aber auch in Teilen der Landwirtschaft, wie z. B. im Reisanbau sowie in Mülldeponien entsteht Methan.

**Distickstoffoxid ($N_2O$, Lachgas):** Es entsteht auf natürlichem Weg in Meeren, Regenwäldern und wird von Mikroorganismen im Boden hergestellt. Eine menschenverursachte Zunahme des Stoffs in der Atmosphäre ergibt sich v. a. durch den intensiven Düngemitteleinsatz in der industriellen Landwirtschaft.

**Fluorierte Treibhausgase (HFKW, FKW, $SF_6$) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW):** Diese stellen die einzigen Treibhausgase dar, die nicht natürlich auftreten. Sie werden als Kältemittel u. a. in Klimaanlagen, in der Elektronikindustrie und bei der Aluminiumherstellung eingesetzt. Der Einsatz von FCKW wurde bereits weitestgehend verboten, da dieses zusätzlich auch die Ozonschicht abbaut.

## 4 Entstehung

**Kohle, Erdöl und Erdgas entstehen erst innerhalb von mehreren Millionen Jahren neu. Durch die Verbrennung zur Energiegewinnung werden somit mehr fossile Rohstoffe verbraucht, als im gleichen Zeitraum neu entstehen können und der natürliche Kohlenstoffkreislauf gerät aus dem Gleichgewicht. Es findet eine Anreicherung von $CO_2$ in der Erdatmosphäre statt.**



## Weitere Einflussfaktoren

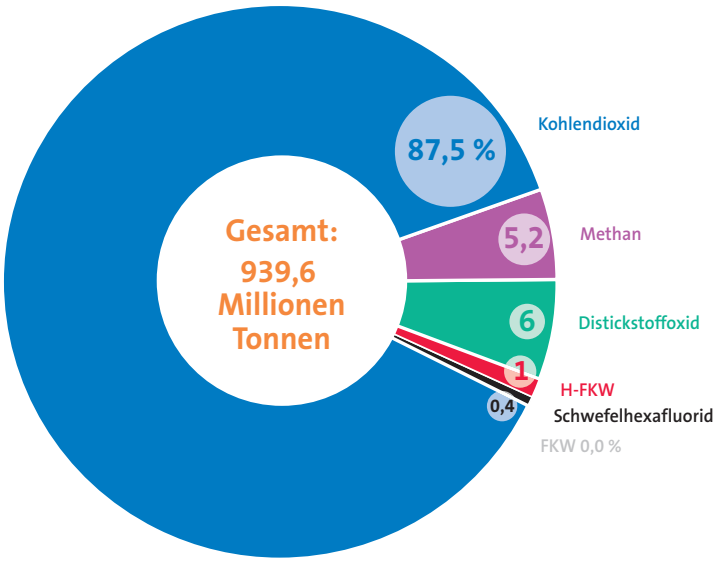
Neben diesen Treibhausgasen, die auch im Kyoto-Protokoll erfasst werden, bestehen noch weitere Einflussfaktoren, die zum Treibhauseffekt beitragen, welche allerdings nicht oder nur indirekt vom Menschen beeinflusst werden. Dazu zählen Wasserdampf ($H_2$) und Wolken als kondensierter Wasserdampf sowie Ozon. Auch Aerosole und Rußpartikel, die ebenfalls durch Verbrennung entstehen, haben einen Einfluss auf das Klima, die genauen Wirkzusammenhänge sind allerdings noch nicht verstanden.

**Natürliches und künstliches Erdgas – Definition** Von Erdgas wird im Allgemeinen nur gesprochen, wenn es auf natürliche Weise im Erdreich entstanden ist. Allerdings lässt sich Methan – aus dem Erdgas zu 80 bis 99 % besteht – auch auf technischem Wege herstellen, in welchen Fällen dann allerdings jeweils eigene Begriffe gebräuchlich sind, auch wenn sie sich chemisch nicht unterscheiden und voll kompatibel zu allen Erdgasanwendungen und –techniken sind. Biogas – das durch Vergärung von Biomasse in Biogasanlagen hergestellt wird – unterscheidet sich zwar zunächst deutlich von Erdgas, enthält allerdings ebenfalls als Hauptbestandteil Methan (ca. 51 – 72 %). Es wird v. a. zur Energiegewinnung in speziell auf diese Gasart ausgelegten Blockheizkraftwerken eingesetzt. Es lässt sich aber ebenso mit verschiedenen technischen Verfahren zu Erdgas aufbereiten, man spricht jetzt aber von Biomethan oder Bioerdgas. Zusätzlich müssen diese beiden Begriffe klar von dem im sog. „Power-to-Gas-Konzept“ künstlich erzeugten Methan abgegrenzt werden. Hierbei wird unter Einsatz von überschüssigem Strom aus Erneuerbaren Energien in einer Elektrolyse zunächst Wasserstoff und anschließend im Sabatier-Prozess Methan synthetisiert. Hierbei wird dann meist vom EE-Gas, regenerativ erzeugten Erdgas, Speichergas oder wahlweise - je nach Typ der eingesetzten erneuerbaren Energie - vom Wind- oder Solargas gesprochen. Des Weiteren existieren noch die Bezeichnungen Synthetic Natural Gas (SNG) oder synthetisches Erdgas, die für beide o. g. Verfahren zur Anwendung kommen.“

### 5 Anteile der Treibhausgase an den Emissionen 2012

**Treibhauspotenzial** Die verschiedenen Treibhausgase unterscheiden sich hinsichtlich ihres Treibhauspotenzials (engl.: global warming potential, GWP). $CO_2$ ist das wichtigste Treibhausgas, da es in den größten Mengen in die Atmosphäre freigesetzt wird. Betrachtet man allerdings die Wirkung auf das Klima von z. B. 1 kg $CO_2$ gegenüber 1 kg Methan, so hat Methan eine ca. 21-fach stärkere Wirkung als das $CO_2$, kann also deutlich mehr Wärme absorbieren. Noch teilweise deutlich höhere Wirkungen erzielen die übrigen Treibhausgase, sind aber aufgrund ihrer geringen Mengen in der Atmosphäre insgesamt nicht so bedeutsam wie das $CO_2$. Um eine Vergleichbarkeit der Treibhausgase zu erreichen, wird häufig mit $CO_2$-Äquivalenten gerechnet.

| Treibhausgas | $CO_2$-Äquivalent |
|---|---|
| 1 kg $CH_4$ | 21 kg $CO_2$-Äquivalent |
| 1 kg $N_2O$ | 310 kg $CO_2$-Äquivalent |
| 1 kg F-Gas | 1.000 – 23.900 kg $CO_2$-Äquivalent |




berechnet in Kohlendioxid-Äquivalenten

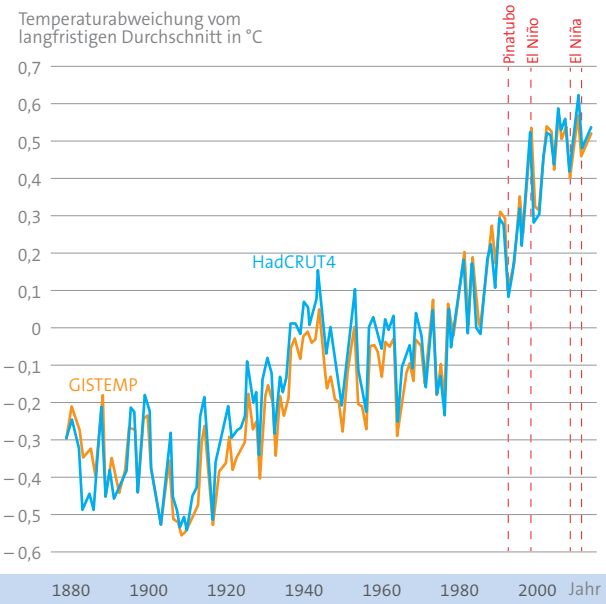
# 3 Internationaler Klimaschutz

## Klimakonferenzen und Klimaabkommen

Zur Eindämmung der Treibhausgasemissionen wird auf internationaler Ebene fortlaufend verhandelt. Allerdings existiert zwischen den Staaten kein Konsens darüber, welche Mengen Treibhausgase, mit welchen Maßnahmen und in welcher Geschwindigkeit eingespart werden sollen. Uneinig ist sich die Staatengemeinschaft insbesondere darüber, welche Länder welchen Anteil an den Reduktionsverpflichtungen zu tragen haben. Die klassischen Industrieländer (EU, USA, Kanada, Australien, Japan) sind prinzipiell zu verbindlichen Treibhausgaseinsparungen bereit, häufig aber nur unter der Voraussetzung, dass auch die wirtschaftlich aufstrebenden Länder wie China, Indien und Brasilien zu verbindlichen Zielen bereit sind. Begründet wird dies damit, dass der Klimawandel die gesamte Staatengemeinschaft betreffe. Die wirtschaftlich aufstrebenden Länder halten dem häufig entgegen, die Industrieländer würden ja bereits seit viel längerer Zeit Treibhausgase in großem Umfang ausstoßen, so dass sich hieraus für alle sich erst heute entwickelnden Länder das Recht ableite, es den Industrieländern für einige Zeit gleich zu tun. Ein erster Erfolg auf internationaler Ebene stellte das Kyoto-Protokoll dar, in dem sich die Industriestaaten dazu verpflichteten, zwischen 2008 und 2012 ihre Treibhausgasemissionen gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens fünf Prozent zu senken. Die USA sind allerdings dem Abkommen nicht beigetreten, Kanada ist 2013 ausgetreten. Inzwischen wurde das Abkommen bis 2020 verlängert, bis dahin sollen 18 % gegenüber 1990 eingespart werden, die EU will sogar 20 % einsparen. Japan, Neuseeland und Russland nehmen allerdings nicht mehr teil.

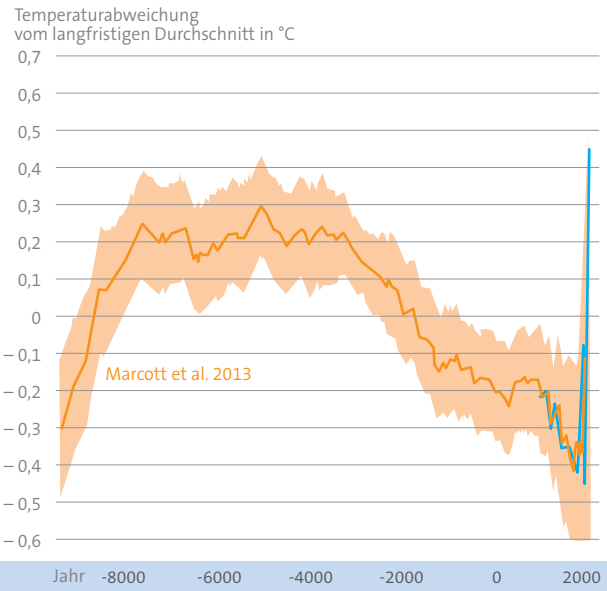
### 6 Globale Temperatur 1880 – 2013

**Der mittlere globale Temperaturverlauf der letzten Jahrzehnte zeigt, dass sich die Temperaturen auf der Erde aufgrund des Klimawandels erhöhen. GISTEMP und HadCRUT4 sind zwei unabhängige Temperaturanalysen der NASA und des Climatic Research Unit der Universität von East Anglia.**




### 7 Erste globale Temperaturrekonstruktion für die vergangenen 11.000 Jahre

**Schwankungen im Temperaturverlauf hat es auf der Erde schon immer gegeben, doch diese von Wissenschaftlern erstellte Temperaturrekonstruktion der letzten 11.000 Jahre verdeutlicht, wie abrupt der Klimawandel vor einigen Jahrzehnten eingesetzt hat. Bisherige Temperaturänderungen waren dagegen stets vergleichsweise langsamer Natur.**



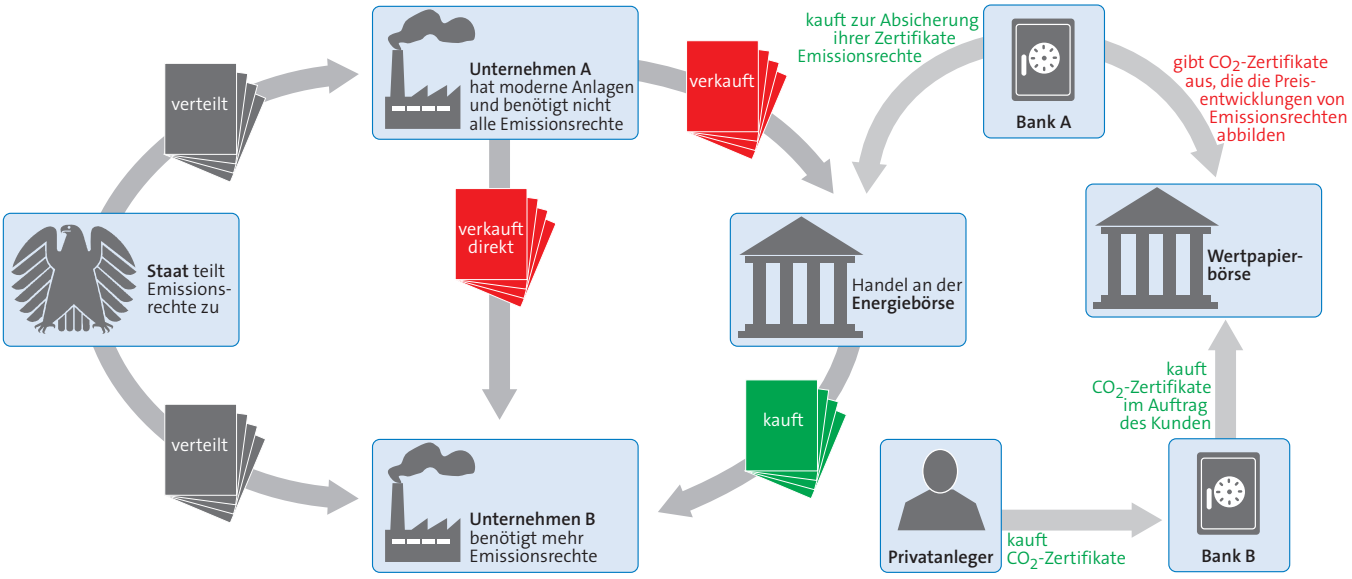
## Der Europäische Emissionshandel

Da sich die internationale Verständigung auf Klimaschutz als schwierig erweist, hat die EU eigene Anstrengungen beschlossen und zu diesem Zweck den EU-Emissionshandel (EU ETS) eingeführt. An diesem sind Anlagenbetreiber der EU-Länder sowie Liechtenstein, Island und Norwegen ab einer gewissen Höhe der THG-Emissionen verpflichtet, teilzunehmen. Dies sind vor allem größere Kraftwerksbetreiber oder energieintensive Industrieunternehmen, z. B. Zementwerke, Raffinerien, Stahlwerke, Chemieunternehmen, Aluminiumherstellung sowie der Flugverkehr an EU-Flughäfen. Derzeit sind ca. 12.000 Anlagen verpflichtet, am ETS teilzunehmen.

Mit seiner marktwirtschaftlichen Ausrichtung ist das ETS insgesamt ein kosteneffizientes Instrument zur Erreichung der EU-Klimaschutzziele, trotzdem liegen die bisherigen Ergebnisse hinter den Erwartungen zurück. Vor allem aufgrund der Banken- und Finanzkrisen innerhalb der EU in den letzten Jahren sind die THG- Emissionen konjunkturbedingt zurückgegangen, so dass viele Unternehmen ihre Emissionszertifikate nicht benötigten und ein Zertifikateüberschuss am Markt entstand. In der Folge sanken die Zertifikatspreise bis heute andauernd auf ein sehr niedriges Niveau, wodurch Anreize, in $CO_2$-arme Technologien zu investieren, deutlich abgeschwächt werden. Um diesen Effekt zu kompensieren, wurde Anfang 2014 vereinbart, einen Teil der überschüssigen Zertifikate

**8** Prinzipschema des Emissionshandels

**Für den Handel gibt es eine Obergrenze („Cap“) an $CO_2$-Zertifakten, was die Gesamtmenge an erlaubten Emissionen für alle Länder definiert. Somit wird aber nicht vorgegeben, in welchen Bereichen die Einsparungen erfolgen sollen. Anlagenbetreiber können demnach mehr THG emittieren, als sie Zertifikate zugeteilt bekommen haben, müssen die fehlenden aber zukaufen. Durch Angebot und Nachfrage entsteht so ein Markt und damit Anreize, nach den kostengünstigsten Möglichkeiten zu suchen, Emissionen zu reduzieren, um keine Zertifikate zukaufen zu müssen oder um eigene überschüssige Zertifikate gewinnbringend verkaufen zu können.**



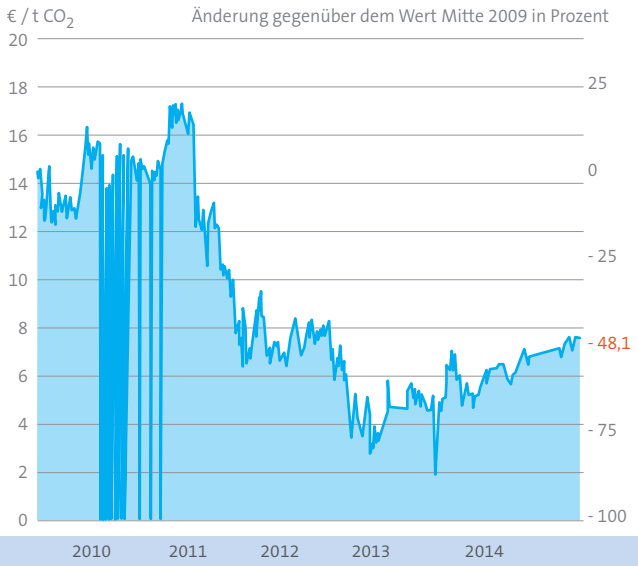
vorübergehend vom Markt zu nehmen und erst in den Jahren 2019 und 2020 wieder freizugeben, das sog. Backloading. Um ähnliche konjunkturelle Schwankungen in Zukunft auszugleichen, befindet sich ein Zusatzmechanismus, die sog. Marktstabilitätsreserve, in Diskussion, nach der künftig bei Überschüssen nach definierten Kriterien automatisch Zertifikate vom Markt genommen, allerdings bei übermäßiger Knappheit ebenso wieder zugeführt würden.

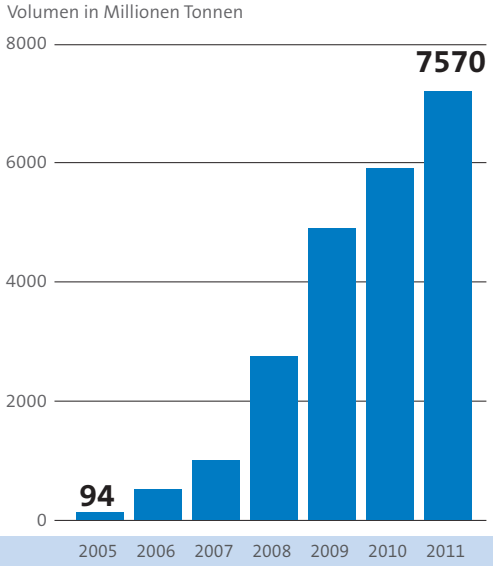
### 9 Entwicklung der Zertifikatspreise für $CO_2$

Die Preise für $CO_2$-Zertifikate befinden sich schon seit einigen Jahren auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau, weshalb der Emissionshandel nicht seine volle Wirkung entfalten kann. Eine Reform des Systems mittels Backloading und Marktstabilitätsreserve wird daher derzeit diskutiert.

### 10 Volumen der gehandelten Treibhausgase

Langfristig ist geplant, schrittweise mehr THG-Emittenten in das System aufzunehmen, um in sämtlichen Wirtschaftsbereichen Anreize für Emissionsminderungen zu schaffen. Theoretisch denkbar und diskutiert wird, auch Privatpersonen in den Handel miteinzubeziehen (sog. Personal carbon trading). Analog erhielte dann jede Privatperson ein gewisses Kontingent an Emissionen pro Jahr, das für Konsum, Mobilität, Reisen, Energie etc. genutzt werden kann. Sollte das Kontingent erschöpft sein, müssen neue Lizenzen erworben werden. Personen mit einem $CO_2$-sparsamen Lebensstil können ihrerseits ihre Überschusszertifikate verkaufen, wodurch ein Anreiz zu Einsparungen entsteht.



# 4 Der Treibhausgasausstoß in Deutschland

## Treibhausgasausstoß nach Sektoren

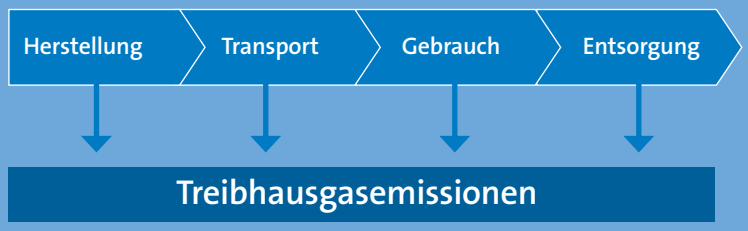
83 % der deutschen Treibhausgasemissionen fallen zur Energiebereitstellung an. Die Erzeugung von Strom (und teilweise gleichzeitig von Wärme) in Großkraftwerken wie Stein- und Braunkohlekraftwerken verursacht den größten Anteil mit etwa 40 %. Der restliche Energiebedarf in den Haushalten, Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD), Industrie und öffentlichen Einrichtungen, vor allem in Form von Wärme zur Raumbeheizung, für Warmwasser oder als Prozesswärme, macht etwa 27 % aus. 16 % der Emissionen entfallen auf den Verkehrsbereich, also PKW-, LKW-, Bus-, Bahn-, Schifffahrts- und Flugverkehr. Die restlichen, nichtenergetischen Mengen entstehen zu jeweils etwa 8 % in industriellen Prozessen und der Landwirtschaft. Die wichtigsten Einflussgrößen zur Begrenzung des Treibhausgasausstoßes sind also die Strom- und die Wärmeerzeugung.

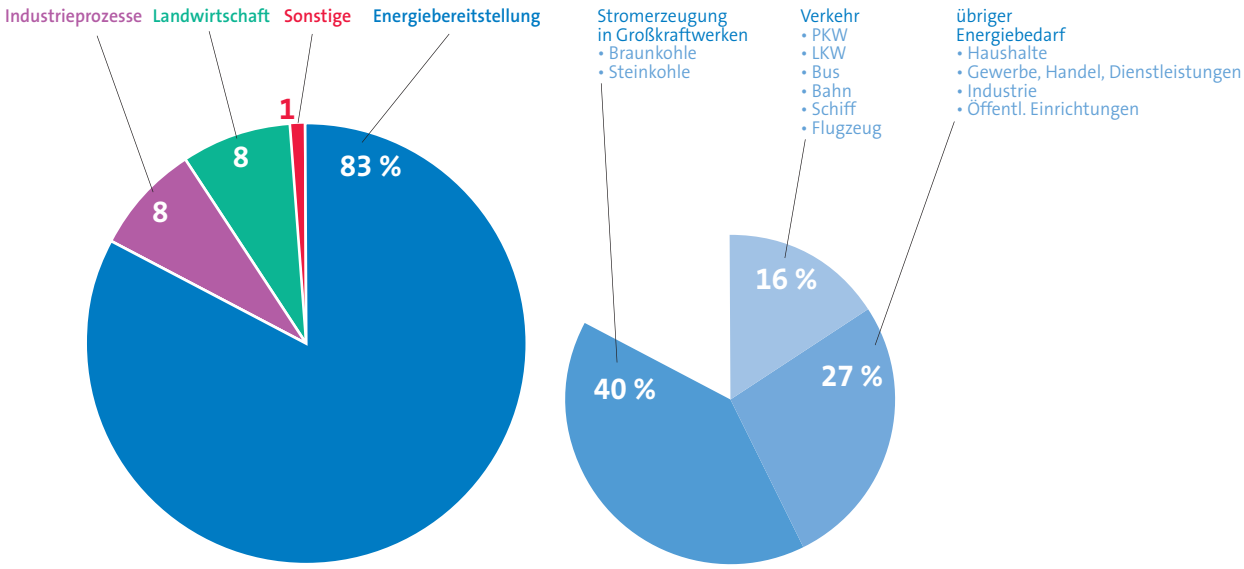
## $CO_2$-Footprint

Für jegliche industriell hergestellten oder landwirtschaftlichen Produkte und Güter sowie für Dienstleistungen lässt sich eine Treibhausgasbilanz aufstellen, genannt $CO_2$-Fußabdruck oder carbon footprint, angelehnt an den „Spuren", die hinterlassen werden. Dieser Wert lässt eine Vergleichbarkeit von Produkten, Gütern und Dienstleistungen hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit zu, was bei Kaufentscheidungen Hilfestellung leisten kann. Addiert man die $CO_2$-Bilanzen sämtlicher Produkte und Dienstleistungen, die eine Person über ein Jahr nutzt, erhält man den persönlichen $CO_2$-Fußabdruck, mit dessen Hilfe man sich mit anderen vergleichen kann.

11 Treibhausgasausstoß nach Sektoren

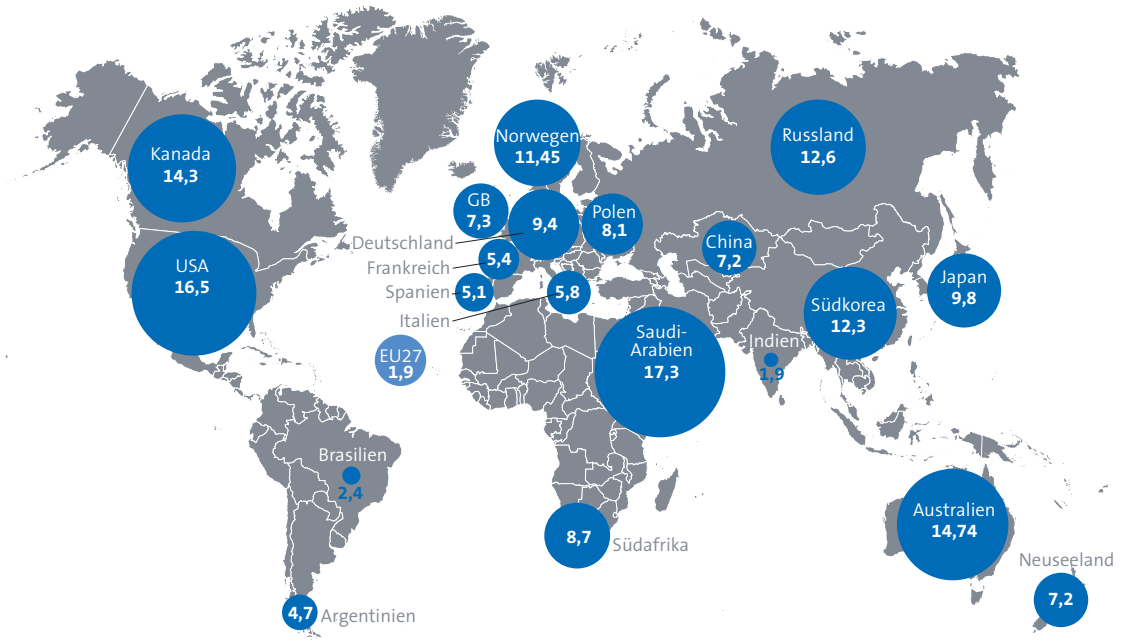
**Strom, Wärme und Verkehr – das sind die Hauptursachen für die Treibhausgasemissionen. Moderne, effiziente Kraftwerke, Heiztechnologien und Verkehrsmittel müssen daher die Lösung sein.**



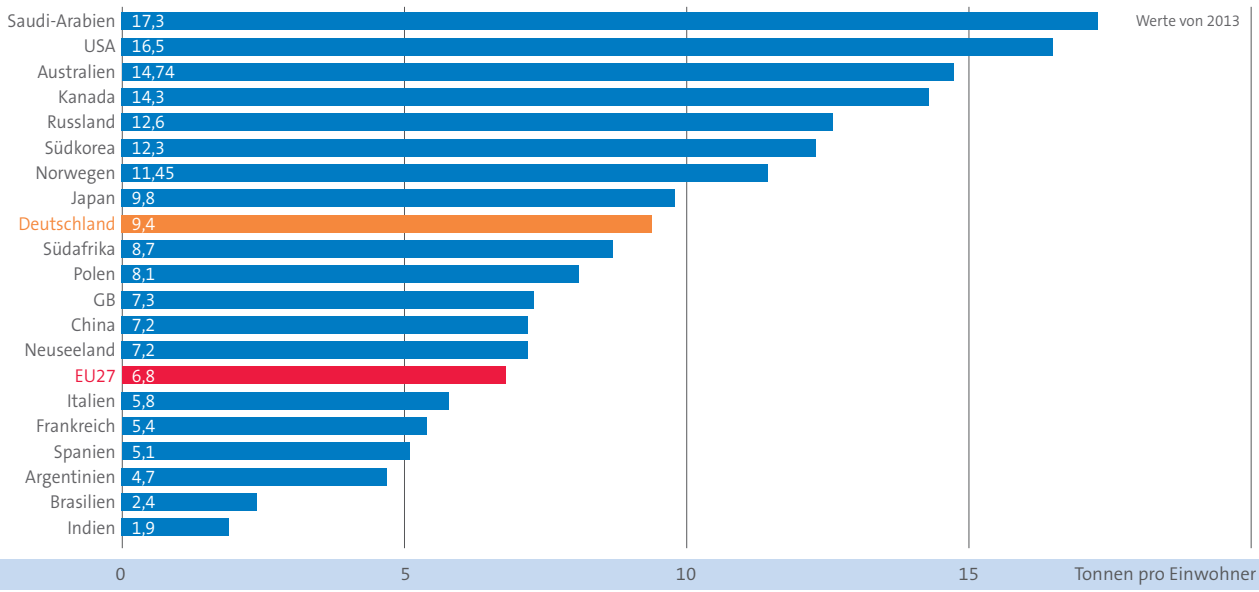
## 12 $CO_2$-Emissionen pro Kopf in Tonnen in 2013

**Für die Berechnung des Carbon Footprint werden alle Emissionen über den gesamten Lebenszyklus erfasst: von der Beschaffung der benötigten Materialien und der Herstellung z. B. mit Maschinen, die Energie benötigen, über den Transport in LKWs oder auf Containerschiffen sowie dem Gebrauch, der möglicherweise Strom benötigt, bis zur Entsorgung.**




## 13 Treibhausgasemissionen im europäischen Vergleich

**Deutschland liegt mit seinem Pro-Kopf-Ausstoß über dem europäischen Durchschnitt.**



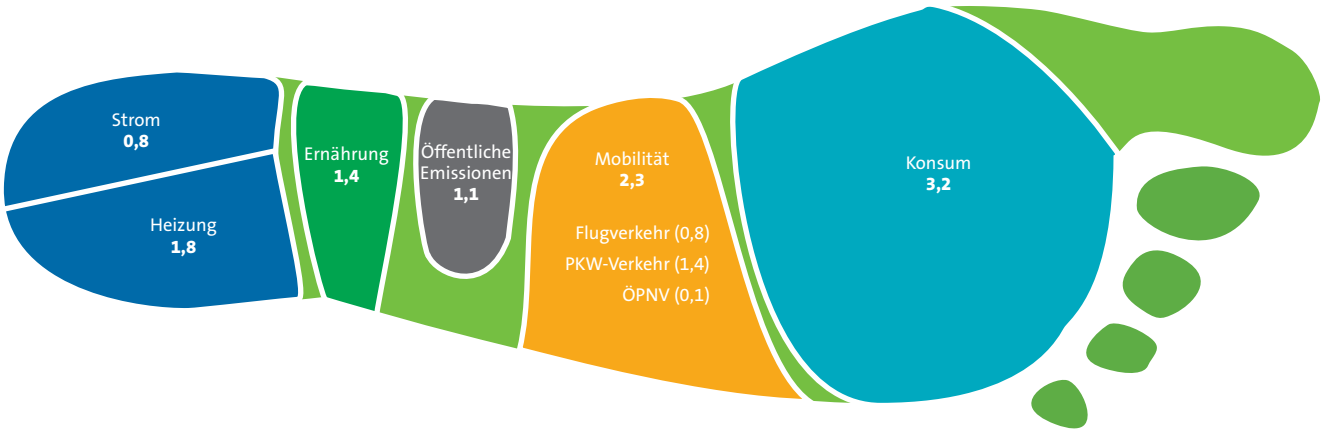
Der durchschnittliche $CO_2$-Fußabdruck in Deutschland liegt derzeit bei ungefähr 11 Tonnen $CO_2$-Äquivalente pro Kopf und pro Jahr. Damit steht Deutschland im Vergleich zu den USA mit über 17 Tonnen und einigen anderen Industrienationen zwar gut da, doch im EU-Vergleich sieht es weniger gut aus: Der Durchschnitt liegt bei 9,1 Tonnen.

Das Umweltbundesamt gibt einen Durchschnittswert von 2,5 Tonnen $CO_2$ pro Kopf und pro Jahr an, den es als noch verträglich für das Klima erachtet, was deutlich unter dem deutschen Wert liegt.

## Klimaschutzmaßnahmen der Bundesregierung

Umweltbewusstsein hat in Deutschland inzwischen eine lange Tradition und auch das Bewusstsein für Klimaschutz ist über alle Gesellschaftsteile tief verankert. Trotzdem ist der durchschnittliche deutsche $CO_2$-Fußabdruck im internationalen Vergleich noch sehr hoch. Dies liegt vor allem am hohen Anteil der Kohle in der Stromerzeugung und anderen Bereichen, in denen privates Engagement für mehr Klimaschutz nicht immer ausreicht. Hier werden zusätzliche Impulse aus der Politik benötigt. Ein anschauliches Beispiel hierfür ist die Heizung, die je nach Alter, eingesetztem Brennstoff und eingesetzter Technologie sehr unterschiedliche $CO_2$-Emissionen abgibt. Ein Austausch des alten Ölkessels wird aber nicht der Mieter selbst vornehmen, sondern muss durch den Eigentümer geschehen. Die Politik ist im Gegenzug dafür verantwortlich, entsprechende Anreize für solche Klimaschutzmaßnahmen zu schaffen. Offiziell hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, den Treibhausgasausstoß bis 2020 um 40 % und bis 2050 um 80 % gegenüber 1990 zu reduzieren.

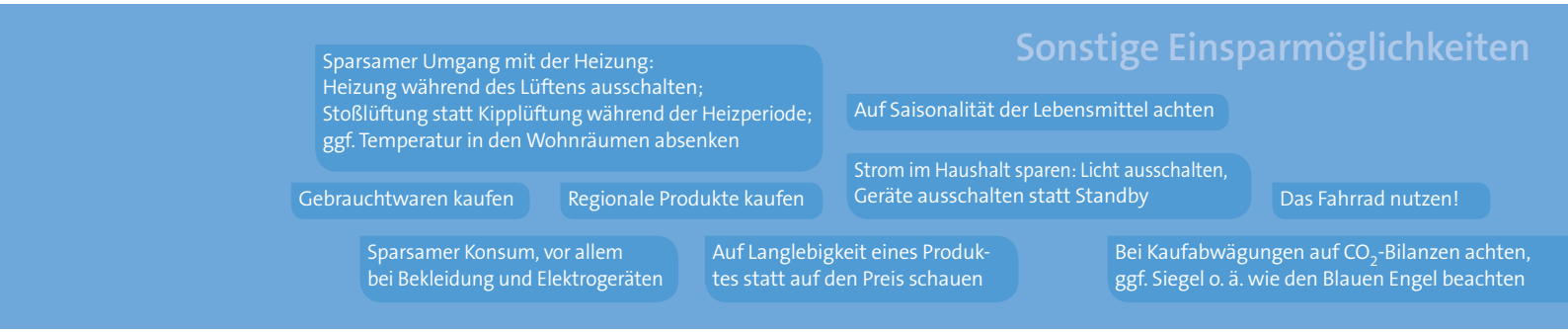
14 Zusammensetzung des $CO_2$-Footprints (in t $CO_2$)



## Energiewirtschaft

Die Strom- und Wärmeerzeugung in Kraftwerken macht den größten Teil der Treibhausgasemissionen in Deutschland aus, daher müssen in diesem Sektor die umfassendsten Maßnahmen getroffen werden. Grundlegendes Prinzip ist die sukzessive Substitution von fossilen Brennstoffen mit erneuerbaren Energiequellen, da bei deren Nutzung keine Treibhausgase entstehen. Bis zum Jahr 2050 soll ihr Anteil auf 80 % steigen. Bei den verbleibenden konventionellen Kraftwerken sollen vor allem die effizienten Technologien zum Einsatz kommen. Dazu soll der Anteil der besonders effizienten Kraft-Wärme-Kopplung bis 2020 auf 25 % erhöht werden und schrittweise gasbasierte Technologien gegenüber kohlebefeuerten Anlagen bevorzugt werden. In Blockheizkraftwerken, Gas- und Dampfkraftwerken und Brennstoffzellen werden hohe Wirkungsgrade erzielt, wodurch Brennstoff eingespart werden kann. Außerdem entstehen beim Einsatz von Erdgas wegen des niedrigeren Emissionsfaktors bei gleicher Energiemenge weniger Treibhausgase als bei der Verbrennung von Kohle oder Erdöl. Damit die Stromnetze auch mit Erneuerbaren Energien weiterhin über Angebot und Nachfrage stabil gehalten werden können, werden außerdem die Speichertechnologien gefördert.

15 $CO_2$-Emissionen und mögliche Einsparungen in t $CO_2$




| Beispiele für $CO_2$-Emissionen (Tonnen $CO_2$) | | Möglichkeiten für $CO_2$-Einsparungen | |
|---|---|---|---|
| Durchschnittlicher Jahres-Stromverbrauch 3-Personen-Haushalt | 2,1 | Ökostromtarif abschließen | -1,9 |
| | | Kühlschrank der Effizienzklasse A mit A++ ersetzen | -0,06 |
| Einfacher Flug Berlin-München | 0,21 | Stattdessen einfache Fahrt mit dem Zug | -0,19 |
| Hin- und Rückflug Frankfurt-New York | 3,9 | Hin- und Rückflug Berlin-Mallorca | -2,9 |
| | | Urlaubsziel in der Nähe wählen | -3,8 |
| Langstreckenfahrt mit dem Pkw (500 km) | 0,1 | Stattdessen einfache Fahrt mit dem Zug | -0,09 |
| Durchschnittliche Pkw-Jahresleistung (15.000 km) | 3,6 | Nutzung von Car-Sharing | -1,2 |
| | | Nutzung von ÖPNV | -2,6 |
| Jahresverbrauch Ölkessel | 4,8 | Neue Gas-Brennwert-Therme | -1,8 |
| Jahresverbrauch Niedertemperatur-Gaskessel | 3,4 | Einsatz einer Gaswärmepumpe | -1,0 |

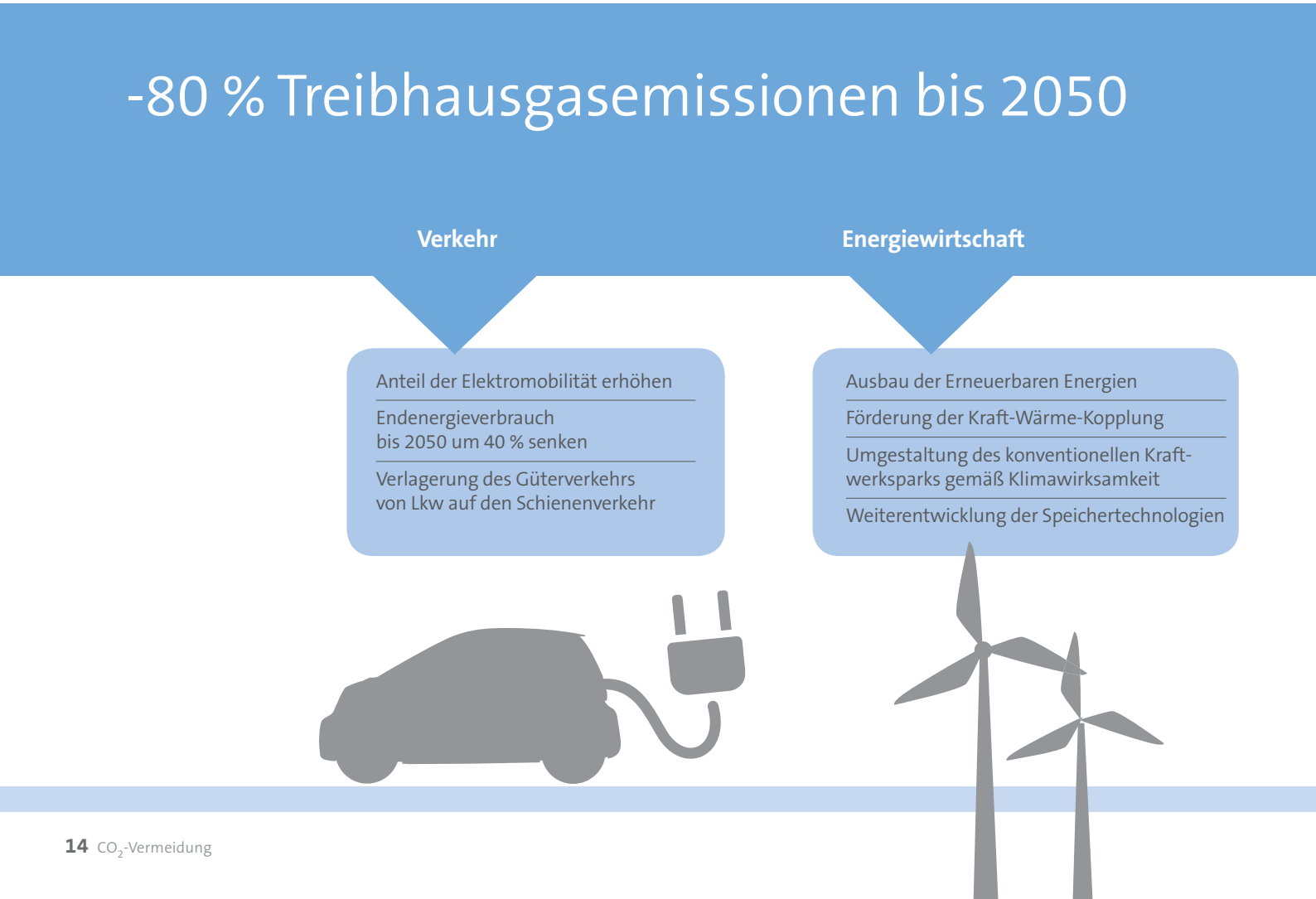
Quelle der Daten: http://www.die-stromsparinitiative.de und http://uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de_DE/page/

## Wärmemarkt

Neben der klimaeffizienten Bereitstellung in Kraftwerken muss Energie auch effizient beim Endverbraucher genutzt werden, denn dann muss weniger Energie überhaupt erst bereitgestellt werden. Wichtigster Bereich ist hier der Wärmebedarf in Gebäuden, also welche Mengen Heizenergie aufgrund von mangelhafter Anlageneffizienz oder unzureichender Isolierung verloren gehen. Im besten Fall wird ein Gebäude beim Bau bereits klimaeffizient ausgelegt, was mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) zu einem gewissen Teil für Hausbauer bereits verpflichtend ist. Jedoch ist der Anteil von Neubauten gegenüber Bestandsgebäuden deutlich geringer. In Bestandsgebäuden können nicht alle Eigentümer zu energetischen Sanierungen verpflichtet werden, daher gibt es zahlreiche Förderprogramme und andere Vorschriften, Gebäude im Rahmen einer Sanierung klimaeffizienter zu gestalten.

Zusätzlich lassen sich ähnlich wie bei Kraftwerken Einsparungen dadurch erzielen, dass die eingesetzten Brennstoffe substituiert werden, z. B. Heizwärme und Warmwasser mit gasbasierten, effizienten Technologien oder über erneuerbare Energien zur Verfügung gestellt werden. Insgesamt soll auf diese Weise bis 2050 der Primärenergiebedarf der Gebäude um 80 % gegenüber 2008 gesenkt werden.

16 Einsparungen von Treibhausgasemissionen bis 2050



## Verkehr

Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor entstehen fast ausschließlich durch die Verbrennungsmotoren der Fahrzeuge. Grundsätzliche Möglichkeiten zur Einsparung von Treibhausgasemissionen bestehen auch hier in der Substitution der eingesetzten Brennstoffe, z. B. durch Einsatz von Erdgasmotoren, wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen oder durch Elektroantriebe. Erdgas und Wasserstoff sind aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften klimafreundlicher als Erdöl. Bei der Elektromobilität hängt die Klimaeffizienz davon ab, wie der benötigte Strom erzeugt wird. Im ungünstigen Fall würden sich damit die Emissionen des Verkehrssektors in den Sektor der Energiewirtschaft verlagern. Für eine gute Klimabilanz der Elektromobilität muss also gleichzeitig auch während der Stromerzeugung eine gute Klimaeffizienz erreicht werden. Insgesamt soll der Anteil der Elektrofahrzeuge bis 2020 auf eine Million erhöht werden.

Weitere Einsparungen sind auch durch technologische Verbesserungen der Motoren der Fahrzeughersteller möglich, so dass diese weniger Treibhausgase bei gleicher Fahrleistung ausstoßen. Zu solchen Effizienzsteigerungen bei neuen Fahrzeugmodellen werden die Hersteller teilweise verpflichtet. Insgesamt soll so 10 % des Endenergieverbrauchs im Verkehr bis 2020 gegenüber 2005 eingespart werden.

Großes Potenzial besteht zudem im öffentlichen Personennahverkehr, da hier verhältnismäßig viele Personen mit wenig Aufwand befördert werden können und häufig innovative, klimafreundliche Antriebstechnologien zum Einsatz kommen. Der Ausbau der entsprechenden Infrastruktur sowie auch die Förderung des Radverkehrs sind daher wichtige Maßnahmen. Darüber hinaus soll der Güterverkehr von Lkws auf die Schiene verlegt und der Flugverkehr in den EU-Emissionshandel mit einbezogen werden.

### Wärmemarkt

Nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050

Anteil der Erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch ausbauen

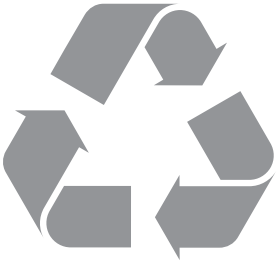
### Klimapolitik

Internationales, umfassendes Klimaschutzabkommen für die Zeit ab 2020

Effektivität des EU-Emissionshandels mit Strukturreformen erhöhen

### Übrige Emissionen

THG-Emissionen in der Land- und Abfall- und Kreislaufwirtschaft reduzieren sowie den Einsatz von F-Gasen reduzieren



## Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz

In den einzelnen Sektoren sind zwar bereits Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs enthalten, trotzdem hat die Bundesregierung zur Förderung der Energieeffizienz ein eigenständiges Programm erstellt, den Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE). Damit wird eine umfassende Strategie erstellt, um bis 2020 den Primärenergiebedarf über alle Sektoren um 20 % gegenüber 2008 zu reduzieren. Auf diese Weise sollen v. a. die Gebäudeeffizienz verbessert, sowie die Energieeffizienz als Renditemodell für Unternehmen etabliert werden.

## Europäische und internationale Klimapolitik

Auf internationaler Ebene setzt Deutschland sich für ein Nachfolgeabkommen für das auslaufende Kyoto-Protokoll ab 2020 ein. Für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und einige weitere Staaten besteht bereits ein Emissionshandelssystem zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in der gesamten Europäischen Union. Die Wirkung dieses Instruments bleibt allerdings aufgrund einiger unvorhergesehener Entwicklungen hinter seinen Erwartungen zurück, daher setzt Deutschland sich zusätzlich für umfassende, ambitionierte Strukturreformen des Emissionshandelssystems ein.

**17** Maßnahmenwolke

**Der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz umfasst eine Vielzahl an verschiedenen Maßnahmen über alle Sektoren, um die Energieeffizienz voranzutreiben. Einige sind bereits in Kraft getreten, andere laufen in naher Zukunft an und einige befinden sich noch in der Planung bzw. Diskussion.**

## Landwirtschaft

In der Landwirtschaft entstehen direkte Treibhausgasemissionen vor allem aufgrund des Düngemitteleinsatzes und der Tierhaltung. Darüber hinaus führen Landschaftsänderungen zu Treibhausgasemissionen, z. B. der Umbruch und die Umwandlung von Mooren und Dauergrünland in Ackerland. Hier sollen Maßnahmen für weniger Düngeeinsatz und Erhalt von Grünflächen für Verbesserungen sorgen.

## Abfall- und Kreislaufwirtschaft

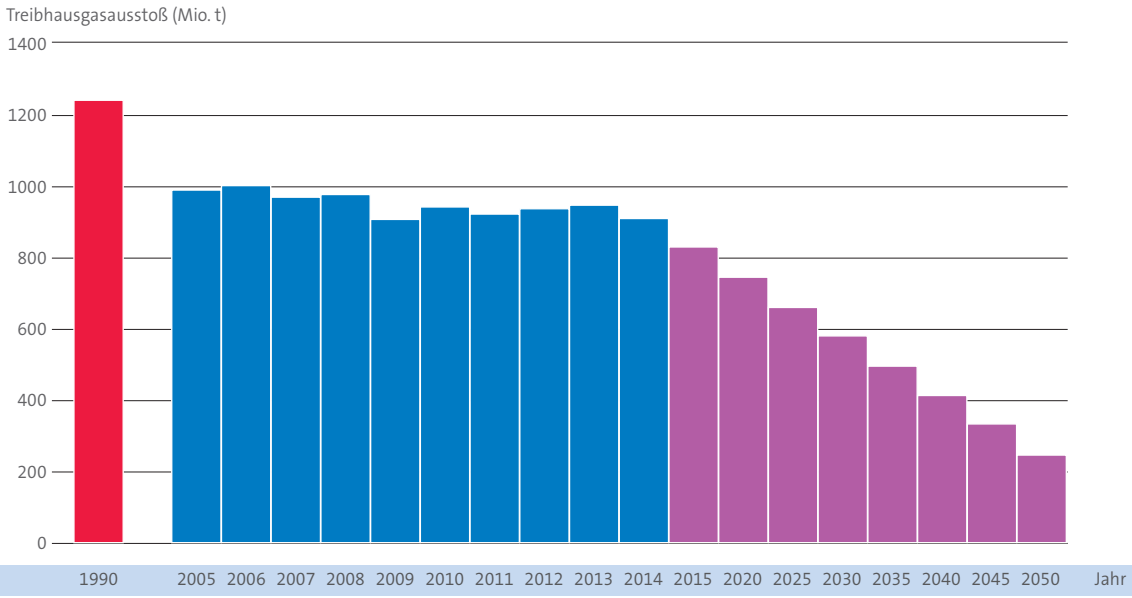
Treibhausgasemissionen können vermieden werden, wenn Produkte lange genutzt werden, also z. B. repariert statt entsorgt oder stattdessen recycelt werden. Hilfreich hierbei ist die Mülltrennung, v. a. in der Wertstofftonne. Ebenso bietet es sich an, Produkte gemeinsam zu nutzen, wie es beim Car-Sharing der Fall ist, was aber auch in anderen Bereichen, z. B. bei Werkzeugen, möglich ist. Auf diese Weise müssen weniger Produkte hergestellt werden. Werden Produkte entsorgt, können Einsparungen zusätzlich erzielt werden, indem vorhandene Deponien belüftet werden, denn dann produzieren die Mikroorganismen in den Deponien kein klimaschädliches Methan.

## F-Gase

Fluorierte Treibhausgase kommen z. B. in Klimaanlagen und Kältemaschinen zum Einsatz. Sie sollen in der EU bis 2030 auf 35 Mio. Tonnen $CO_2$-Äquivalente reduziert werden.

**18** Verlauf der Treibhausgaseinsparungen

**Gegenüber dem Referenzjahr 1990 konnten mit den Klimaschutzmaßnahmen der Bundesregierung bereits Erfolge erzielt werden. Ein großer Teil der Einsparungen geht allerdings auf die Stilllegung alter Braunkohlekraftwerke nach der deutschen Wiedervereinigung zurück. In den letzten zehn Jahren fielen die Einsparungen dagegen deutlich geringer aus. Damit das Ziel für 2050 erreicht werden kann, sind in Zukunft große Schritte nötig. Deutschland gehört nach wie vor zu den weltweit größten Treibhausgasemittenten und belegt nach China, USA, Indien, Russland und Japan den sechsten Platz.**



# 5 $CO_2$-Vermeidungskosten

Aus dem vorangegangenen Kapitel zu den aktuellen Maßnahmen der Bundesregierung zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz wird ersichtlich, dass es zahlreiche Möglichkeiten gibt, Treibhausgase einzusparen. Die dargestellten Tabellen geben dabei nur einen Überblick über die wichtigsten Maßnahmen, daneben gibt es noch zahlreiche weitere. Bei einer solchen Vielzahl an Möglichkeiten stellt sich zwangsläufig die Frage, welche die effektivsten Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen sind. Ein aussagekräftiges Instrument zur Beurteilung von Klimaschutzmaßnahmen ist das Konzept der $CO_2$-Vermeidungskosten, welches die Kosteneffizienz von Maßnahmen berücksichtigt. Wird eine Technologie durch eine emissionsärmere ersetzt, fallen dabei in der Regel Mehrkosten in Form von Investitions- und Betriebskosten an. Diese Kosten lassen sich ins Verhältnis zur Menge der eingesparten Treibhausgasemissionen setzen, wodurch sich ein Kosten-Nutzen-Verhältnis ergibt. Somit lassen sich verschiedene Technologien miteinander vergleichen und es kann diejenige Technologie ermittelt werden, die Treibhausgase am wirtschaftlichsten einsparen lässt.

**Beispiel-Rechnung** Ein einfaches Beispiel für $CO_2$-Vermeidungskosten ist die Anschaffung eines neuen Pkws. Die Mehrkosten für die Anschaffung werden unter Berücksichtigung des niedrigeren Benzinverbrauchs und der niedrigeren $CO_2$-Werte dem alten Pkw gegenüber gestellt.

Für die Weiternutzung des bisherigen Pkw entstünden jährliche Kosten für Benzin. Bei einer Jahresfahrleistung von 10.000 km und einem Kraftstoffverbrauch von 8 l/100 km ergeben sich bei einem Benzinpreis von 140 Cent/l Kosten in Höhe von 1.120 €/a. Bei durchschnittlichen $CO_2$-Emissionen von 190 g/km werden dabei jährlich 1.900 kg $CO_2$ ausgestoßen. Für den Neuwagen würden dagegen zunächst Mehrkosten von beispielsweise 25.000 € anfallen, woraus sich bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von zehn Jahren eine Abschreibung in Höhe von 2.500 € pro Jahr ergibt. Hinzu kommen die Kraftstoffkosten in Höhe von 840 €/a, die aufgrund des niedrigeren Verbrauchswerts von z. B. 6 l/100 km niedriger ausfallen. Insgesamt ergeben sich somit Gesamtkosten von 3.340 € pro Jahr, also 2.220 € pro Jahr zusätzlich gegenüber der Weiternutzung des alten Pkw. Die $CO_2$-Emissionen reduzieren sich bei einem ebenfalls besseren Emissionsfaktor von beispielsweise 140 g/km auf 1.400 kg $CO_2$. Es lassen sich also zu den Mehrkosten von 2.220 €/a eine $CO_2$-Menge von 250 kg $CO_2$ pro Jahr einsparen.

**Warum die $CO_2$-Vermeidungskosten ein sinnvolles Instrument sind:** In privatwirtschaftlichen Unternehmen werden – im Gegensatz zur Umweltpolitik – Entscheidungen seit jeher auf ihre ökonomische Effizienz hin untersucht. In der Politik dagegen sind häufig andere Einflussfaktoren maßgeblich und die Kosteneffizienz tritt in den Hintergrund. Für effektiven Klimaschutz ist dieser Umstand allerdings hinderlich, denn so werden Gelder und Mittel für uneffektive oder sehr teure Maßnahmen verwendet. Dabei können die Instrumenten mit den geringsten $CO_2$-Vermeidungskosten am schnellsten und häufigsten umgesetzt werden und führen somit zu unmittelbaren Klimaschutzerfolgen.

**Bei einer Jahresfahrtleistung von 10.000 km und einem Benzinpreis von 140 Cent/l**

| | Weiternutzung des alten Pkw | Neuwagen | Besonders sparsamer Neuwagen |
|---|---|---|---|
| Investitionskosten (€) | 0 | 25.000 | 32.000 |
| Nutzungsdauer (Jahre) | 5 | 10 | 10 |
| Jährliche Abschreibung (€/a) | 0 | 2.500 | 3.200 |
| Benzinverbrauch (l/100 km) | 8 | 6 | 5 |
| Benzinkosten (€/a) | 1.120 | 840 | 700 |
| Jährliche Gesamtkosten (€/a) | 1.120 | 3.340 | 3.900 |
| $CO_2$-Emissionsfaktor (g/km) | 190 | 140 | 120 |
| $CO_2$-Ausstoß (kg $CO_2$) | 1.900 | 1.400 | 1.200 |
| $CO_2$-Vermeidungskosten | | $\frac{2.220\ €/a}{500\ kg_{CO_2}} = 8{,}88\ €/kg_{CO_2}$ | $\frac{560\ €/a}{200\ kg_{CO_2}} = 2{,}8\ €/kg_{CO_2}$ |

## Emissionsfaktoren und Wirkungsgrade beeinflussen die $CO_2$-Vermeidungskosten

Die $CO_2$-Vermeidungskosten setzen sich aus den Kosten und den Treibhausgasemissionen einer Technologie zusammen. Die Menge der Treibhausgasemissionen hängt bei Kraftwerken zur Stromerzeugung sowie bei Heizungen zur Wärmebereitstellung in Haushalten von den zwei Faktoren Wirkungsgrad und $CO_2$-Emissionsfaktor des eingesetzten Brennstoffs ab. Je höher der Wirkungsgrad, desto mehr Strom oder Wärme kann aus dem Brennstoff gewonnen werden. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass zur Gewinnung der gleichen Menge Strom bei einem höheren Wirkungsgrad weniger Brennstoff verbrannt werden muss, wodurch weniger Treibhausgase freigesetzt werden.

Noch stärker hängen die Treibhausgasemissionen allerdings von der Wahl des Energieträgers ab, denn die Menge an freigesetztem $CO_2$ bei der Verbrennung ist von der chemischen Zusammensetzung des Energieträgers abhängig. Dieser Zusammenhang drückt sich im sog. $CO_2$-Emissionsfaktor aus, der die Höhe des $CO_2$-Ausstoßes des Brennstoffeinsatzes angibt.

Braun- und Steinkohle haben den größten $CO_2$-Ausstoß, gefolgt von Erdöl. Erdgas hat von den fossilen Brennstoffen den geringsten $CO_2$-Ausstoß. Nur Holz und andere biogene Brennstoffe haben deutlich bessere Werte bzw. nahezu keine $CO_2$-Emissionen. Dies liegt darin begründet, dass bei der Verbrennung von Biomasse nur die Mengen an $CO_2$ freigesetzt werden, die vorher im Holz oder im Pflanzenzellstoff enthalten waren und wieder gebunden werden, wenn der Baum oder die Pflanze nachwächst.

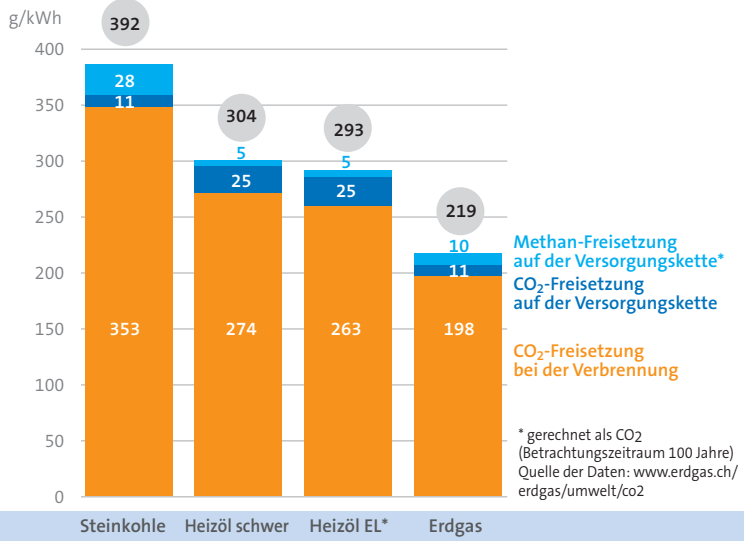
### 19 Emissionsfaktor

Wie hoch der $CO_2$-Ausstoß bei der Verbrennung ist, hängt vom Energieträger ab und wird vom Emissionsfaktor beschrieben. Dieser kann gewichts- oder volumenbezogen angegeben werden, zur besseren Vergleichbarkeit der Energieträger bietet sich allerdings die Umrechnung in $CO_2$ pro Energieinhalt des Brennstoffs an. Von den fossilen Brennstoffen hat Erdgas den niedrigsten $CO_2$-Emissionsfaktor pro eingesetzte Energiemenge. Zur endgültigen Bewertung der $CO_2$-Emissionen muss aber auch betrachtet werden, welche Mengen Brennstoff für die gewünschte Energie eingesetzt werden muss, also der Wirkungsgrad der Anlage.

| Brennstoff | Emissionsfaktor [$gCO_2$/kWh Energieeinsatz] |
|---|---|
| Braunkohle | 404 |
| Steinkohle | 339 |
| Heizöl | 272 |
| Benzin | 262 |
| Diesel | 249 |
| Flüssiggas | 231 |
| Erdgas | 202 |
| Holz | 5 |
| Biokraftstoff | 4 |

### 20 Freisetzung von Kohlendioxid und Methan

bei der Nutzung fossiler Energieträger in g/kWh Brennstoffeinsatz

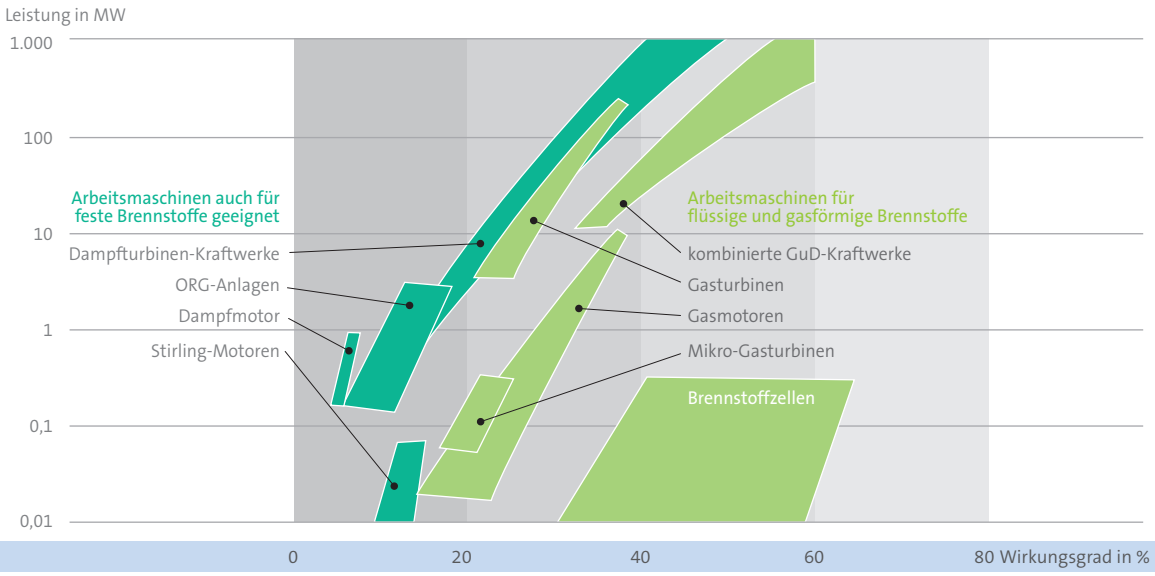


## Klimaschonende Kraftwerke und Heizungen auf Erdgas-Basis

Erdgas kommt damit beim Thema Klimaschutz eine besondere Rolle zu. Zwar ist es für sich genommen ein starkes Treibhausgas und sollte daher nicht unverbrannt in die Erdatmosphäre gelangen. Bei der Verwendung als Brennstoff in Kraftwerken, Heizkesseln oder Motoren wird das Erdgas allerdings vollständig in $CO_2$ und Wasserdampf umgewandelt, welches weniger treibhauswirksam ist. Aufgrund der hohen Wirkungsgrade von gasbasierten Technologien und des zusätzlich vorteilhaften $CO_2$-Emissionsfaktors ist Erdgas häufig eine kostengünstige $CO_2$-Vermeidungsoption, da mit einem Brennstoffwechsel große Mengen $CO_2$ eingespart werden können. Darüber hinaus bestehen für alle Sektoren ausgereifte, effiziente Technologien, die auf dem Einsatz von Erdgas basieren: GuD-Kraftwerke zur Stromerzeugung, Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen zur gekoppelten Strom- und Wärmeversorgung, Erdgas-Brennwertheizungen oder Erdgas als Kraftstoff für Pkw. Zu diesem Ergebnis kommt auch eine Untersuchung des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln (EWI), in der die Potenziale von Erdgas als $CO_2$-Vermeidungsoption untersucht wurden. Die Untersuchung findet dabei in den drei Sektoren Strom, Wärme und Pkw statt.

### 21 Wirkungsgradvergleich in der Stromerzeugung

**Die höchsten Wirkungsgrade in Kraftwerken zur Stromerzeugung lassen sich in Gas- und Dampf-Kraftwerken und Brennstoffzellen realisieren. Der Anteil dieser beiden effizienten Technologien an der momentanen Stromerzeugung ist allerdings gering und es kommen vor allem Dampfturbinenkraftwerke auf Kohle-Basis zum Einsatz.**



# 6 $CO_2$-Vermeidungskosten im Strommarkt

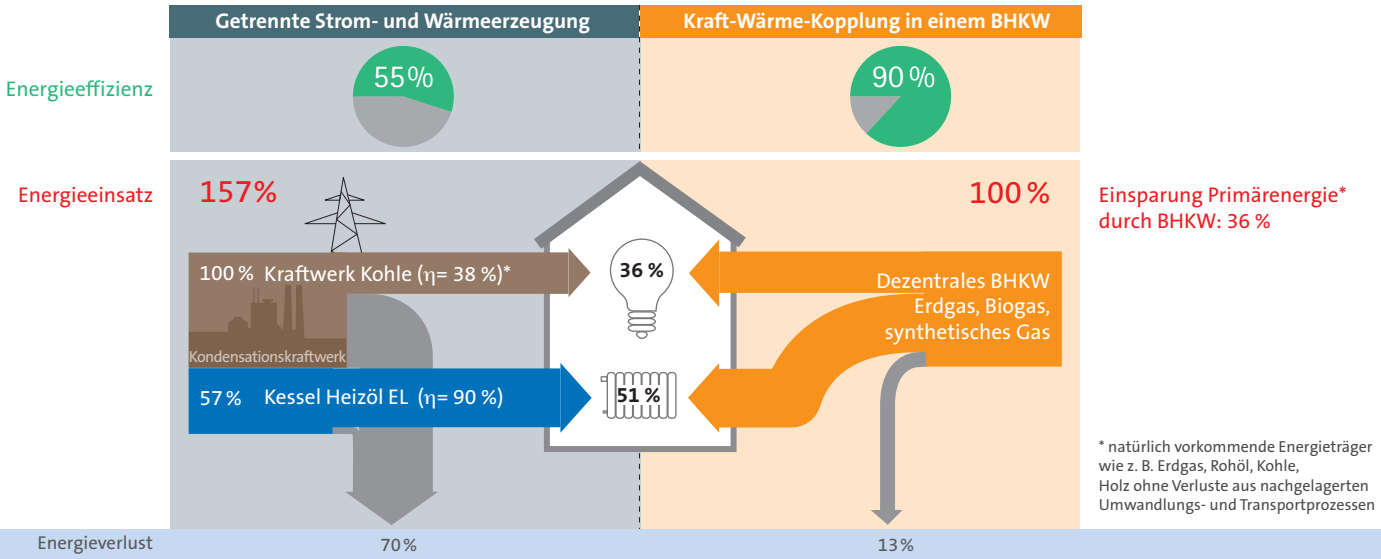
## Effiziente Stromerzeugung mit Erdgas-Kraftwerken

Moderne Gas- und Dampfkraftwerke nutzen Erdgas als Brennstoff und gehören zu den effizientesten Kraftwerken zur Stromerzeugung. Sie erreichen Wirkungsgrade um 60 %, während heutige Steinkohlekraftwerke maximal 45 % erreichen, Braunkohlekraftwerke noch etwas weniger. Das bedeutet, dass sie für die gleiche Menge Strom weniger Brennstoff einsetzen müssen. Der Brennstoff selbst – Erdgas – emittiert zusätzlich weniger Treibhausgase bei der Verbrennung. Es lassen sich somit also gleich doppelt Treibhausgase einsparen. Als zusätzliche Stärke sind sie im Gegensatz zu Atom- und Kohlekraftwerken sehr flexibel einsetzbar und somit eine hervorragende Ergänzung der Erneuerbaren Energien, deren Stromerzeugung abhängig vom Wetter ist und damit stark schwanken kann.

Trotz dieser Vorteile ist die Stromerzeugung aus Gaskraftwerken in Deutschland in den letzten Jahren rückläufig. Dies liegt einerseits an den Brennstoffpreisen, da sich Kohle in den letzten Jahren durch ein Überangebot gegenüber Erdgas verbilligt hat. Außerdem spielen die $CO_2$-Zertifikatskosten bei niedrigen Strompreisen eine Rolle. Die Betreiber von Kohlekraftwerken müssen aufgrund des höheren $CO_2$-Emissionsfaktors deutlich mehr $CO_2$-Zertifikate für ihre Kraftwerke erwerben als Betreiber von Gaskraftwerken. Da sich allerdings der Preis für die $CO_2$-Zertifikate seit einigen Jahren auf einem sehr niedrigen Niveau befindet, hat sich der Kostenvorteil der Kohlekraftwerke noch vergrößert.

22 Kraft-Wärme-Kopplung im Vergleich mit getrennter Strom- und Wärmeerzeugung

**In herkömmlichen Großkraftwerken wird in der Regel ausschließlich Strom produziert, die technisch bedingt anfallende Wärme bleibt dagegen ungenutzt. In meist kleineren Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen wie z. B. Blockheizkraftwerken können hingegen Strom und Wärme gleichzeitig bereitgestellt werden, wodurch sich ein hoher Gesamtwirkungsgrad ergibt, was große Mengen $CO_2$ einsparen lässt.**



## Strommix zur $CO_2$-Reduktion

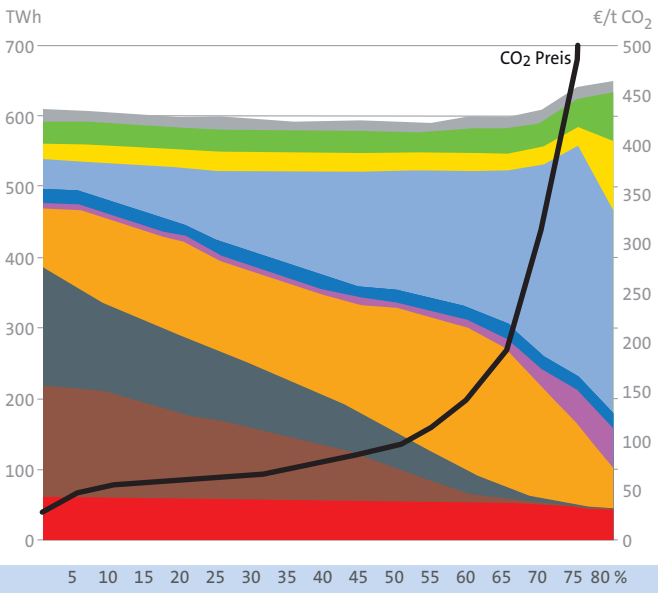
Wenn sich die unvorteilhafte Zusammensetzung des Kraftwerksmix in Deutschland nicht ändert, müssen die Treibhausgasemissionen auf sehr teure Weise eingespart werden. Das Energiewirtschaftliche Institut der Universität Köln kommt zu dem Ergebnis, dass Erdgas eine kostengünstige Option ist, große Mengen Treibhausgase im Kraftwerkssektor einzusparen. Die dargestellten Abbildungen fassen die Ergebnisse der Studie zusammen: Aus ihnen sind die Anteile der jeweiligen Kraftwerke an der Bruttostromerzeugung ersichtlich, je nachdem, welches Treibhausgas-Einsparziel erreicht werden soll. Der dargestellte Kurvenverlauf mit den zugehörigen Werten auf dem rechten Achsenabschnitt gibt Aufschluss darüber, wie hoch die $CO_2$-Vermeidungskosten sind, in Abhängigkeit davon, wie viele Treibhausgase bereits eingespart wurden. Laut dem offiziellen Ziel der Bundesregierung sollen bis zum Jahr 2020 40 % der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Stand von 1990 eingespart werden. Aus der Abbildung ergibt sich für 40 % Treibhausgasminderung, dass weniger Strom aus Braun- und Steinkohle erzeugt werden sollte, dafür ein höherer Anteil aus Wind- und Erdgaskraftwerken. Die gelieferten Energiemengen der übrigen Kraftwerke bleiben etwa unverändert.

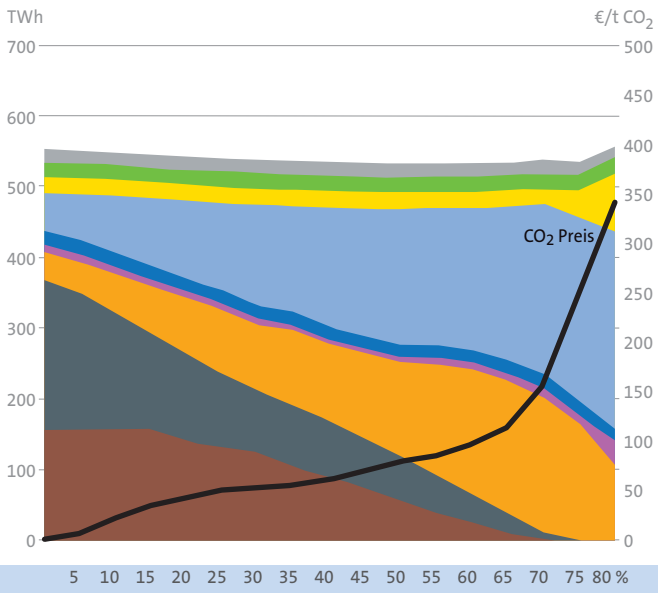
### 23 Brückentechnologie Erdgas

**Unter Kostengesichtspunkten ist der Einsatz von Erdgas-Kraftwerken als Brückentechnologie sinnvoll, da somit zu moderaten Kosten große Mengen $CO_2$ eingespart werden können. Erst für die letzten 15 % der insgesamt 80 % Treibhausgasminderung müssen dann auch Gaskraftwerke mit noch $CO_2$-sparsameren Technologien ersetzt werden.**

### 24 Brückentechnologie Erdgas Tendenz

**Auch für das Jahr 2030 zeichnet sich die gleiche Tendenz ab, wobei hier der Bereich um 55 % eingesparte Treibhausgasemissionen relevant ist, weil dies dem interpolierten Einsparziel der Bundesregierung für das Jahr 2030 entspricht. Braun- und Steinkohleverstromung nehmen weiter zugunsten von Windenergieanlagen und Erdgaskraftwerken ab. Zusätzlich fällt aufgrund des Atomausstiegs die Stromerzeugung mittels Kernenergie ab 2022 weg.**

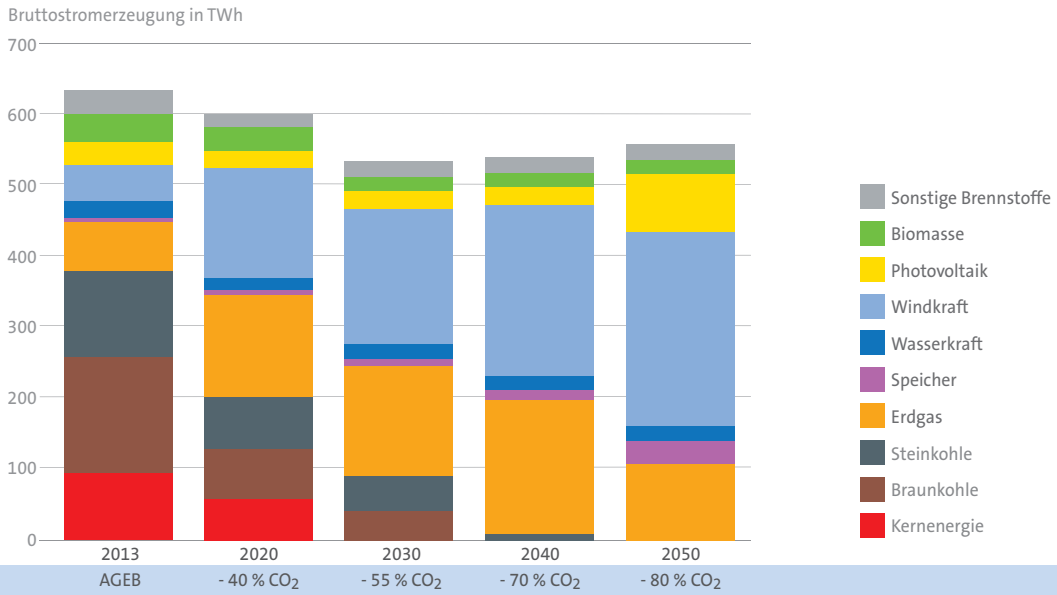


Besonders interessant ist der Verlauf der Stromerzeugung aus Photovoltaik, der erst bei sehr hohen Treibhausgasminderungen zunimmt, weil diese eine sehr teure Stromerzeugungsoption ist. Zwar benötigen Photovoltaikanlagen keinen Brennstoff, sondern können auf die kostenfreie Sonnenstrahlung zurückgreifen; der apparative Aufwand ist jedoch im Vergleich zum erzielbaren Energieertrag hoch, so dass sich insgesamt höhere $CO_2$-Vermeidungskosten als für Erdgaskraftwerke ergeben. Bei gleichem Mitteleinsatz lassen sich somit kurz- und mittelfristig mehr Treibhausgase in einem Erdgaskraftwerk einsparen als mit einer Photovoltaik-Anlage. Diese kommen erst für weitere $CO_2$-Einsparungen auf sehr hohem Niveau zum Einsatz, wenn bereits 70 % der Treibhausgase eingespart werden konnten. Die vereinfachte Darstellung zeigt den Verlauf der Anteile an der Stromerzeugung bis 2050 nach den $CO_2$-Vermeidungskosten, wenn jeweils genau das Treibhausgaseinsparziel der Bundesregierung getroffen würde. Es wird deutlich, dass der Windenergie die wichtigste Rolle zukommt. Trotzdem bedarf es bis 2040 den verstärkten Einsatz von Erdgaskraftwerken zur Herstellung der Residuallast – besonders auch in KWK-Anlagen. Erst dann werden auch diese als letzte der fossilen Kraftwerke vom Netz genommen und mit Photovoltaikanlagen ersetzt.

### 25 Entwicklung des Kraftwerksparks unter optimaler Kosteneffizienz

**Diese vereinfachte Darstellung der $CO_2$-Vermeidungskosten im Stromsektor verdeutlicht, wie sich im kostenoptimalen Fall die Mengenverhältnisse der Erzeugungstechnologien im Verlauf der notwendigen $CO_2$-Einsparungen ändern. Der Einsatz von fossilen Kraftwerken verringert sich stetig, allerdings nimmt die Bedeutung der Erdgaskraftwerke übergangsweise zu, um den schnellen Ausstieg aus den besonders klimaschädlichen Kohlekraftwerken zu ermöglichen.**



# 7 $CO_2$-Vermeidungskosten im Wärmemarkt

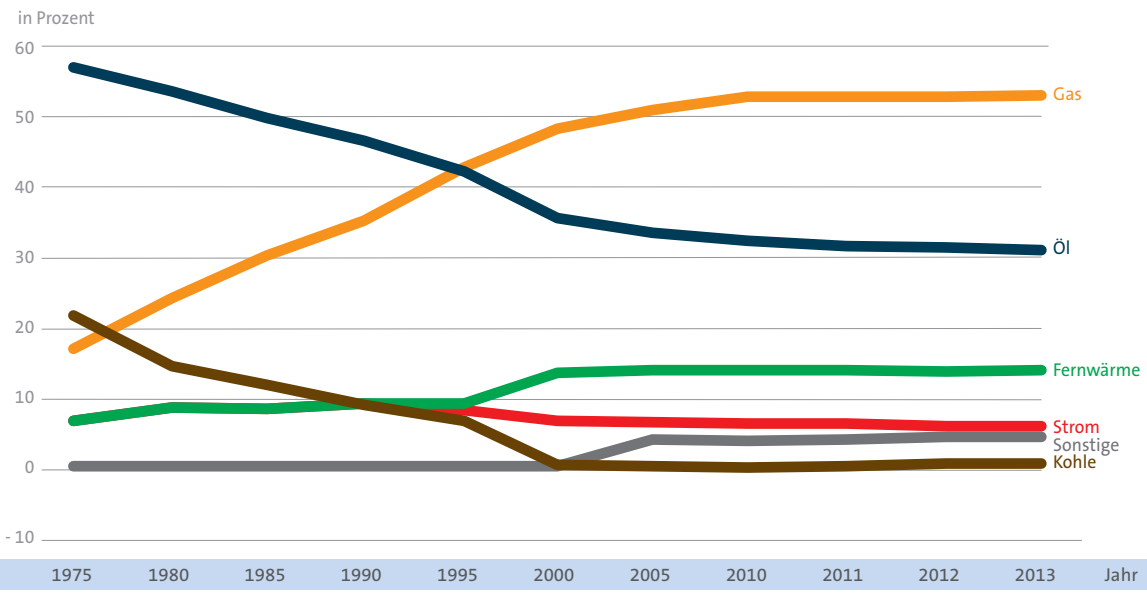
## Hohes Einsparpotenzial im Wärmemarkt

Der Wärmesektor mit den Anwendungsbereichen Raumwärme und Warmwasser ist für ca. 15 % der gesamten $CO_2$-Emissionen in Deutschland verantwortlich und stellt damit eine wichtige Stellschraube für den Klimaschutz dar. Angestrebtes Ziel der Bundesregierung in diesem Sektor ist ein klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050, was vor allem durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) vorangetrieben wird. Die EnEV gibt Energieeffizienz-Kriterien für Neubauten vor, so dass hier die verfügbaren innovativen, effizienten Technologien zum Einsatz kommen. Das EEWärmeG verpflichtet zudem, einen Teil der Wärme in Neubauten mittels Erneuerbaren Energien bereitzustellen. Während sich mit diesen Maßnahmen für Neubauten bereits gute Fortschritte erzielen lassen, zeichnet sich im Bereich der Bestandsbauten ein anderes Bild ab. Für Eigentümer gibt es fast keine Vorschriften zur Effizienz der eingesetzten Heizungstechnologien, auch dann nicht, wenn eine Anlage das Ende ihrer Lebenszeit erreicht und ohnehin ausgetauscht werden muss. Lediglich 30 Jahre alte Heizanlagen müssen nach der EnEV 2014 in der Regel ersetzt werden.

Weiterhin ist häufig der Umstand hinderlich, dass Effizienzmaßnahmen, wie z. B. ein Heiztechnologiewechsel, vom Vermieter getragen werden muss, die Einsparungen aber dem Mieter zugutekommen. Die Investitionsrate im Gebäudebestand ist folglich insgesamt niedrig und der Heizungsanlagenbestand in Deutschland im Durchschnitt vergleichsweise alt. Dementsprechend hohe $CO_2$-Vermeidungspotenziale sind daher in diesem Sektor zu finden.

26 Entwicklung der deutschen Heizungsstruktur

**Erdgas ist der am häufigsten eingesetzte Energieträger zum Heizen. Stand der Technik sind Gas-Brennwert-Heizungen, die nicht nur den Heizwert, sondern auch den Brennwert des Brennstoffs nutzen können und damit sehr hohe Wirkungsgrade erzielen. Je höher der Wirkungsgrad, desto geringer der $CO_2$-Ausstoß, da weniger Brennstoff eingesetzt werden muss.**



## Effiziente Heiztechnologien sind für den Klimaschutz unabdingbar

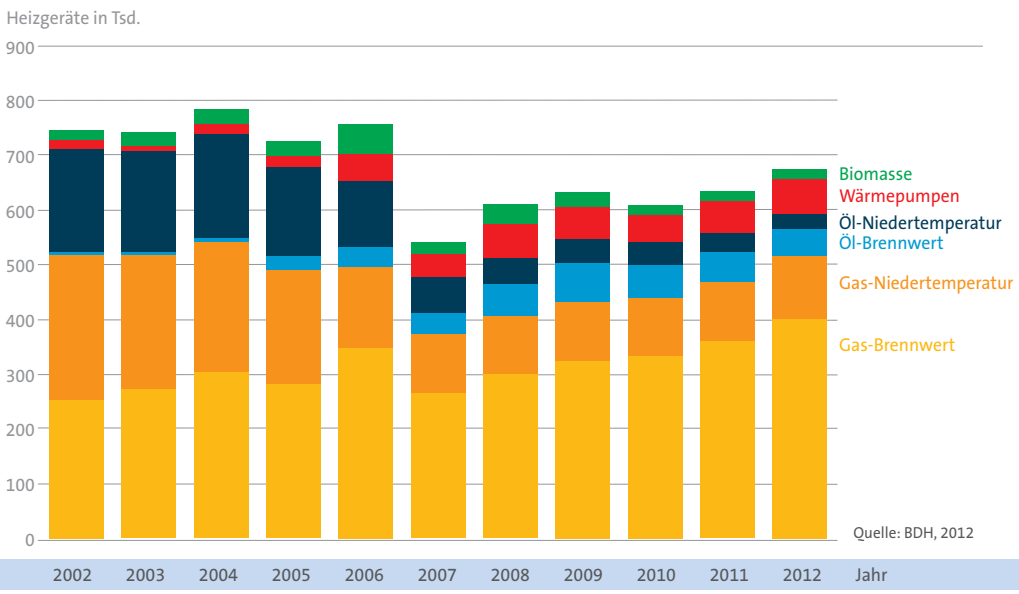
Die Struktur des derzeitigen deutschen Heizungsbestands zeichnet sich mit einem Anteil von über 50 % vor allem durch Erdgasheizungen aus. Gefolgt werden diese von den ehemals weit verbreiteten Ölheizungen mit etwas unter 30 %. Weiterhin kommen noch Fernwärme, Stromheizungen inklusive Wärmepumpen, Biomasse-Kessel und zu einem geringen Anteil nach wie vor Kohleheizungen zur Wärmebereitstellung zum Einsatz.

Der Wechsel von Heizöl zu Erdgas als Energieträger für die Heizung ist aus Sicht des Klimaschutzes sinnvoll, da die Erdgasheizungen deutlich weniger $CO_2$ emittieren. Allerdings basieren noch über die Hälfte der installierten Erdgasheizungen auf der ineffizienten Heizwert-Technik. Stand der Technik bei Erdgasheizungen stellen hier inzwischen die sehr viel effizienteren Gas-Brennwertkessel dar, die in über 50 % aller Fälle von Heizungserneuerungen oder Neu-Installationen eingesetzt werden. Diese nutzen nicht nur den Heizwert, sondern auch die Kondensationsenergie des entstehenden Wasserdampfs, was den Wirkungsgrad der Heizung deutlich anhebt. Mit einem höheren Wirkungsgrad muss zur Erzeugung der gleichen Wärmemenge weniger Brennstoff eingesetzt werden, wodurch auch die $CO_2$-Emissionen sinken.

$CO_2$-Emissionen können ebenso mit Erneuerbare-Energien-Heizungen oder mit elektrisch oder mit Gas betriebenen Wärmepumpen gesenkt werden. Aufschluss darüber, mit welchem Aufwand welche Mengen an $CO_2$ mit diesen Heizungen eingespart werden können, gibt wiederum das Prinzip der $CO_2$-Vermeidungskosten, welche das Energiewirtschaftliche Institut der Universität Köln für den Wärmesektor berechnet hat.

### 27 Heizungswahl bei Erneuerung oder Neubau

**Bei einer Heizungserneuerung oder bei einem Neubau werden in über der Hälfte aller Fälle Gas-Brennwert-Heizungen gewählt, womit $CO_2$ und häufig auch Kosten eingespart werden können. Trotzdem ist die Sanierungsrate noch zu niedrig, so dass nicht das vollständige $CO_2$-Vermeidungspotenzial ausgeschöpft wird.**



## Heizungsmix zur $CO_2$-Reduktion

Die Berechnung zeigt, dass für das Ziel des nahezu klimaneutralen Gebäudebestands langfristig der gesamte Heizungsbestand umstrukturiert werden muss, denn im Jahr 2050 kommen unter Kostengesichtspunkten fast ausschließlich Holzpellet-Heizungen bei Neuanlagen oder Erneuerungen zum Einsatz. Dies setzt allerdings sehr stark die Verfügbarkeit des Brennstoffs aus Holz voraus, wobei davon auszugehen ist, dass eine verstärkte Nachfrage einen Preisanstieg mit sich bringen wird. Wichtig dabei ist aber vor allem die Übergangszeit, denn Holzpellet-Heizungen werden erst zur kostengünstigsten Vermeidungsoption, wenn bereits etwa die Hälfte aller notwendigen $CO_2$-Einsparungen im Wärmemarkt umgesetzt werden konnten. Für diese erste Hälfte der Einsparungen ist es zunächst am kostengünstigsten, bestehende Öl-, Strom- und ältere Niedertemperatur-Gas-Heizungen mit Gas-Brennwert-Heizungen zu ersetzen. Dabei können aufgrund der deutlich höheren Effizienz Brennstoffkosten eingespart werden, die beim Ersatz besonders alter Anlagen vielfach die Investitionskosten übersteigen.

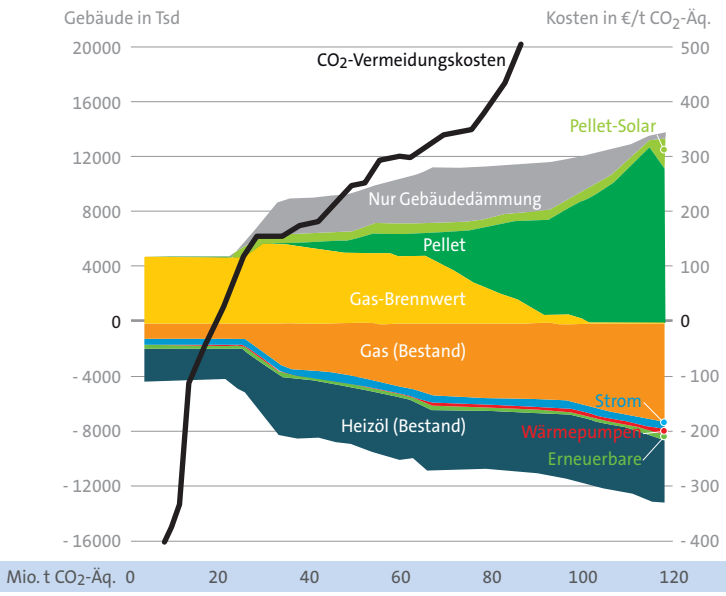
Neben den Gas-Brennwert-Heizungen ist auch die Gebäudedämmung unter Kostengesichtspunkten als Brückentechnologie zu sehen. Gebäudedämmungen sollten nach den Berechnungen als Klimaschutzmaßnahme allerdings erst zum Einsatz kommen, wenn das Potenzial der Gas-Brennwert-Heizungen bereits ausgeschöpft wurde, da die Gebäudedämmung mit höheren Kosten einhergeht. Eine Gebäudedämmung als Klimaschutzmaßnahme kann somit vor allem ergänzend zu einem Heiztechnologiewechsel vorgenommen werden.

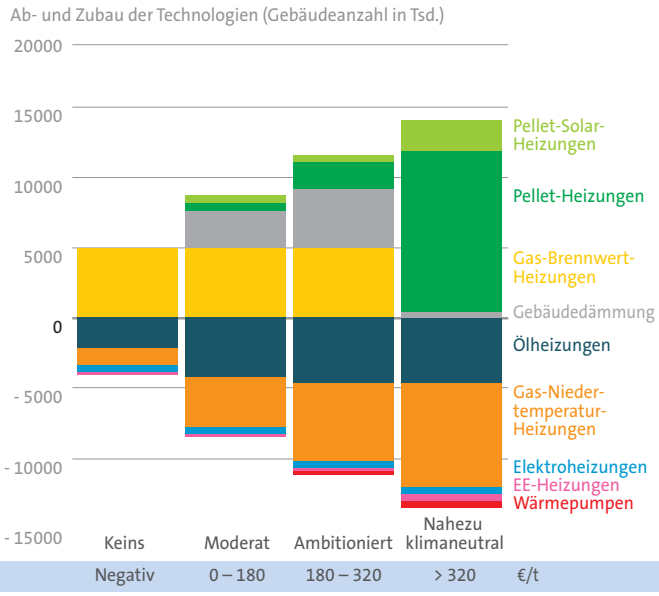
### 28 $CO_2$-Vermeidungskosten im Wärmemarkt 2015

**Der schwarze Kurvenverlauf stellt den Verlauf der Kosten dar, je nachdem wie viele Treibhausgasemissionen eingespart werden sollen. Bis ca. 20 Mio. Tonnen $CO_2$-Äquivalente liegt die Kurve im negativen Bereich, d. h. nahezu 4 Mio. alte Öl- und Gasheizungen können ohne jegliche Mehrkosten durch Gas-Brennwert-Heizungen ersetzt werden und somit fast 20 Mio. Tonnen Treibhausgase eingespart werden.**

### 29 Entwicklung der Heizstruktur unter optimaler Kosteneffizienz

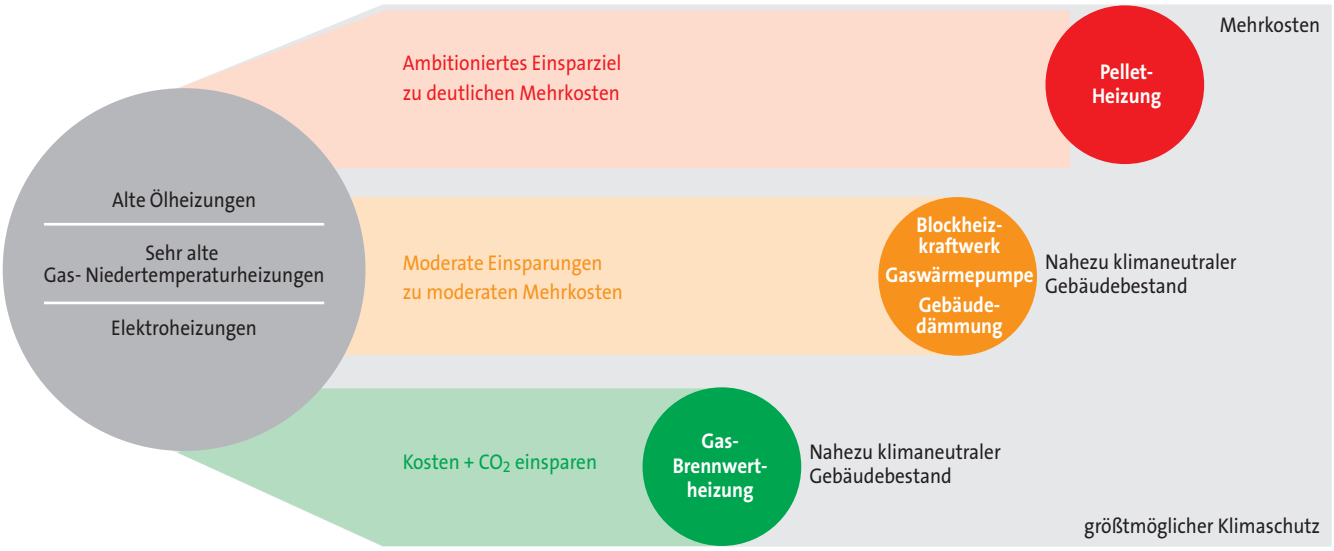
**In dieser vereinfachten Darstellung der $CO_2$-Vermeidungskosten im Wärmemarkt wird deutlich, dass Gas-Brennwert-Heizungen als Brückentechnologie unabdingbar sind. Die Pelletheizungen haben sehr niedrige Emissionswerte, sind aber auch verhältnismäßig teuer, daher kommen sie erst zum Einsatz, wenn das $CO_2$-Vermeidungspotenzial der Gas-Brennwert-Heizungen ausgeschöpft wurde.**



## 30 Mögliche Technologiepfade im Heizungssektor für den Klimaschutz

**Der Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand kann auf unterschiedliche Arten bestritten werden, je nachdem wie ambitioniert das Einsparziel ist. Davon abhängig sind wiederum auch die Kosten, die entstehen. Alte Öl-, Gas- und Elektroheizungen können häufig ohne Zusatzkosten durch Gas-Brennwertheizungen ersetzt werden. Pellet-Heizungen bieten den größtmöglichen Klimaschutz, sind aber auch mit hohen Kosten in der Anschaffung und dem Betrieb verbunden. Den Mittelweg - also signifikante Einsparungen zu moderaten Mehrkosten gegenüber dem bestehenden Heizungssystem - stellen Blockheizkraftwerke, Gaswärmepumpen und Gebäudedämmungen dar. Diese sind hervorragende Brückentechnologien, um das Langfristziel des klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 zu erreichen.**



# 8 $CO_2$-Vermeidungskosten im Verkehrssektor

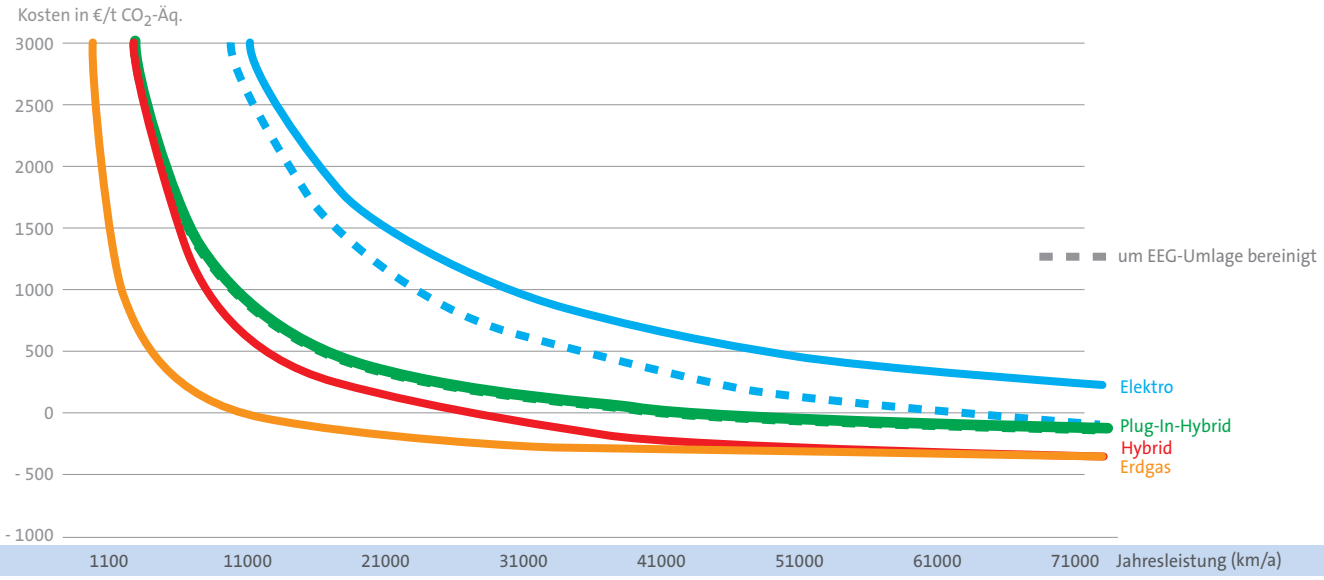
Derzeit machen die Treibhausgasemissionen im gesamten Verkehrssektor, also Pkw-, Lkw, Schiff- und Flugverkehr, ca. 16 % der Gesamtemissionen in Deutschland aus. Bis zum Jahr 2050 sollen davon 40 % eingespart werden.

Grundsätzlich lassen sich Treibhausgasemissionen im Pkw- und Lkw-Bereich auf zwei Arten realisieren. Der Umstieg auf sparsame Transportmedien, also die Nutzung von Bahn, ÖPNV und Fahrrad statt des Pkw sowie die gemeinsame Nutzung von Pkw mittels Mitfahrgelegenheiten bergen große Potenziale. Andererseits sind effiziente Antriebstechnologien unabdingbar für ambitionierte $CO_2$-Einsparungen.

Für Pkw und Lkw existieren inzwischen mehrere Alternativtechnologien, die $CO_2$ einsparen: Erdgasfahrzeuge werden mit einem herkömmlichen Ottomotor angetrieben, aber nutzen Erdgas als Kraftstoff. Hybrid-Fahrzeuge nutzen herkömmliche Verbrennungsmotoren, haben aber zusätzlich eine Batterie an Bord, die vom Verbrennungsmotor geladen wird, aber auch durch Bremsenergierückgewinnung mittels Rekuperation. Vor allem im eher langsamen und durch viel Stop-and-Go geprägten Stadtverkehr lassen sich somit deutliche Einsparungen erzielen, weil der ineffiziente Teillastbetrieb des Verbrennungsmotors vermieden wird. Soll der Anteil des Elektromotors noch erhöht werden, kann eine größere Batterie eingebaut werden, die an der Steckdose aufgeladen wird. Hier spricht man dann vom Plug-In-Hybrid. Bei reinen Elektrofahrzeugen fällt der Verbrennungsmotor weg und die Antriebsenergie wird ausschließlich durch die Batterie bereitgestellt. Zusätzlich zählt auch der Antrieb durch eine Brennstoffzelle zur Elektromobilität, da diese unter Einsatz von Wasserstoff Elektrizität direkt im Fahrzeug produziert.

### 31 $CO_2$-Vermeidungskosten im Verkehrssektor 2013

**Im Verkehrssektor lassen sich Emissionen von Treibhausgasen am kostengünstigsten mit Erdgas-Pkw reduzieren, denn ein Erdgasfahrzeug stößt im Schnitt 25 % weniger $CO_2$ aus als ein Benziner und beim Tanken kann rund die Hälfte an Kraftstoffkosten eingespart werden (gegenüber Diesel ca. 40 %). Inzwischen ist eine Vielzahl an Serienmodellen auf dem Markt und insgesamt ca. 100.000 Erdgasfahrzeuge zugelassen – Tendenz steigend. Im Jahr 2013 wurden beispielsweise 50 % mehr Zulassungen verzeichnet als im Vorjahr.**



Zur Analyse des Potenzials zur $CO_2$-Vermeidung der verschiedenen Technologien geben wiederum die $CO_2$-Vermeidungskosten Aufschluss. Für den Pkw-Markt, wiederum vom Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln ermittelt, wird deutlich, mit welchen Antriebstechnologien kostengünstig $CO_2$ eingespart werden kann. In Abhängigkeit von der Jahresfahrleistung ergeben sich für die unterschiedlichen Technologien durchschnittliche Kurvenverläufe, die die $CO_2$-Vermeidungskosten darstellen. Je größer die Fahrleistung, desto geringer die Kosten, da sich bei gleichbleibenden Anschaffungskosten stetig größere $CO_2$-Mengen einsparen lassen.

Beim Vergleich der Technologien wird deutlich, dass sich insgesamt mit Erdgas am kostengünstigsten $CO_2$ einsparen lässt. Lediglich für sehr hohe Jahresfahrleistungen ab 60.000 km lohnt sich unter Umständen der Einsatz eines Hybridantriebs. Zum Vergleich: Die durchschnittliche Jahresfahrleistung von Pkw in Deutschland liegt bei unter 15.000 km und nur ein Bruchteil der deutschen Bevölkerung legt jährlich Strecken von über 50.000 km mit dem Pkw zurück.

Bei einer solchen Durchschnittsjahresleistung von 15.000 km ist Erdgas zudem die einzige Technologie, deren $CO_2$-Vermeidungskosten bereits unterhalb der Break-Even-Linie liegen. Das bedeutet, dass für den Durchschnittsgebrauch mit dem Kauf eines Erdgasfahrzeugs $CO_2$ eingespart werden kann und sich diese Investition wegen der niedrigeren Kraftstoffkosten auch wirtschaftlich rechnet.

Bei Fahrzeugen mit Erdgasantrieb kann ebenso bereits heute Biogas eingesetzt werden, welches die Treibhausgas-Emissionen nahezu auf Null reduziert. Mittelfristig kann bei Einspeisung von synthetisch hergestelltem Erdgas durch das sog. Power-to-Gas noch mehr Antriebsenergie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt werden.

### 32 Anzahl benötigter Erdgasfahrzeuge für unterschiedliche Reduktionsziele

**Allein durch Erdgasfahrzeuge ließe sich das $CO_2$-Reduktionsziel der Bundesregierung im Verkehrssektor von 40 % erreichen, wenn ein flächendeckender Einsatz der Erdgas-Technologie erfolgen würde. Mit der Beimischung von Bio-Erdgas verbessert sich die $CO_2$-Bilanz weiter. Im reinen Bio-Erdgas-Betrieb sind so $CO_2$-Einsparungen von bis zu 97 % möglich.**

| Angestrebte Emissionsreduktion | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % |
|---|---|---|---|---|
| Gesamtemission (Mio. t) | 109,3 | 97,2 | 85,0 | 72,9 |
| Anzahl der benötigten Erdgasfahrzeuge (Mio.) | 9,8 | 19,6 | 29,4 | 39,2 |
| Anteil der benötigten Erdgasfahrzeuge (%) | 23,7 | 47,4 | 71,0 | 94,7 |

# 9 $CO_2$-Vermeidungskosten durch Sektorenkopplung

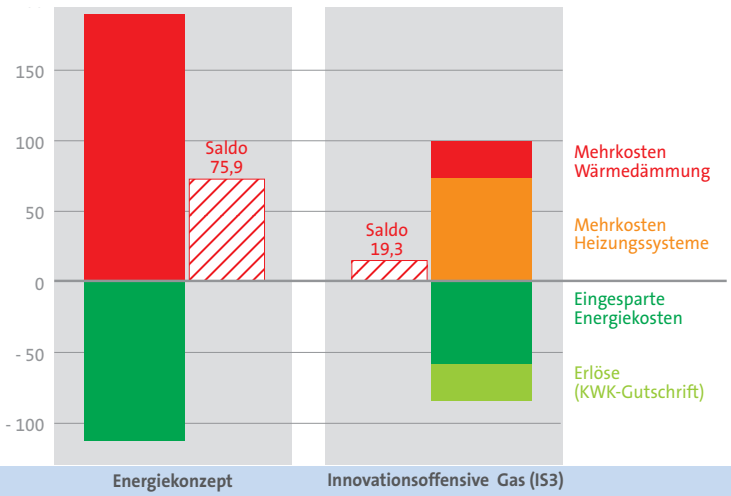
In den vorigen Abschnitten wurden jeweils die $CO_2$-Vermeidungskosten für die Sektoren separat betrachtet. Zusätzlich ist es sinnvoll, einige Technologien näher zu untersuchen, die Auswirkungen auf mehrere Sektoren gleichzeitig haben und daher in der bisherigen Betrachtung nicht ausführlich betrachtet wurden. Beispielsweise kann eine Technologie im Stromsektor zu gewissen $CO_2$-Vermeidungskosten führen, dafür aber die Kosten im Wärmesektor deutlich reduzieren. Die drei wichtigsten Technologien, die hier zu nennen sind: Kraft-Wärme-Kopplung, Power-to-Gas und Power-to-Heat.

## Kraft-Wärme-Kopplung

Die Kraft-Wärme-Kopplung ist das Paradebeispiel für die Verschmelzung des Strom- und Wärmemarkts. Grundprinzip hierbei ist, dass die bei der Stromerzeugung in Kraftwerken anfallende Wärme ebenfalls nutzbar gemacht wird, so dass insgesamt ein deutlich größerer Anteil der in den Brennstoffen enthaltenen Energie genutzt wird. Im Ergebnis fallen damit z. B. in Blockheizkraftwerken oder Brennstoffzellen gleichzeitig Strom und Wärme in einer Anlage an, ideal zur effizienten Energieversorgung von Wohnhäusern, Gewerbeimmobilien und Industriebetrieben. Durch den Einsatz der flexiblen KWK-Anlagen in Verbindung mit Wärmespeichern können zielgenau diejenigen Strommengen erzeugt werden, die nicht von der erneuerbaren Stromerzeugung bereitgestellt werden können, man spricht hier von der sogenannten Residuallast. Auf diese Weise leistet die Kraft-Wärme-Kopplung einen Beitrag für den Strommarkt und die Wärmeversorgung. Durch die ausgekop-

34 Ergebnis einer Studie des DVGW

**Eine Studie des DVGW u. a. konnte nachweisen, dass der Einsatz von KWK-Anlagen mit Gas aus Power-to-Gas-Anlagen mit Erneuerbarem Strom betrieben geringere $CO_2$-Vermeidungskosten verursacht als eine umfassende Dämmung des Gebäudebestands, wie sie im Energiekonzept des Bundesregierung von 2010 veranschlagt ist.**



pelte Wärme, die nicht mehr gesondert erzeugt werden muss, ergibt sich eine $CO_2$-Gutschrift, die der Stromerzeugung zugutekommt. Dadurch ergeben sich niedrige $CO_2$-Vermeidungskosten für die Kraft-Wärme-Kopplung.

Zusätzlich ergeben sich weitere erhebliche $CO_2$-Einsparungen mit KWK-Anlagen durch die Verwendung von Biogas und aus Biogas aufbereitetem Bioerdgas.

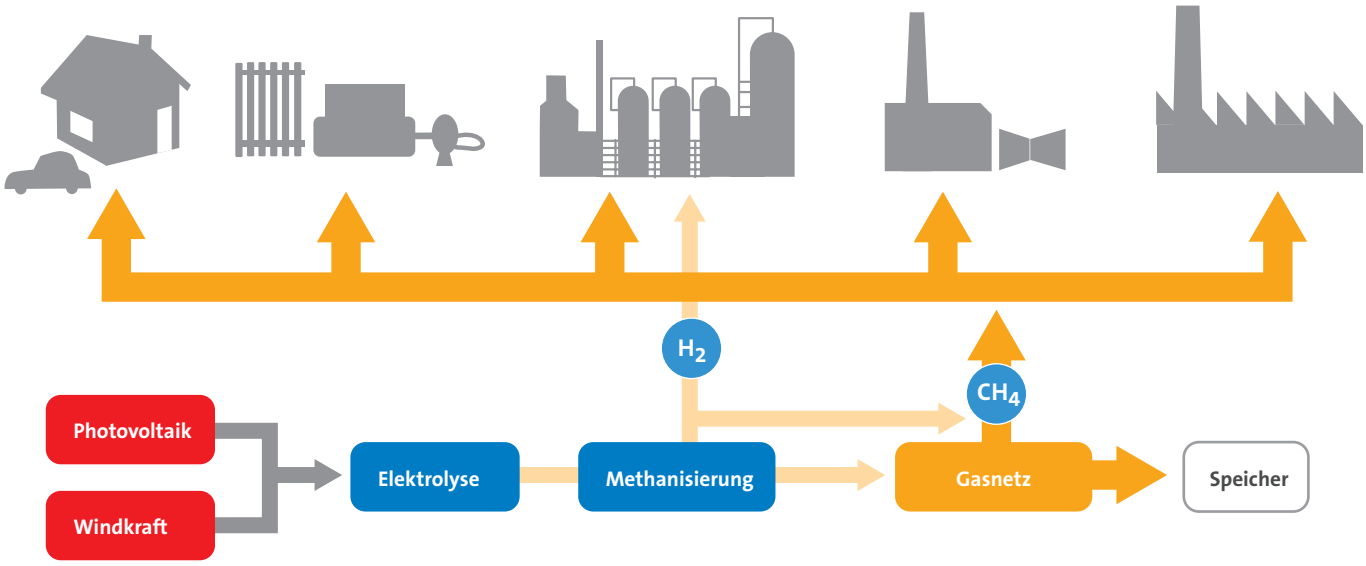
## Power-to-Gas

In der langfristigen Entwicklung können Biogas und Bioerdgas in KWK-Anlagen ergänzt werden durch aus Erneuerbaren Energien hergestelltes synthetisches Erdgas, welches gleichermaßen $CO_2$-neutral einzustufen ist. Das hierfür eingesetzte Verfahren nennt sich Power-to-Gas und ist ebenfalls geeignet, $CO_2$-Vermeidungskosten über die Sektorgrenzen hinweg zu begünstigen.

Die Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien verläuft nicht zeitgleich mit dem Bedarf an Strom. Hierdurch ergeben sich immer häufiger bedeutende Über- und Unterdeckungen im Stromnetz. Der weiter steigende Anteil erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung trifft auf ein Stromversorgungssystem mit begrenzten Netz- und Speicherkapazitäten. Die regenerative Stromerzeugung musste in der Vergangenheit aufgrund fehlender Speicherkapazitäten und Netzengpässen auch schon abgeschal-

35 Power-to-Gas

**Wenn Erneuerbare-Energien-Anlagen mehr Strom bereitstellen, als benötigt wird, kann dieser mittels Power-to-Gas-Verfahren zu Methan umgewandelt werden und in das Erdgasnetz eingespeist werden. Der Strom, der sonst ungenutzt verfallen würde, kann somit langfristig gespeichert werden.**

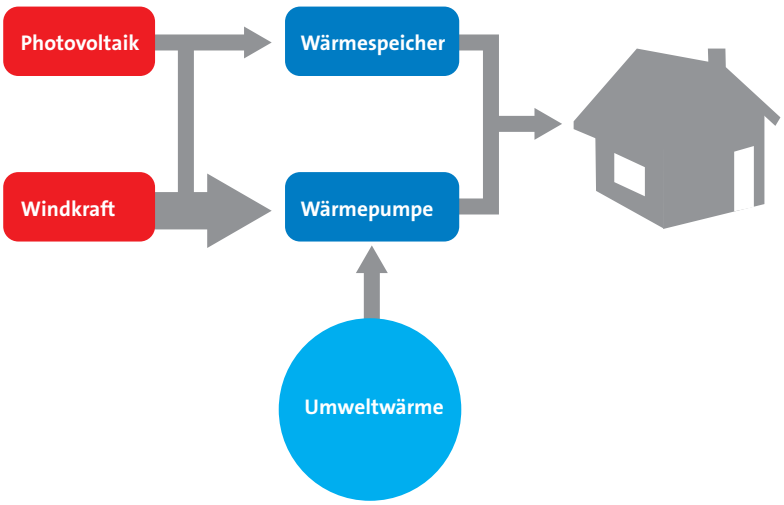



Eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Prozessschritte finden Sie in unserer ASUE-Broschüre „Power-to-Gas“.

tet werden, wodurch diese $CO_2$-Einsparpotenziale nicht genutzt werden konnten. Damit das Stromversorgungssystem in Deutschland nicht zum Engpassfaktor wird, der in Zukunft die Nutzung Erneuerbarer Energien abbremst, müssen dringend weitere Transport- und Speicherkapazitäten aufgebaut werden. Die derzeit nur begrenzt verfügbaren Möglichkeiten sind kaum dazu geeignet, den erheblichen Speicherbedarf, der in Zukunft entstehen wird, abzudecken. Die Power-to-Gas-Technologie stellt somit eine interessante Option dar. Dabei wird zunächst aus überschüssigem erneuerbaren Strom in einer Elektrolyse aus Wasser Wasserstoff und Sauerstoff produziert. Der dabei erzeugte Wasserstoff kann möglicherweise direkt einer Verwendung in der Industrie zugeführt oder in das Erdgasnetz in begrenzten Mengen eingespeist werden. In einem anschließenden Prozess kann zusätzlich durch die Synthese von Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid im sogenannten Sabatier-Prozess Methan hergestellt werden. Hieraus ergibt sich eine $CO_2$-Bilanz zugunsten des Prozesses. Das dabei entstehende Methan kann in das Erdgasnetz eingespeist werden und steht dem Gasverbraucher zur Verfügung. Besonders vorteilhaft dabei ist, dass bereits ein hervorragend ausgebautes Erdgasnetz mit ausreichenden Transport- und Speicherkapazitäten existiert, so dass keine entsprechenden Infrastrukturinvestitionen notwendig werden und daher sich auch die Notwendigkeit des Stromnetz- und Speicherausbaus verringert, wodurch hohe Zusatzkosten vermieden werden können.

## 36 Power-to-Heat

**Ähnlich wie beim Power-to-Gas-Verfahren wird auch beim Power-to-Heat-Verfahren überschüssiger erneuerbarer Strom eingesetzt, der ansonsten ungenutzt verfallen würde. Der Strom wird hierbei jedoch in Wärme umgewandelt, z. B. mit Heizwiderständen in Hybridheizungen oder in Wärmepumpen. Das Verfahren ist insgesamt mit einem geringen investiven Aufwand verbunden und mit Wasser-Wärmespeichern ist die erzeugte Wärme auch preiswert für einige Tage speicherbar. Bei der Verwendung einer Wärmepumpe ergibt sich darüber hinaus zusätzlich ein hoher Gesamtwirkungsgrad für das System. Allerdings schaffen auch die zusätzlichen Stromverbraucher wiederum Notwendigkeiten im Netzausbau und vorzuhaltende Reserve-Erzeugerleistung.**




**Wirkungsgrad:** So wie andere Verfahren der Energiebereitstellung ist auch das Power-to-Gas-Verfahren mit Verlusten verbunden, entsprechend kann ein Wirkungsgrad berechnet werden. Dieser liegt gegenwärtig bei etwas über 60 % – über das Gesamtverfahren gerechnet. Dies scheint auf den ersten Blick nicht besonders effizient, dabei muss aber berücksichtigt werden, dass das Verfahren eingesetzt wird, um überschüssigen erneuerbaren Strom zu nutzen, der ansonsten nicht genutzt werden könnte. Andere Speichersysteme mit hoher Kapazität stehen nicht zur Verfügung. Eine Abschaltung der erneuerbaren Quellen dagegen hätte in einem solchen Fall eine wesentlich schlechtere Energie- und $CO_2$-Bilanz.

# 9 Zusammenfassung

Zur Eindämmung des Klimawandels existiert bereits eine Bandbreite an Instrumenten und Möglichkeiten, die effektiv Treibhausgasemissionen einsparen lassen. Deutschland hat bereits die Energiewende initiiert, die den Einsatz der Erneuerbaren Energien fördert. Betrachtet man allerdings die Pro-Kopf-Emissionen in Deutschland, so wird deutlich, dass Deutschland im europäischen Vergleich nicht so gut dasteht, als man vermuten würde, so dass weitere, effektive Maßnahmen notwendig werden.

Hierbei sollten zwei Ebenen unterschieden werden: Einerseits können große Mengen Kohlenstoffdioxid durch persönliche Änderungen im Lebensstil, in den Gewohnheiten und beim Konsumverhalten eingespart werden. Andererseits existieren Bereiche, die nicht direkt von Privatpersonen beeinflusst werden und welche zusätzlicher Einflussnahme durch die Politik bedürfen. Bei der Wahl der durchzuführenden Instrumente sollte allerdings sorgfältig abgewogen werden, denn aus Finanzierungsgründen können nicht alle Maßnahmen realisiert werden. Denn die Kosten der Maßnahmen müssen von der Allgemeinheit getragen werden und dürfen daher nicht aus dem Ruder laufen, ohne dass die Akzeptanz für den Klimaschutz verloren geht.

Ein sinnvolles Vorgehen besteht hierbei darin, systematisch die Kosten der Maßnahmen dem Nutzen, also den eingesparten $CO_2$-Mengen, gegenüberzustellen. Bei diesem Vorgehen ergibt sich eine geeignete Vergleichbarkeit, denn die alleinige Betrachtung der $CO_2$-Einsparmengen kann das Bild deutlich verzerren. Bei einer solchen Betrachtung wird häufig vernachlässigt, dass nur ein gewisses Budget für Klimaschutzvorhaben zur Verfügung steht. Wenn eine Maßnahme einerseits weniger Treibhausgase vermeidet, andererseits aber auch deutlich weniger kostet, kann die Maßnahme bei gegebenem Budget vielmals durchgeführt werden. In der Summe lassen sich so ggf. mehr Treibhausgase einsparen als mit der „großen“ Maßnahme.

Die Berechnung des Energiewirtschaftlichen Instituts der Universität Köln zeigt, dass Erdgas vielfach eine kostengünstige Option ist, um Klimaschutz zu betreiben. Erdgas verursacht aufgrund seiner chemischen Eigenschaften bei der Verbrennung weniger $CO_2$ als die übrigen fossilen Brennstoffe. Darüber hinaus erzielen viele der Technologien auf Erdgas-Basis hohe Wirkungsgrade, was erneut die Treibhausgasemissionen sinken lässt. GuD- und Blockheizkraftwerke, Brennstoffzellen und Erdgas-Brennwert-Kessel sind gute Beispiele hierfür und zeigen, dass ausgereifte Technologien für den Klimaschutz bereits verfügbar sind, sie müssen nur noch eingesetzt werden.

**Herausgeber**
ASUE Arbeitsgemeinschaft für
sparsamen und umweltfreundlichen
Energieverbrauch e.V.
Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

Telefon 0 30 / 22 19 1349-0
info@asue.de
www.asue.de

**Bearbeitung**
ASUE-Arbeitskreis Energie,
Umwelt & Innovation

**Grafik**
Kristina Weddeling, Essen

**Bezug**
ASUE e. V.
info@asue.de

$CO_2$-Vermeidung
Bestellnummer: 07 01 16
Schutzgebühr: 5,00 € / 5,35 €
(zzgl. / inkl. 7 % MwSt.)
Stand: Januar 2016

Überreicht durch:

**Hinweis**
Die Herausgeber übernehmen keine Gewähr
für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.