

# WELCHE ENERGIE-ZUKUNFT IST MÖGLICH?

EIN VERGLEICH VON VIER NIEDRIG-ENERGIE-  
SZENARIEN FÜR DEUTSCHLAND

Jan Burck, Felix von Blücher und Theresa Fabian



## Impressum

### Autoren:

Jan Burck, Felix von Blücher und Theresa Fabian

Unter Mitarbeit von: Serge Birtel und Linde Griebhaber

### Redaktion:

Daniela Baum, Katrin Schilling

### Herausgeber:

Germanwatch e.V.

Büro Bonn

Dr. Werner-Schuster-Haus

Kaiserstr. 201

D-53113 Bonn

Telefon +49 (0)228/60492-0, Fax -19

Büro Berlin

Schiffbauerdamm 15

D-10117 Berlin

Telefon +49 (0)30/288 8356-0, Fax -1

Internet: [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

E-mail: [info@germanwatch.org](mailto:info@germanwatch.org)

August 2010

Bestellnr.: 10-2-08

**ISBN 978-3-939846-65-9**

Diese Publikation kann im Internet abgerufen werden unter:

[www.germanwatch.org/klima/nes.htm](http://www.germanwatch.org/klima/nes.htm)

Diese Veröffentlichung wurde mit Unterstützung der Europäischen Union hergestellt.



Für den Inhalt ist allein der Herausgeber verantwortlich. Der Inhalt kann in keiner Weise als Standpunkt des Förderers angesehen werden.

Die Studie entstand im Rahmen des Projektes:

## Low Carbon Societies Network



# **WELCHE ENERGIE-ZUKUNFT IST MÖGLICH?**

EIN VERGLEICH VON VIER NIEDRIG-ENERGIE-  
SZENARIEN FÜR DEUTSCHLAND

Jan Burck, Felix von Blücher und Theresa Fabian

### **Zusammenfassung**

Die vorliegende Studie vergleicht vier wichtige Niedrig-Energie-Szenarien für Deutschland:

Das *Leitszenario 2009* im Auftrag des BMU, das *Szenarios 3 der Energiezukunft 2050* im Auftrag von EnBW, E.ON Energie, RWE Power und Vattenfall Europe erarbeitet von FfE, das *Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050* im Auftrag von WWF Deutschland, und *Klimaschutz: Plan B 2050* im Auftrag von Greenpeace Deutschland.

Die Szenarien haben gemein, dass sie zeigen wollen, welche CO<sub>2</sub> Reduktionen in Deutschland möglich sind und was getan werden muss, um diese zu erreichen. Ergebnisse von Szenarien sind immer abhängig von den getroffenen Grundannahmen. Deshalb werden in der vorliegenden Studie auch die Rahmenbedingungen analysiert, unter denen die Szenarien zu Ihren Ergebnissen kommen (für eine Übersicht vgl. Tabelle 1). Interessant sind beispielsweise die stark unterschiedlichen Annahmen zur Ölpreisentwicklung, da solche Annahmen die Entwicklungspotentiale Erneuerbarer Energien stark beeinflussen können. Während der WWF in seiner Studie von steigenden Ölpreisen ausgeht (ähnlich wie z.B. die Internationale Energieagentur), nimmt das Szenario Energiezukunft 2050 der Energieunternehmen einen sinkenden Ölpreis bis zum Jahr 2050 an.

Wichtige Analysepunkte der Studie sind: Welche Grundannahmen werden getroffen? Welcher Strommix wird für das Jahr 2050 angenommen? Welche Sektoren tragen zu den Reduktionen welchen Anteil bei? Wie werden die volkswirtschaftlichen Kosten der Reduktionen in den Szenarien vorhergesagt? Welche Maßnahmen müssen in den einzelnen Sektoren getroffen werden?

Der Vergleich zeigt, dass drei der vier analysierten Szenarien das Ziel einer Verringerung der Treibhausgase in Deutschland um 80 bis 95 % bis 2050 im Vergleich zu 1990 erreichen. Sie erreichen dies ohne eine Laufzeitverlängerung und zu volkswirtschaftlich akzeptablen Kosten. Lediglich das von den vier großen Energiekonzernen in Auftrag gegebene Szenario der Forschungsstelle Energiewirtschaft stellt die Erreichbarkeit der angepeilten Reduktionsziele in Deutschland in Frage.

Klar wird aber auch, dass die ambitionierten Reduktionsziele nur mit zusätzlichen Maßnahmen erreicht werden können, da die aktuellen gesetzlichen Vorgaben nicht ausreichen und die Rahmengesetzgebung insgesamt zu kurz greift. Weichenstellungen, die in diesen Jahren für oder gegen den Ausbau der Energieeffizienz, Erneuerbarer Energien oder neuer und intelligenter Stromnetze getroffen werden, beeinflussen maßgeblich ob und wie kostengünstig die Ziele verwirklicht werden können.

Der Szenarien-Vergleich ist eine gute Grundlage, um die Szenarien zu beurteilen, die die Bundesregierung kurz nach Veröffentlichung dieser Studie als Grundlage des Energiekonzepts vorstellen wird. So lässt sich schnell analysieren, ob die Wahl der Grundannahmen bei den Szenarien bestimmte - politische gewollte - Ergebnisse vorprogrammiert.

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten Niedrig-Energie-Szenarien

Name des Szenarios	Leitszenario 2009	Energiezu- kunft 2050: Szenario 3	Modell Deutsch- land: Klimaschutz bis 2050	Klimaschutz: Plan B 2050
<b>Auftraggeber</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)	EnBW, E.ON Energie, RWE Power und Vattenfall Europe	WWF Deutschland	Greenpeace Deutschland
<b>Autoren</b>	Dr. Joachim Nitsch, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Dr. Bernd Wenzel, IfnE	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.	Dr. Almut Kirchner (Prognos), Dr. Felix C. Matthes (Öko-Institut), Dr. Hans-J. Ziesing	Dr. Katja Barzantny, Sigrid Achner, Sebastian Vomberg (EUtech Energie und Management GmbH)
<b>Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050</b>	79,50 %	70 %	Innovationsszenario: 87 % (alle Treibhausgase) „Modell Deutschland“: 95 % (alle Treibhausgase)	90 % (alle Treibhausgase)
<b>Ausstieg aus der Atomenergie (Jahr)</b>	ca. 2023	kein Ausstieg	ca. 2023	2015
<b>Anteil der Erneuerbaren Energien am Nettostromverbrauch in 2050</b>	84 %	ca. 49,5 %	Innovationsszenario ohne CCS: 97,5 % Innovationsszenario mit CCS: 78,6 %	100 %
<b>Rohölpreis im Jahr 2050 (inflationsbereinigt in US\$/Barrel)</b>	Preisfad A: 129 Preisfad B: 99 (als unwahrscheinlich gewertet)	79	210	100
<b>Aussagen zu volkswirtschaftlichen Kosten der Szenarien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoersparnisse nach 2023</li> <li>• Maßnahmen sind volkswirtschaftlich günstig</li> </ul>	• keine Aussage	• Kosten in Höhe von 0,3 % des BIP über den gesamten Betrachtungszeitraum. (kaum Unterschiede ob mit oder ohne CCS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis 2020 entstehen bereits Nettoersparnisse</li> <li>• Kosten des Handelns geringer als Kosten des Nicht-Handelns</li> </ul>

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Einführung: Was sind Energieszenarien?.....</b>	<b>10</b>
2.1	Kritische Betrachtung von Energieszenarien .....	10
2.2	Zielbestimmung für Szenarien .....	11
2.3	Kurz- bis mittelfristige Szenarien für Deutschland.....	11
2.4	Beispiele anderer langfristiger Energieszenarien .....	12
<b>3</b>	<b>Szenarienvergleich .....</b>	<b>13</b>
3.1	Allgemeine Informationen zu den Szenarien .....	13
3.2	Grundannahmen der Szenarien .....	15
3.3	Einbezogene Sektoren und Treibhausgase .....	17
3.4	Die Szenarienziele/Szenarienergebnisse im Vergleich .....	17
3.5	Kosten der Szenarien.....	27
<b>4</b>	<b>Maßnahmen und Sektoren im Vergleich.....</b>	<b>30</b>
4.1	Gegenüberstellung der Sektoren .....	30
4.2	Grundlegende Maßnahmen und Handlungsfelder .....	32
4.3	Umwandlungssektor.....	34
4.3.1	Szenarienziele im Umwandlungssektor .....	34
4.3.2	Maßnahmen im Umwandlungssektor.....	39
4.4	Verkehrssektor .....	43
4.4.1	Szenarienziele und Annahmen im Verkehrssektor .....	43
4.4.2	Maßnahmen im Verkehrssektor .....	45
4.5	Gebäudesektor .....	48
4.5.1	Szenarienziele im Gebäudesektor .....	48
4.5.2	Maßnahmen im Gebäudesektor.....	50
4.6	Industriesektor.....	52
4.6.1	Szenarienziele im Industriesektor .....	52
4.6.2	Maßnahmen im Industriesektor.....	53
4.7	Energieeffizienz .....	55
<b>5</b>	<b>Vom Ziel her denken: Schlussfolgerungen für das Energiekonzept der Bundesregierung.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>61</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten Niedrig-Energie-Szenarien .....	5
Tabelle 2: Angenommener Ausstieg aus der Kernenergie.....	16
Tabelle 3: Angenommene Bevölkerungszahlen für Deutschland im Jahr 2050 .....	16

## Abkürzungsverzeichnis

BIP	- Bruttoinlandsprodukt
BMU	- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CCS	- Carbon Capture and Storage (CO <sub>2</sub> -Abscheidung)
CDM	- Clean Development Mechanism
DLR	- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EE	- Erneuerbare Energien
EEG	- Erneuerbare-Energien-Gesetz
EWI	- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FfE	- Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
GHD	- Gewerbe Handel und Dienstleistungen
GJ	- Giga (10 <sup>9</sup> ) Joule
GWS	- Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH
HH	- Haushalte
JI	- Joint Implementation
KWK	- Kraft-Wärme-Kopplung
KWh	- Kilowattstunde
PJ	- Peta (10 <sup>15</sup> ) Joule
PEV	- Primärenergieverbrauch
Pkm	- Personenkilometer
ppm	- Parts Per Million
THG	- Treibhausgas
TWh	- Terrawattstunde
UBA	- Umweltbundesamt
WWF	- World Wildlife Fund

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Angenommenes Bruttoinlandsprodukt bis zum Jahr 2050 .....	17
Abbildung 2: Angenommener Verlauf der CO <sub>2</sub> -Emissionen zwischen 1990 und 2050 .....	18
Abbildung 3: Angenommene Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes pro Kopf bis 2050 .....	19
Abbildung 4: Angenommener Primärenergieverbrauch 2005*-2050 .....	19
Abbildung 5: Angenommener Endenergieverbrauch 2005*-2050.....	20
Abbildung 6: Angenommene Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes pro PEV bis 2050.....	21
Abbildung 7: Angenommene Entwicklung der Anteile Erneuerbarer Energien (EE) am PEV bis 2050.....	21
Abbildung 8: Angenommene CO <sub>2</sub> -Preise bis 2050 .....	22
Abbildung 9: Angenommene Rohölpreisentwicklung 2003/2005 bis 2050 .....	24
Abbildung 10: Angenommene Steinkohlepreisentwicklung 2003/2005 bis 2050 .....	24
Abbildung 11: Angenommene Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes pro BIP bis 2050 .....	25
Abbildung 12: Angenommene Entwicklung des PEV pro Einheit Bruttoinlandsprodukt bis 2050	25
Abbildung 13: Angenommenes Biomassepotenzial bis 2050.....	26
Abbildung 14: Angenommener Anteil der einzelnen Sektoren am CO <sub>2</sub> -Ausstoß* im Jahr 2050...	30
Abbildung 15: Angenommener Endenergieverbrauch nach Sektoren für 2005* und 2050.....	32
Abbildung 16: Annahmen zum Strommix im Jahr 2050 .....	34
Abbildung 17: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Strommix bis 2050 im <i>Leitszenario 2009</i> .....	36
Abbildung 18: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Innovationsszenario mit CCS ..	37
Abbildung 19: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Innovationsszenario ohne CCS	37
Abbildung 20: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Strommix bis 2050.....	38
Abbildung 21: Angenommene Entwicklung der Anteile Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung .....	39
Abbildung 22: Angenommene Personenverkehrsleistung bis zum Jahr 2050 .....	44
Abbildung 23: Angenommene Güterverkehrsleistung bis zum Jahr 2050.....	44
Abbildung 24: Angenommene Entwicklung des (Heiz-)Wärmebedarfs von Wohngebäuden bis 2050.....	49
Abbildung 25: Angenommene Entwicklung des Wärmebedarfs im Industriesektor bzw. der Prozesswärme insgesamt.....	52

# 1 Einleitung

Die momentane Diskussion um einen Ausstieg aus dem Ausstieg von der Nutzung der Kernenergie macht deutlich, wie hoch der Einfluss der großen Energiekonzerne auf unsere Energiezukunft ist. Der auch von ihnen mitgetragene Ausstiegskompromiss wird derzeit in Frage gestellt und die schwarz-gelbe Regierung strebt eine Verlängerung der Laufzeiten an. Die neue Bundesregierung hatte zugesagt, eine offene Debatte über ein zukünftiges Energiekonzept zuzulassen. Deshalb beauftragte sie verschiedene Institute (Prognos, GWS und EWI) mit der Erstellung von Szenarien, die den Weg in eine CO<sub>2</sub>-arme Zukunft aufzeigen, gleichzeitig die Energiesicherheit nicht aus dem Blick verlieren und die Energiepolitik in Einklang mit den Klimazielen bringen.<sup>1</sup> Allerdings zeigen schon die vorher festgelegten Rahmenbedingungen der Szenarien keine Ausgewogenheit. So werden von vornherein nur Szenarien gerechnet, die eine Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke in Deutschland vorsehen. Ein Szenario, welches die Klimaziele erreicht und die aktuelle Gesetzeslage zum Ausstieg aus der Atomkraft widerspiegelt, wird nach Vorgabe der Bundesregierung nicht gerechnet werden. Der Vergleich zeigt, dass drei der vier analysierten Szenarien die Verringerung der Treibhausgase in Deutschland um 80 bis 95 Prozent bis 2050 im Vergleich zu 1990 erreichen, und das ohne Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke. Lediglich das von den vier großen Energiekonzernen in Auftrag gegebene Szenario der Forschungsstelle Energiewirtschaft stellt die Erreichbarkeit der angepeilten Reduktionsziele in Deutschland in Frage. Gleichzeitig zeigen die Szenarien, dass dies auch zu vergleichsweise niedrigen Kosten erreicht werden kann. Für ganz Europa kommt die Studie *Roadmap 2050* von Mckinsey im Auftrag der European Climate Foundation zu dem gleichen Ergebnis.<sup>2</sup>

Die Debatte um die Zukunft der Energiepolitik fokussiert, wie man anhand der Diskussion zum Energiekonzept der Bundesregierung beobachten kann, derzeit zu stark auf die zwar sehr wichtige Atomausstiegsdebatte. Allerdings werden Schlüsselthemen einer zukünftigen Energieversorgung wie der Ausbau der Erneuerbaren Energien, der Stromnetze und Speicher sowie eine erhebliche Steigerung der Energieeffizienz im Moment weitestgehend ausgeblendet.

Langfristige Energieszenarien können wichtige Fragen beleuchten, wenn es darum geht, in welcher (Energie)-Welt wir zukünftig leben wollen. Sie können mögliche Unstimmigkeiten in bestehenden Plänen zur zukünftigen Energieversorgung aufdecken und somit auf Weichenstellungen hinweisen, die ein Erreichen des deutschen Klimaschutz-Ziels blockieren würden. Germanwatch vergleicht in der vorliegenden Studie vier wichtige bisher vorliegende Niedrig-Energie-Szenarien für Deutschland. Der Szenarienvergleich ermöglicht, verschiedene Wege hin zu einer CO<sub>2</sub>-armen Gesellschaft aufzuzeigen. Er erlaubt auch, die kommenden Szenarien der Bundesregierung hinsichtlich ihrer Grundannahmen und Maßnahmen einordnen zu können.

Kapitel 2 bietet eine kurze Einführung zu Energieszenarien. In Kapitel 3 erfolgt eine Analyse der Grundannahmen und Zielsetzungen der aktuellen langfristigen Niedrig-Energie-Szenarien: Das Leitszenario 2009 im Auftrag des BMU (im Folgenden: Leitszenario 2009), das Szenario 3 der Energiezukunft 2050 im Auftrag von EnBW, E.ON Energie, RWE Power und Vattenfall Europe (im Folgenden: Energiezukunft 2050), das Modell

---

<sup>1</sup> Diese Ergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch nicht vor und wurden daher noch nicht berücksichtigt. Es ist aber geplant die neuen Szenarien in den vorliegenden Szenarienvergleich einzuordnen.

<sup>2</sup> <http://www.roadmap2050.eu/>



---

Deutschland Klimaschutz bis 2050 im Auftrag von WWF Deutschland (im Folgenden: Modell Deutschland) und Klimaschutz: Plan B 2050 im Auftrag von Greenpeace Deutschland (im Folgenden: Plan B 2050). In Kapitel 4 werden die Maßnahmen in den Sektoren Umwandlung, Verkehr, Gebäude und Industrie sowie in der Energieeffizienzsteigerung erläutert. Kapitel 5 fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen und stellt die Forderungen von Germanwatch für ein nachhaltiges Energiekonzept zusammen.

Der Szenarienvergleich wurde im Rahmen des EU-Projektes „Engaging Civil Societies in Low Carbon Scenarios“ erarbeitet.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Siehe hierzu: <http://lowcarbon-societies.eu/>.

## 2 Einführung: Was sind Energieszenarien?

In Energieszenarien wird die zukünftige Energieversorgung mathematisch in Modellen errechnet. Ihr Zeithorizont ist im Gegensatz zu Prognosen, die die wahrscheinliche, zukünftige Entwicklung von 10 bis 15 Jahren aufzeigen, mit 10 bis 50 Jahren meist länger. Bei den Energieszenarien werden bestimmte Vorgaben, wie z.B. die angestrebte CO<sub>2</sub>-Reduktion, gemacht. Zudem werden ihnen diverse Annahmen, wie beispielsweise die demografische und wirtschaftliche Entwicklung oder die Entwicklung der Ölpreise, zugrunde gelegt. Wegen der großen Unsicherheit der Annahmen dienen Szenarien nicht als Vorhersage sondern vielmehr als Hilfsmittel für langfristige Entscheidungen.<sup>4</sup>

Die Szenariotechnik wurde entwickelt um kurzfristige Prognosemethoden zu ergänzen und um langfristige Entwicklungen mithilfe von Modellen zu errechnen. Grundlage dieser Modelle sind bspw. die volkswirtschaftliche Situation oder die technologische Entwicklung in Form von Parametern. Ziel ist es, eine „Bandbreite an möglichen Entwicklungen einzugrenzen“<sup>5</sup>, die umso größer ist, je weiter man sich von dem Ausgangszeitpunkt entfernt.

Szenarienmodelle arbeiten mit abhängigen und unabhängigen Variablen, die sich gegenseitig bedingen. Bei den hier untersuchten Energieszenarien können exogene (unabhängige) Variablen Rohstoffpreise und politische Maßnahmen sein. Endogene (abhängige) Variablen sind bspw. der Stromverbrauch, die Verkehrsleistung oder Verhaltensänderungen. Die Grenzwerte für die unabhängigen Variablen (z.B. Mindest-Effizienz-Standards) und die kausale Abhängigkeit der Variablen werden von Experten bestimmt. Das Ergebnis ist die Entwicklung der abhängigen Variablen (z.B. des Kraftstoffverbrauchs). Nicht alle der hier verglichenen Szenarien arbeiten mit Modellen. Manche beruhen auch auf Tabellen-Kalkulationen.

### 2.1 Kritische Betrachtung von Energieszenarien

Ein genereller und im Rahmen der Frage nach sozialer Akzeptanz relevanter Kritikpunkt ist, dass Szenarien mit mathematischen Modellen arbeiten und sozioökonomische Aspekte unvollständig erfasst werden, da soziale Aspekte schwer zu modellieren sind. Zudem können auch nur Abhängigkeiten, die den Forschern bekannt sind, in die Modelle integriert werden.<sup>6</sup> Weiterhin sind laut Schindler u. Zittel (2008) viele Energieszenarien politisch motiviert; so sollten „Szenarien der Internationalen Atomenergiebehörde, gerade in der Frühphase der Kernenergienutzung, [...] die Machbarkeit und Notwendigkeit des zügigen Zubaus von Kernkraftwerken begründen. Regenerative Energieszenarien sollen die Notwendigkeit und Machbarkeit einer nachhaltigen Energieversorgung verdeutlichen“.<sup>7</sup> Der Sinn eines Szenarios sei es allerdings, die „Spannweite möglicher Entwicklungen aufzuzeigen“.<sup>8</sup> Daher soll dieser Bericht einen Überblick über die verschiedenen Energie-

---

<sup>4</sup> Henssen (2002), S.6.

<sup>5</sup> Schindler u. Zittel (2008), S.16.

<sup>6</sup> ebd., S. 17.

<sup>7</sup> ebd., S.17.

<sup>8</sup> ebd., S.21.

szenarien für Deutschland geben und so Unterschiede (politisch motiviert oder nicht) und Gemeinsamkeiten herausarbeiten.

## 2.2 Zielbestimmung für Szenarien

Nach MEINSHAUSEN et al. 2009 bedeutet die derzeitige Zielsetzung der G8-Staaten – eine Halbierung der globalen Treibhausgas-Emissionen bis 2050 –, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 12 bis 45 % eine Erwärmung von 2 °C überschritten wird. Wird die Hälfte der derzeit wirtschaftlich erschließbaren Öl-, Erdgas- und Kohlevorräte verbrannt, beträgt die Wahrscheinlichkeit 2 C zu überschreiten 50 %.<sup>9</sup>

Für das *Leitszenario 2009* und den *Klimaschutz Plan B 2050* bildete der vierte Sachstandbericht des International Panel on Climate Change die wissenschaftliche Grundlage.<sup>10</sup> Hiernach ist eine Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre auf 450 ppm notwendig, um die globale Erwärmung auf maximal 2 C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu beschränken. Auch beim *Modell Deutschland* ist es das Ziel, die Erderwärmung auf 2 C zu begrenzen.<sup>11</sup>

Die derzeitige CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre beträgt 385 ppm, das vorindustrielle Niveau war 280 ppm. Von Seiten zivilgesellschaftlicher Organisationen, wie WWF und Greenpeace, wird eine 95-prozentige Reduktion der Treibhausgas-Emissionen der Industrieländer bis 2050 gefordert.

## 2.3 Kurz- bis mittelfristige Szenarien für Deutschland

Bevor die vier ausgearbeiteten Niedrig-Energie-Szenarien mit einem Zeithorizont bis 2050 erschienen, wurden mittelfristige Szenarien zur Entwicklung des Energiesektors bis zum Jahr 2020 oder 2030 entwickelt. Die Szenarien unterscheiden sich je nach Hintergrund hinsichtlich des Primärenergiebedarfs, der Energieeffizienz, dem Anteil Erneuerbarer Energien sowie den zugrunde liegenden Ausgangsszenarien und Grundannahmen. Auch sind die verschiedenen Beiträge der einzelnen Sektoren sehr unterschiedlich.

Szenarien für die kurz- bis mittelfristige Entwicklung des Energiesektors sind:

- „Energieszenarien für den Klimagipfel 2007“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)<sup>12</sup> und „Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030“ des ehemaligen Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), erarbeitet vom Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln und der Prognos AG.<sup>13</sup>
- „Politiksznarien für den Klimaschutz IV: Szenarien bis 2030“ vom Umweltbundesamt (UBA).<sup>14</sup>

<sup>9</sup> Meinshausen et al. 2009, S.1158 ff.

<sup>10</sup> BMU (2009), S.4., Greenpeace (2009), S.21.

<sup>11</sup> WWF (2009), S.7.

<sup>12</sup> BMWI (2007).

<sup>13</sup> BMWA (2005).

<sup>14</sup> UBA (2008).

- „Energiemix 2020, Szenarien für den deutschen Stromerzeugungsmarkt bis 2020“ von der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Ernst & Young.<sup>15</sup>

## **2.4 Beispiele anderer langfristiger Energieszenarien**

Wichtige langfristige Energieszenarien für Deutschland, die ebenfalls hohe CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele haben aber nicht Gegenstand des vorliegenden Vergleichs sind:

- „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland“,<sup>16</sup> erarbeitet vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, dem Institut für Energie- und Umweltforschung und dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie im Auftrag des Bundesumweltministeriums.
- „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“ (UBA 2002), die vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Auftrag des Umweltbundesamtes verfasst wurden.
- Insgesamt 14 Szenariovarianten und vier Szenarien-Gruppen (Referenzszenario, Umwandlungseffizienz, REG/REN-Offensive, fossil-nuklearer Energiemix), die vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie und vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart unter Federführung der Prognos AG berechnet wurden. Diese Szenarien wurden im Rahmen der vom Deutschen Bundestag im Februar 2000 eingesetzten Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ erarbeitet.

---

<sup>15</sup> ERNST & YOUNG (2006).

<sup>16</sup> BMU (2004).

## 3 Szenarienvergleich

Im Folgenden werden die wichtigsten Grundannahmen, Zielsetzungen und Ergebnisse der Szenarien (*Leitszenario 2009*, *Energiezukunft 2050*, *Modell Deutschland*, *Plan B 2050*) analysiert und miteinander verglichen. Zu den Grundannahmen gehört zunächst, ob und in welchem Maß bestimmte Technologien (beispielsweise Atomkraft, Kraft-Wärme-Kopplung, CCS) in den Szenarien zu Anwendung kommen. Des Weiteren spielen sozio-ökonomische Faktoren wie die Entwicklung der Bevölkerungszahl und des BIP in Deutschland eine wichtige Rolle.

In ihrer Herangehensweise unterscheiden sich die Szenarien mitunter darin, dass bestimmte Faktoren in manchen Szenarien als exogene und in anderen als endogene Variable modelliert wurden, wodurch eine klare Trennung von Grundannahmen und Ergebnissen der Szenarien in diesem Vergleich nicht immer möglich ist.

Angaben zur Preisentwicklung von Rohöl, Steinkohle und einer Tonne CO<sub>2</sub> sollen den Rahmen der Wettbewerbsgrundlage für Erneuerbare Energien verdeutlichen. Die Entwicklung des Strommixes (insbesondere der Anteil der Erneuerbaren Energien) und verschiedener Effizienzkriterien (CO<sub>2</sub>/BIP (vgl. Abbildung 11) und Primärenergieverbrauch/BIP (vgl. Abbildung 12) verdeutlichen die von den Szenarien als nötig und machbar dargestellte Umstrukturierung in den Sektoren Stromerzeugung, Verkehr, Gebäude, Industrie und Effizienz, welche in Kapitel 4 im Detail vorgestellt wird.

### 3.1 Allgemeine Informationen zu den Szenarien

#### **BMU Leitszenario 2009**

Als Ausgangsszenario für die demografischen und ökonomischen Kenngrößen des *Leitszenarios 2009* dienen die vom Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln und der Prognos AG herausgegebenen „Energieszenarien für den Energiegipfel“ (BMWI 2007). Die Szenariotechnik des *Leitszenarios 2009* basiert weitgehend auf früheren Untersuchungen für das BMU und das UBA (UBA 2002; BMU 2004; BMU 2005) und wurde vor dem Hintergrund neuer energiepolitischer Rahmenbedingungen wie z.B. dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder den veränderten Energiepreisen weiterentwickelt.

Das *Leitszenario 2009* geht von einem schrittweise stattfindenden Ausstieg aus der Kernenergie ab 2000 aus.<sup>17</sup> Nach dem Atom-Ausstiegsgesetz ist mit einem vollständigen Abschalten aller Atomkraftwerke zwischen 2020 und 2023 zu rechnen (vgl. Tabelle 2). Großer Wert wird auf den Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sowie den Einsatz Erneuerbarer Energien gelegt,<sup>18</sup> die Möglichkeit der CO<sub>2</sub>-Speicherung (CCS) wird jedoch nicht berücksichtigt. Das *Leitszenario 2009* postuliert einen unter Klimaschutzgesichtspunkten fairen Wettbewerb fossiler und Erneuerbarer Energietechnologien; dieser wird

---

<sup>17</sup> BMU (2009), S.13.

<sup>18</sup> ebd., S.4.

hier durch ein Emissionshandelssystem sichergestellt, bei dem steigende CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreise (bis auf 70 €/t CO<sub>2</sub> in 2050) den Preis von Stein- und Braunkohle maßgeblich bestimmen werden.<sup>19</sup>

### **FfE Szenario 3**

Dem *Szenario 3* des Berichts *Energiezukunft 2050* dient das *Szenario 1* desselbigen Berichts als Referenzszenario. Es beruht auf der Annahme, dass sich alle Rahmenbedingungen (u.a. Entwicklung der Bevölkerung und des Bruttoinlandsprodukts, Kernenergieausstieg bis ca. 2020, moderates Wachstum der Industrie, steigende Energiepreise) den jeweiligen Erwartungen gemäß entwickeln.<sup>20</sup> Die Methodik, die dem Referenzszenario zugrunde liegt, wird ausführlich im ersten Teil des Berichts<sup>21</sup> erläutert. Laut der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) sind Ziele des *Szenario 3* sowohl das Aufzeigen der Grenzen, die selbst durch strenge Gesetze und hohe Förderungen nicht überwunden werden können, als auch der Potenziale strenger Gesetze und hoher Förderungen.<sup>22</sup>

Das *Szenario 3* geht davon aus, dass Erneuerbare Energien verstärkt eingesetzt werden, die Laufzeit von Atomkraftwerken auf 60 Jahre ausgeweitet wird, ein intensiver Einsatz von KWK stattfinden wird und Neubauten von Anlagen mit fossilen Energieträgern mit Vorrichtungen zur CO<sub>2</sub>-Speicherung versehen werden müssen.<sup>23</sup> Zudem geht es von einer Ausweitung des Emissionshandels auf alle Energieträger, sowie steigenden CO<sub>2</sub>-Zertifikatpreisen (von 20 €/t in 2003 auf 60 €/t in 2050) aus.<sup>24</sup> Außerdem werden stets eine bestmögliche Energieeffizienz und ein umweltbewusstes Verhalten des Menschen vorausgesetzt.<sup>25</sup>

### **WWF Modell Deutschland**

Im WWF-Bericht *Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050* bildet ein eigens entwickeltes Referenzszenario, welches sich auf Annahmen der Leitstudie 2008 des BMU stützt,<sup>26</sup> die Grundlage. Ein Innovationsszenario baut auf dem Referenzszenario auf und wird in zwei Varianten modelliert, einmal ohne und einmal mit Anwendung der CCS-Technologie. Das *Modell Deutschland* erweitert das Innovationsszenario<sup>27</sup> mit zusätzlichen Maßnahmen.

Das Referenzszenario der WWF-Studie geht davon aus, dass die Technologieentwicklung zu einer stetigen, moderaten Effizienzsteigerung führt, die bisherigen ambitionierten Energie- und Klimapolitiken (u.a. Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung und Strom- und

<sup>19</sup> BMU (2009), S. 64.

<sup>20</sup> FfE (2009b), S.12 f.

<sup>21</sup> FfE (2009a).

<sup>22</sup> FfE (2009b), S.12 ff.

<sup>23</sup> ebd., S.18 f.

<sup>24</sup> ebd., S. 189. und 259.

<sup>25</sup> ebd., S.12.

<sup>26</sup> So beispielsweise WWF (2009), S.172.

<sup>27</sup> Da das *Modell Deutschland* dem Innovationsszenario entspricht, lediglich um wenige Maßnahmen erweitert, wird im Folgenden keine Unterscheidung zwischen *Modell Deutschland* und Innovationsszenario gemacht. In Kapitel 3 wird jedoch auf die Unterschiede zwischen den Varianten des Innovationsszenarios (mit und ohne CCS) hingewiesen.

Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien) fortgeführt werden<sup>28</sup> und am Ausstieg aus der Atomkraft festgehalten wird (vgl. Tabelle 2).<sup>29</sup> Des Weiteren wird die Akzeptanz von notwendigen Klimaschutzmaßnahmen durch die Bevölkerung angenommen und davon ausgegangen, dass es ein funktionierendes, ambitioniertes internationales Klimaschutzabkommen gibt.<sup>30</sup>

Der WWF geht in seinem Referenzszenario von einem europäischen Emissionshandel aus, der durch Clean Development Mechanism (CDM) und Joint Implementation (JI) ergänzt wird. Im *Modell Deutschland* wird der CO<sub>2</sub>-Handel als anerkanntes Ausgleichsprinzip angenommen.<sup>31</sup>

### **Greenpeace Plan B 2050**

Der *Plan B 2050* von Greenpeace ist eine Weiterführung des *Klimaschutz: Plan B*, dessen Erscheinungsjahr 2007 als Referenzjahr gilt.<sup>32</sup> Während Letzterer ein Konzept bis 2020 vorstellt, enthält Ersterer ein Konzept bis 2050. Seit der Veröffentlichung des *Klimaschutz: Plan B* im Jahr 2007 gibt es politisch relevante Neuerungen (Klima- und Energieprogramm, Zuwachs der Windenergie), die im *Plan B 2050* berücksichtigt wurden. Der *Klimaschutz: Plan B* dient als Grundlage für die Berechnung der Effizienzpotenziale und des Strom- und Wärmebedarfs, wobei für Letzteren auch die Ergebnisse der Leitstudie 2008 des BMU relevant sind. Ebenso dienen die Politikszenerien für den Klimaschutz des UBA (2008) sowie die Energieszenarien für den Energiegipfel 2007 als Basis.<sup>33</sup> Im *Plan B 2050* werden ein frühzeitiger Ausstieg aus der Atomkraft in 2015 (vgl. Tabelle 2) und ein Ausstieg aus der „Kohleverstromung“ bis 2030 angenommen. Statt neuer Stein- oder Braunkohlekraftwerke werden neue Gas- und Dampf-Kombikraftwerke und KWK-Anlagen gebaut.<sup>34</sup> Greenpeace bezieht in seinem Szenario die Möglichkeit zur Speicherung von CO<sub>2</sub> (CCS) nicht mit ein.<sup>35</sup> Erneuerbare Energien sollen weiterhin stark gefördert und in allen Sektoren alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden.<sup>36</sup>

Ein Europäischer Emissionshandel sowie der CDM werden ausgeschlossen, da der Fokus auf nationalen Potenzialen liegen soll.<sup>37</sup>

## **3.2 Grundannahmen der Szenarien**

Den vier verschiedenen Energieszenarien für Deutschland liegen neben den bereits aufgeführten Grundannahmen weitere Rahmendaten zugrunde. Da diese Annahmen das Ergebnis der Szenarien maßgeblich beeinflussen, ist eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Annahmen hilfreich um die Unterschiede im Ergebnis erklären und einordnen zu können.

---

<sup>28</sup> WWF (2009), S.51.

<sup>29</sup> ebd., S.51 f.

<sup>30</sup> ebd., S.170.

<sup>31</sup> ebd., S.45 f.

<sup>32</sup> Greenpeace (2009), S.1, 23.

<sup>33</sup> ebd., S.87.

<sup>34</sup> ebd., S.22.

<sup>35</sup> ebd.

<sup>36</sup> ebd., S.23.

<sup>37</sup> ebd., S.22.

**Tabelle 2:** Angenommener Ausstieg aus der Kernenergie

	BMU: Leitszenario 2009	FfE: Energie- zukunft 2050	WWF: Modell Deutschland	Greenpeace: Plan B 2050
Ausstieg aus der Atomener- gie (Jahr)	ca. 2023	kein Ausstieg	ca. 2023	2015

Quelle: BMU (2009); S.13, WWF (2009); S.1, FfE (2009b); S.316, GREENPEACE (2009), S.2.

Für den Vergleich wichtige sozioökonomische Rahmendaten sind die Entwicklung der Bevölkerungszahlen und des Bruttoinlandsproduktes.

Tabelle 3 zeigt die von den vier Szenarien angenommenen Bevölkerungszahlen für Deutschland im Jahr 2050. Da Greenpeace die sozioökonomischen Rahmendaten aus der Leitstudie 2008 des BMU übernimmt, stimmt der angenommene Wert, mit dem des Leitszenarios 2009 überein. Die FfE sowie der WWF gehen von einem stärkeren Bevölkerungsrückgang bis 2050 aus.

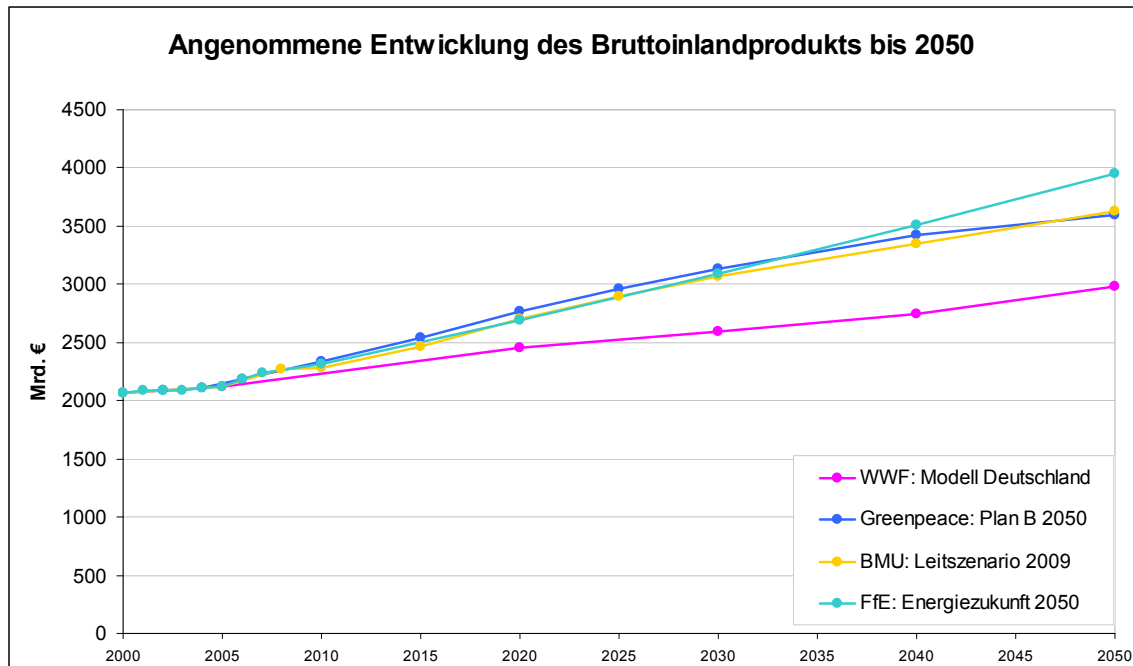
**Tabelle 3:** Angenommene Bevölkerungszahlen für Deutschland im Jahr 2050

	BMU: Leitszenario 2009	FfE: Energie- zukunft 2050	WWF: Modell Deutschland	Greenpeace: Plan B 2050
Bevölkerungs- zahlen 2050 (in Mio.)	75,1	74	72,2	75,1

Quelle: BMU (2009), S.29, FfE (2009b), S.23, GREENPEACE (2009), Anhang A, S.V, WWF (2009), S.34.

Die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes in Deutschland wird im *Leitszenario 2009*, der *Energiezukunft 2050* und dem *Modell Deutschland bis 2050* (vgl. Abbildung 1) mit unterschiedlichen Werten angegeben. Der *Plan B 2050* von Greenpeace übernimmt die Werte aus der Leitstudie 2008 des BMU. Die Kurven des *Plan B 2050* und des *Leitszenarios 2009* ähneln sich daher. Die Annahmen der FfE weichen ab etwa 2035 von denen des BMU ab und verlaufen steiler. Ein deutlich langsames wirtschaftliches Wachstum nimmt die WWF-Studie an.





**Abbildung 1: Angenommenes Bruttoinlandsprodukt bis zum Jahr 2050**

Quelle: BMU (2009), S.29, FfE (2009b), S.332, WWF (2009), S.40, BMU (2008), S.45.

### 3.3 Einbezogene Sektoren und Treibhausgase

In allen vier Szenarien werden die Sektoren Haushalte (HH), Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), Industrie und Verkehr hinsichtlich des gesamten Energiebedarfs, darunter Strom, Wärme und Brennstoffeinsatz berücksichtigt. Das Modell Deutschland geht zudem auf die Sektoren Land- und Forstwirtschaft ein. Bezüglich der Treibhausgase (THG) werden im Leitszenario 2009 und der Energiezukunft 2050 nur CO<sub>2</sub>-Emissionen betrachtet. In Modell Deutschland und Plan B 2050 werden weitere Treibhausgase (Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O, auch Lachgas genannt), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (H-FKW) zusätzlich mit einbezogen.

### 3.4 Die Szenarienziele/Szenarienergebnisse im Vergleich

Im Hinblick auf das Emissionsziel sind die Energieszenarien unterschiedlich ambitioniert, wie die Abbildung 2 verdeutlicht. Das *Leitszenario 2009* strebt langfristig eine 79,5-prozentige Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2050 an. Kurzfristig wird im *Leitszenario 2009* im Jahr 2020 eine 38,2-prozentige Minderung gegenüber dem Jahr 2005 angesteuert.<sup>38</sup>

Laut *Szenario 3 der Energiezukunft 2050* ist eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um 70 % (Referenzjahr 1990) möglich.<sup>39</sup> Hier ist jedoch darauf hinzuweisen, dass

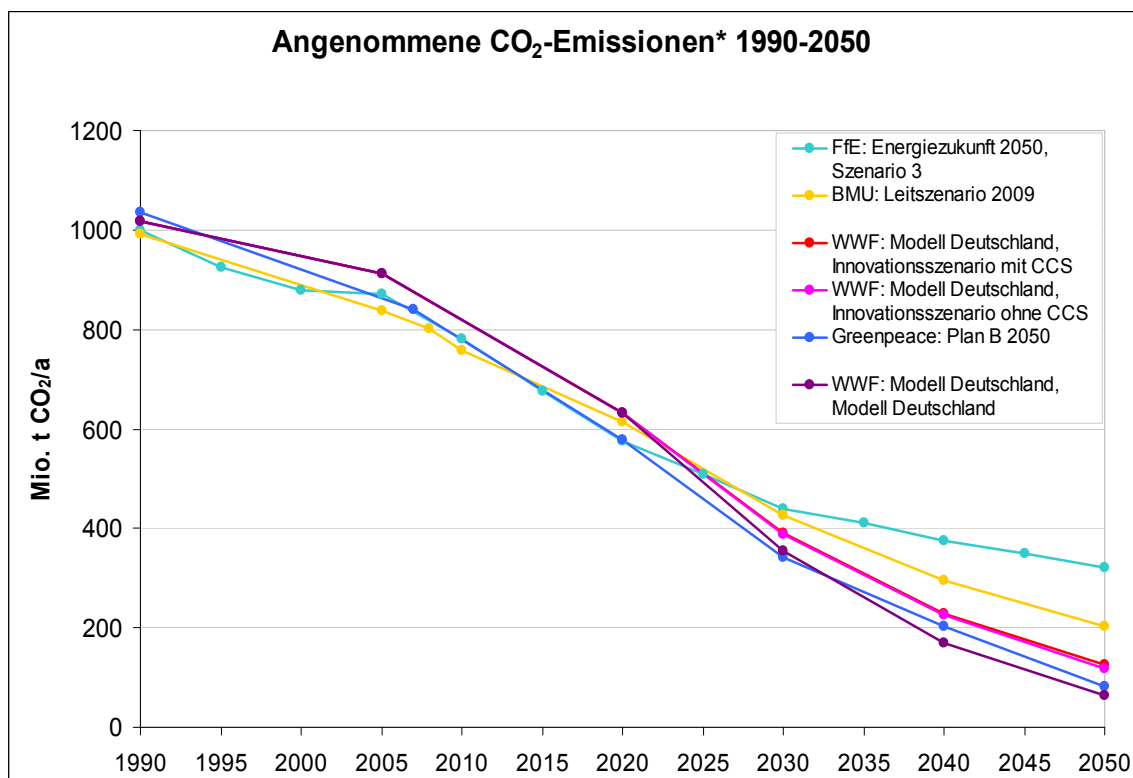
<sup>38</sup> BMU (2009), S. 9.

<sup>39</sup> FfE (2009b), S.318, 327.

in diesem Szenario hauptsächlich Bezug auf die Reduktion des Energieverbrauchs und nur knapp auf die damit einhergehende CO<sub>2</sub>-Reduzierung genommen wird.

Sowohl das *Leitszenario 2009* als auch die *Energiezukunft 2050* berücksichtigen ausschließlich energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Gegensatz dazu beziehen die WWF-Studie und die Studie von Greenpeace nicht nur die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit ein, sondern auch andere Treibhausgase. Das Innovationsszenario des WWF strebt eine Emissionsminderung aller Treibhausgase um 86-87 % (86 % mit CCS, 87 % ohne CCS) bis 2050 im Vergleich zu 1990 an. Mit den erweiterten Maßnahmen im *Modell Deutschland* lassen sich die Emissionen bis 2050 um 95 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 senken.<sup>40</sup>

Der *Plan B 2050* von Greenpeace strebt eine Reduzierung der THG-Emissionen von 90 % bis 2050 (Basisjahr 1990) an. Diese kann jedoch nur erreicht werden, wenn es gelingt, die Emissionen bis zum Jahr 2020 um 46 % des Ausstoßes von 1990 zu senken.<sup>41</sup>



**Abbildung 2: Angenommener Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2050**

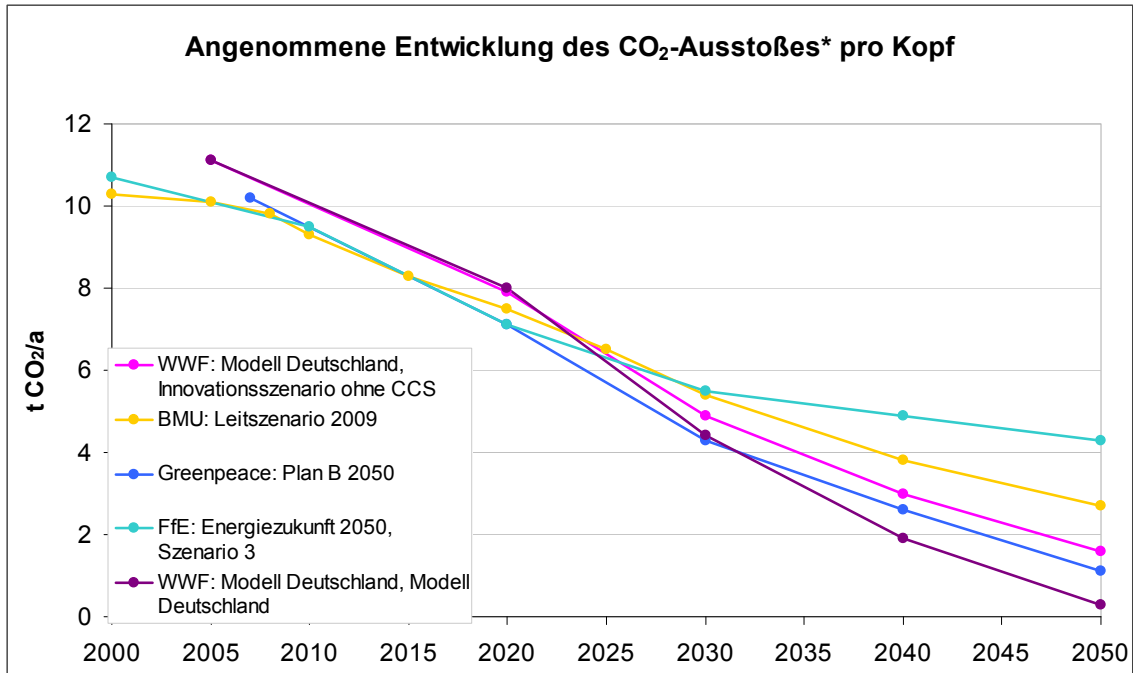
Quelle: FfE (2009), S. 318 u. 327, BMU (2009), S. 8 u. 9, WWF (2009), eigene Berechnung nach S. 281 u. 391, GREENPEACE (2009), S. 9 u. 99.

\*CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei WWF und Greenpeace.

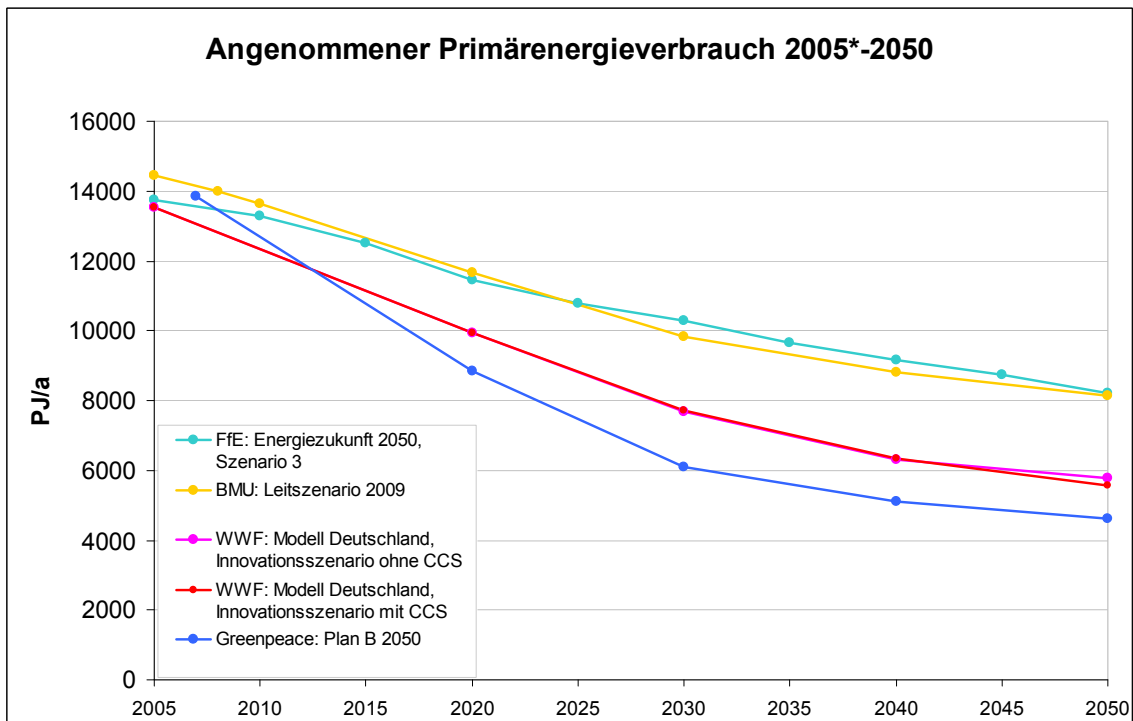
Was die angenommenen CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung und die angenommenen Bevölkerungsentwicklung für die pro Kopf Emissionen in Deutschland bedeutet, zeigt Abbildung 3. Ebenfalls entscheidend sind energetische Grundannahmen, wie der Primär- und der Endenergieverbrauch (Abbildung 4 und 5).

<sup>40</sup> WWF (2009), S.1 ff.

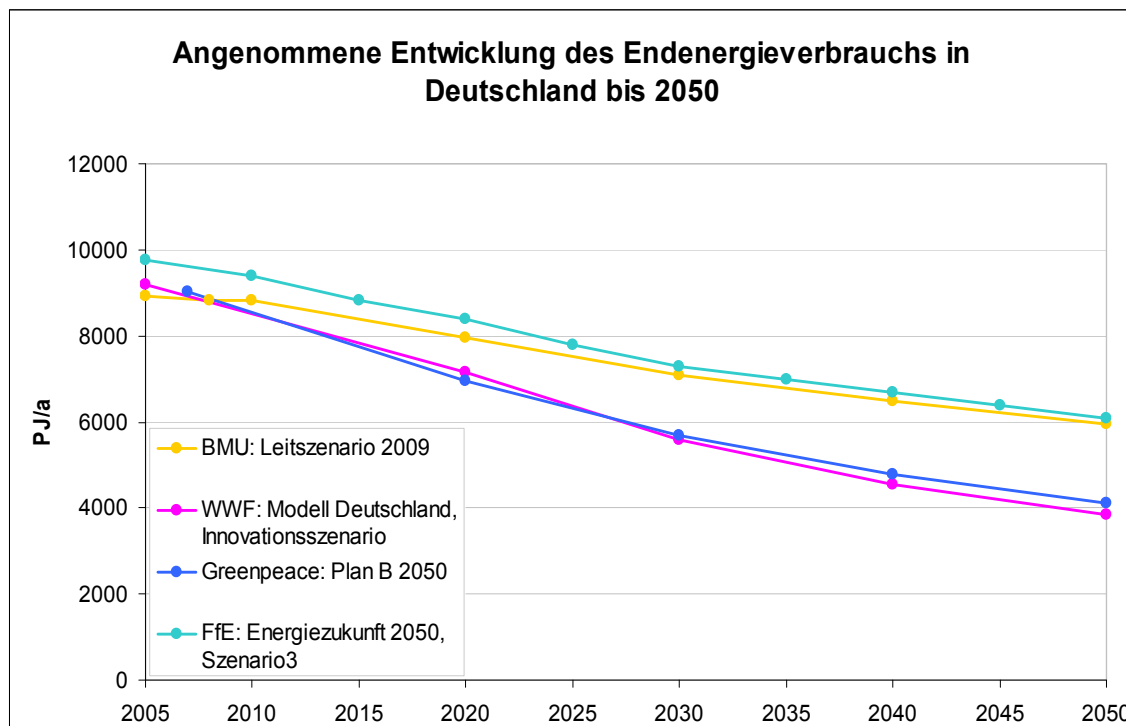
<sup>41</sup> Greenpeace (2009), S.100.



**Abbildung 3: Angenommene Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Austoßes pro Kopf bis 2050**  
 Quelle: WWF (2009), S.284 und 395, BMU (2009), S.29, FfE (2009b), eigene Berechnung nach S.23 und 318, GREENPEACE (2009), eigene Berechnung nach S.99 und Anhang A, S.V.  
 \*CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei WWF und Greenpeace.



**Abbildung 4: Angenommener Primärenergieverbrauch 2005\*-2050**  
 Quelle: BMU (2009), S.9, FfE (2009b), S.318, Greenpeace (2009), Rückseite, WWF (2009), S.348 u. 350.  
 \*Greenpeace Plan B 2050: 2007-2050



**Abbildung 5: Angenommener Endenergieverbrauch 2005\*–2050**

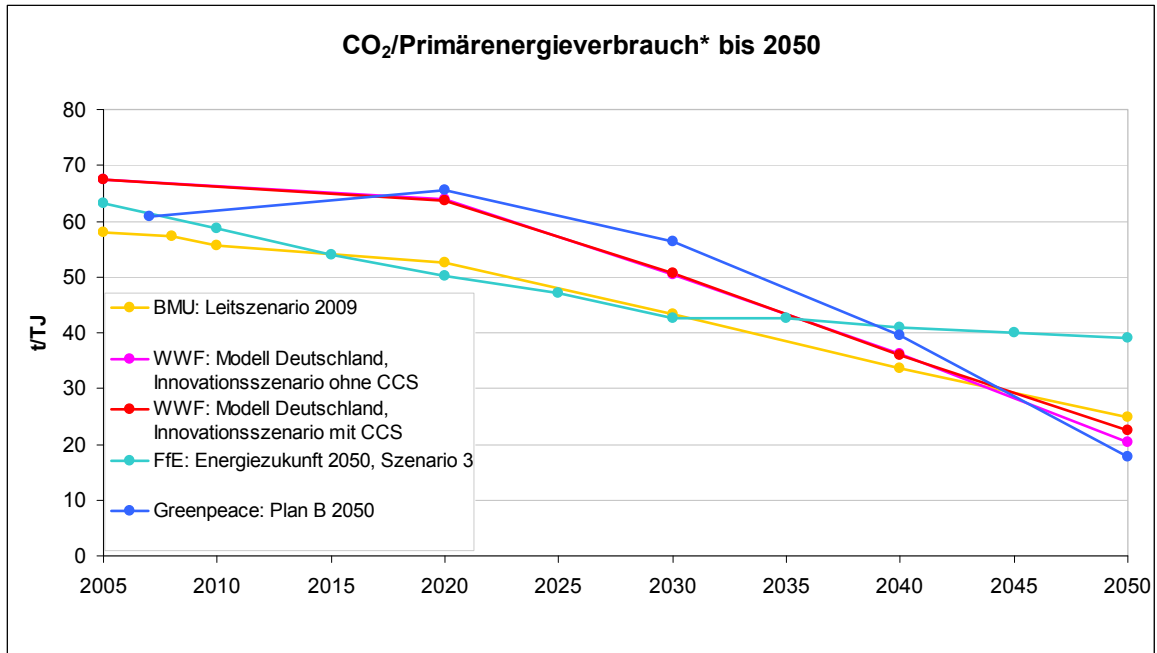
Quelle: BMU (2009), S.9, FfE (2009b), S.328, Greenpeace (2009), eigene Berechnung nach S.88, WWF (2009), S.234.

\*Greenpeace *Plan B 2050*: 2007–2050

Abbildung 4 und 5 zeigen einen Szenarienvergleich zum Primär- bzw. Endenergieverbrauch bis 2050. Sowohl bei Primär- als auch Endenergieverbrauch nehmen die FfE und das BMU über den gesamten Zeitraum hinweg die höchsten Werte an. Der WWF und Greenpeace gehen, besonders zum Ende des betrachteten Zeitraums hin, von deutlich niedrigeren Werten aus. Spannend ist weiterhin, dass in der WWF-Studie ein niedrigerer Endenergieverbrauch angenommen wird aber ein höherer Primärenergieverbrauch als im Greenpeace-Szenario. Dies zeigen die deutlich höheren Effizienzannahmen im Greenpeace-Szenario.

Die Werte für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Primärenergieverbrauch (vgl. Abbildung 6) nehmen bis 2050 in allen Szenarien stark ab. Eine Ausnahme bildet die Annahme des *Plan B 2050*, dessen Kurve bis 2020 leicht ansteigt. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass die CO<sub>2</sub>-Intensität im *Plan B 2050* zunächst, aufgrund eines früher angenommenen Atomausstiegs, gegenüber den anderen Szenarien schlechter ist. Im Jahr 2050 erreicht sie dann aber den niedrigsten Wert. Die Kurve des *Szenario 3* der *Energiezukunft 2050* fällt zunächst relativ steil ab, ab dem Jahr 2030 ist jedoch kaum noch ein Rückgang zu verzeichnen.

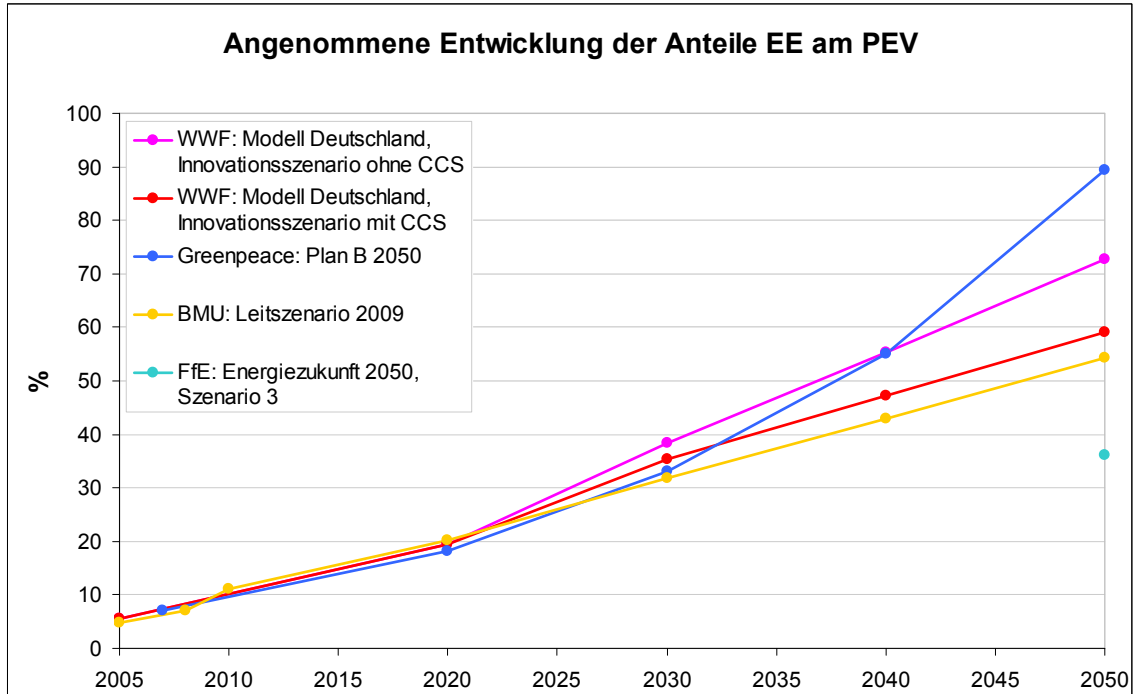
Der Rückgang des CO<sub>2</sub> pro Primärenergieverbrauch ist maßgeblich auf einen starken Anstieg der Erneuerbaren Energien und deren zunehmenden Anteil am Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2050 zurückzuführen, wie in Abbildung 7 dargestellt.



**Abbildung 6: Angenommene Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes pro PEV bis 2050**

Quelle: WWF (2009), eigene Berechnung nach S.284, S.348 und 350, BMU (2009), eigene Berechnung nach S.9 und 29, FfE (2009b), eigene Berechnung nach S.318, Greenpeace (2009), eigene Berechnung nach S.99 und Rückseite.

\*CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei WWF.



**Abbildung 7: Angenommene Entwicklung der Anteile Erneuerbarer Energien (EE) am PEV bis 2050**

Quelle: WWF (2009), eigene Berechnung nach S.264 und 266, BMU (2009), S.9, FfE (2009b), 318, Greenpeace (2009), eigene Berechnung nach S.114.

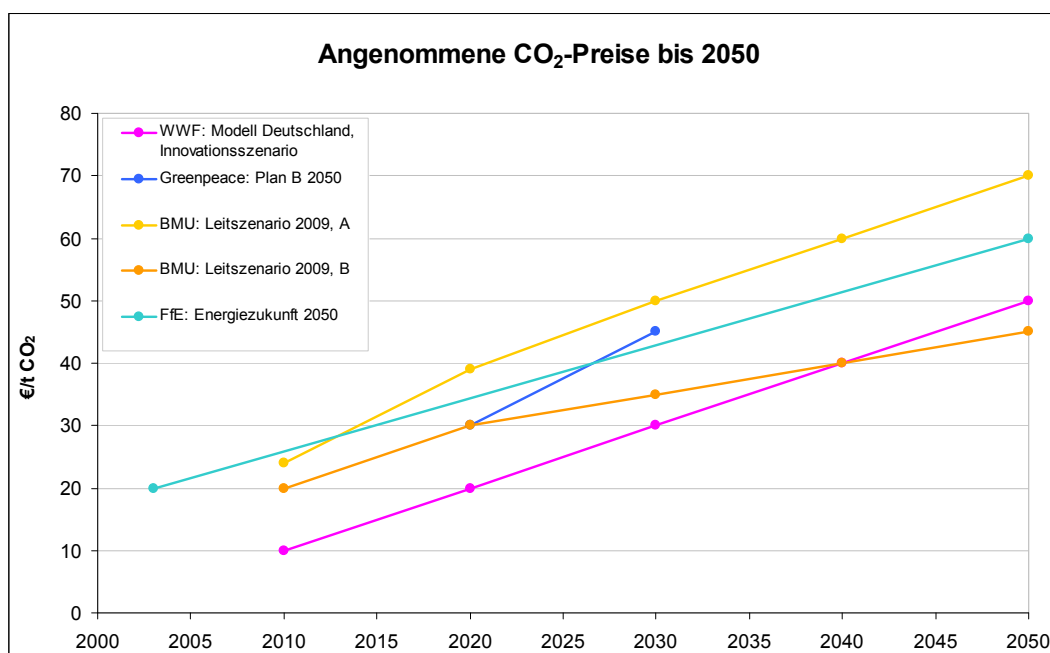
Zunächst verlaufen die Kurven des *Leitszenarios 2009*, der Innovationsszenarien des *Modell Deutschland* sowie des *Plan B 2050* nahezu gleich (bei *Energiezukunft 2050* liegt

lediglich ein Wert für das Jahr 2050 vor). Ab dem Jahr 2020 laufen die Kurven des BMU und des WWF langsam auseinander. Die Kurve des *Plan B 2050* liegt im Jahr 2050 mit knapp 90 % der Erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieverbrauch weit über den Werten der anderen Szenarien. Die FfE nimmt im *Szenario 3* der *Energiezukunft 2050* im Jahr 2050 mit 36 % den geringsten Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch an.

Neben sozioökonomischen und energetischen Rahmendaten spielen auch die Preisentwicklungen fossiler Energieträger bei der Szenarienberechnung eine entscheidende Rolle. Im Folgenden (vgl. Abbildungen 8 bis 10) werden die in den vier Szenarien angenommenen Preisentwicklungen für eine Tonne CO<sub>2</sub>, Rohöl und Steinkohle bis 2050 dargestellt.

Die Daten des BMU stammen aus der Leitstudie 2008, die noch von drei verschiedenen Preispfaden (A: „Deutlicher Anstieg“, B: „Mäßiger Anstieg“ und C: „Sehr niedrig“) ausgeht. Im *Leitszenario 2009* werden nur noch die beiden Entwicklungspfade A und B berücksichtigt.<sup>42</sup>

Bezüglich der Energiepreise setzt das BMU in seinem *Leitszenario 2009* voraus, dass das Kostenniveau herkömmlicher Energieträger über die Vorteile der Einführung von Erneuerbaren Energien entscheidet. Da der Steinkohlepreis überwiegend durch den Preis der CO<sub>2</sub>-Zertifikate bestimmt wird, ist eine Wirksamkeit des zukünftigen CO<sub>2</sub>-Handels entscheidend für einen fairen Wettbewerb fossiler und Erneuerbarer Energien.<sup>43</sup>



**Abbildung 8: Angenommene CO<sub>2</sub>-Preise bis 2050**

Quelle: WWF (2009), S. 45 und 284, BMU (2009), S.64, FfE (2009b), S.177, Greenpeace (2009), Anhang B, S. VI, Berechnung v. Greenpeace nach Greenpeace International und EREC (2007), S.29.

Die Annahmen zur Entwicklung der Preise für eine Tonne CO<sub>2</sub> variieren bei den verschiedenen Szenarien stark. Bis zum Jahr 2040 wird im *Modell Deutschland* des WWF

<sup>42</sup> BMU (2009), S.64.

<sup>43</sup> ebd., S.51.

der niedrigste Preis angenommen, im Jahr 2050 liegt der des Preispfades B des *Leitszenarios 2009* unter dem des WWF. Betrachtet man lediglich das Jahr 2050, so ist festzustellen, dass das BMU neben dem angenommenen niedrigsten Preis (Preispfad B) auch den im Vergleich höchsten Preis (Preispfad A) annimmt. Die Preise unterscheiden sich um 25 €/t CO<sub>2</sub>. Auffällig ist die Kurve des *Plan B 2050*. Sie beginnt erst im Jahr 2020 und endet im Jahr 2030. Der Grund dafür, dass nach 2030 keine Aussage mehr hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Preises gemacht wird, liegt in der zu hohen Unsicherheit, die nach Ansicht von EUTech belastbare Zahlenangaben für diesen fernen Zeitraum nicht erlauben. Dennoch war die Studie *Energy [R]evolution*, in der eine weltweite Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises von 2010 (10 \$/t CO<sub>2</sub>) bis 2050 (50 \$/t CO<sub>2</sub>) modelliert wird, Grundlage für die Berechnung des Greenpeace-Szenarios.<sup>44</sup>

In den folgenden Darstellungen zur Rohöl- und Steinkohlepreisentwicklung (vgl. Abbildungen 9 und 10) werden die CO<sub>2</sub>-Preise nicht mit einbezogen.

Die angenommene Preisentwicklung von Rohöl (vgl. Abbildung 9) zeigt deutlich voneinander abweichende Werte. Besonders auffällig ist die Kurve des *Szenarios 3*, die zeigt, dass die FfE ab dem Jahr 2010 einen Rückgang des Rohölpreises annimmt.

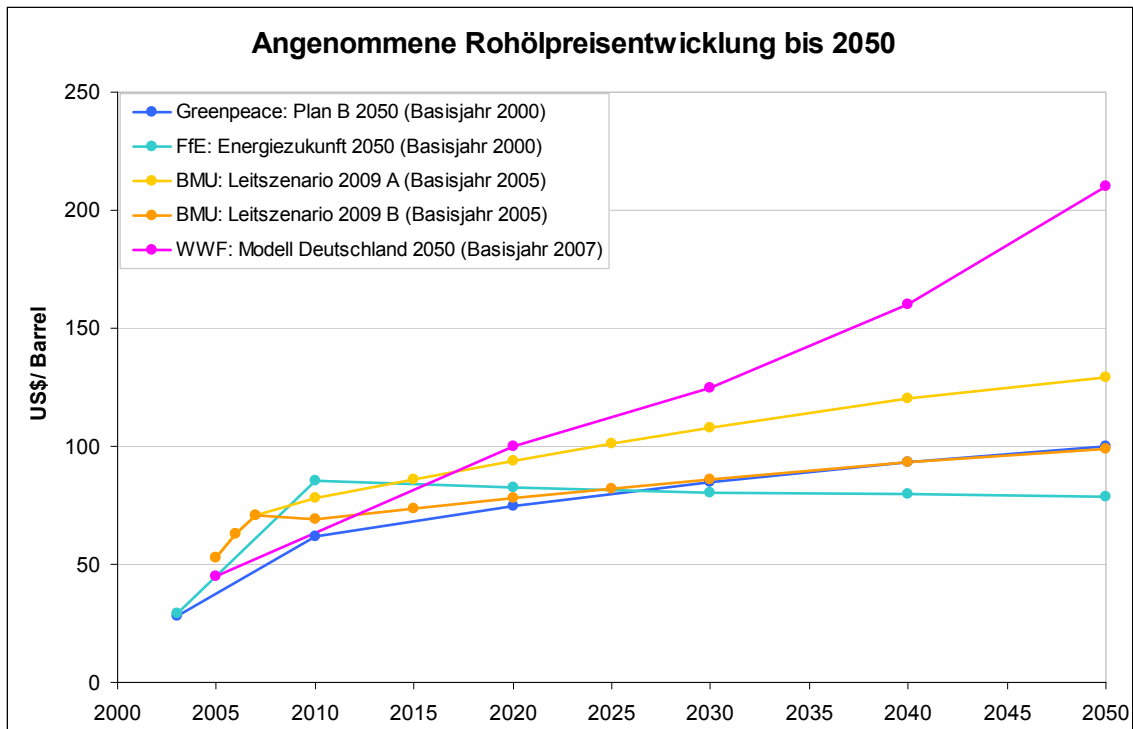
Ebenso wie die Annahmen zur Ölpreisentwicklung variieren auch die zur Steinkohlepreisentwicklung stark. In dem Zeitraum von 2003/2005 bis 2050 geht Greenpeace von einer Preissteigerung aus, die bei lediglich knapp 50 €/t liegt. Dem gegenüber steht der Preispfad A des *Leitszenarios 2009* mit einem angenommenen Preisanstieg von knapp 230 €/t.

Die im Folgenden (vgl. Abbildungen 11 und 12) dargestellten angenommenen Entwicklungen des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes pro Bruttoinlandsprodukt und des Primärenergieverbrauches pro Bruttoinlandsprodukt geben Anhaltspunkte für die angenommene Entwicklung der Effizienz in Deutschland.

In Abbildung 11 verlaufen die Kurven weitestgehend parallel und gehen nur zum Ende des Betrachtungszeitraums hin etwas stärker auseinander. Auffallend ist auch das in allen Szenarien die CO<sub>2</sub>-Intensität bis 2030 relativ stärker steigt als nach 2030.

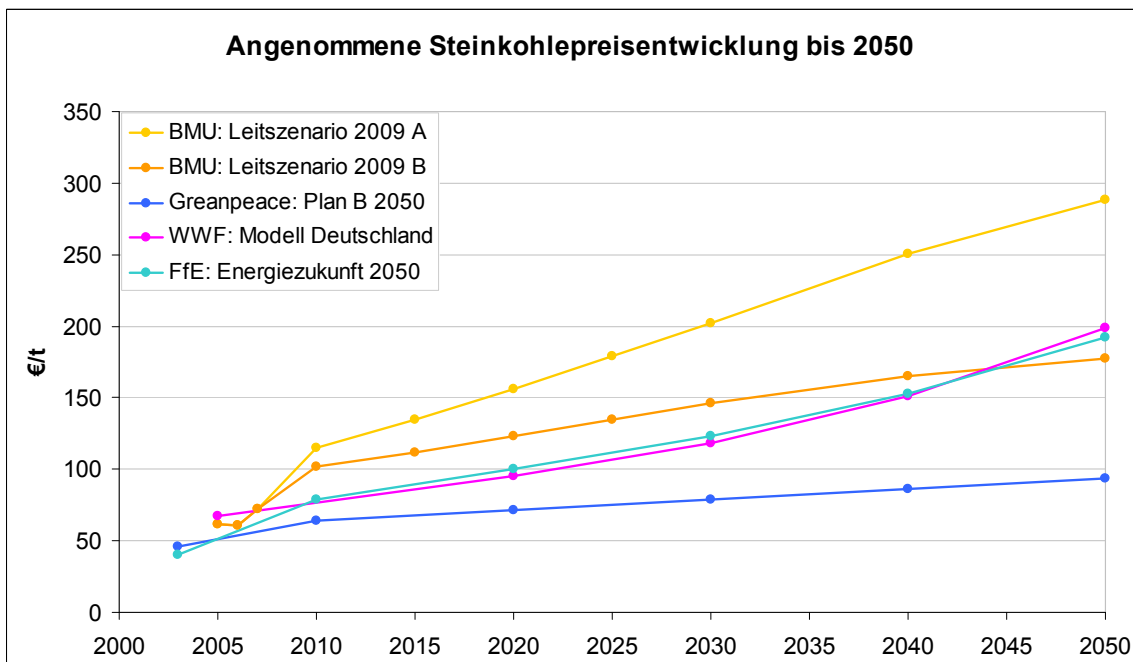
---

<sup>44</sup> Greenpeace International u. EREC (2007), S.29.



**Abbildung 9: Angenommene Rohölpreisentwicklung 2003/2005 bis 2050**

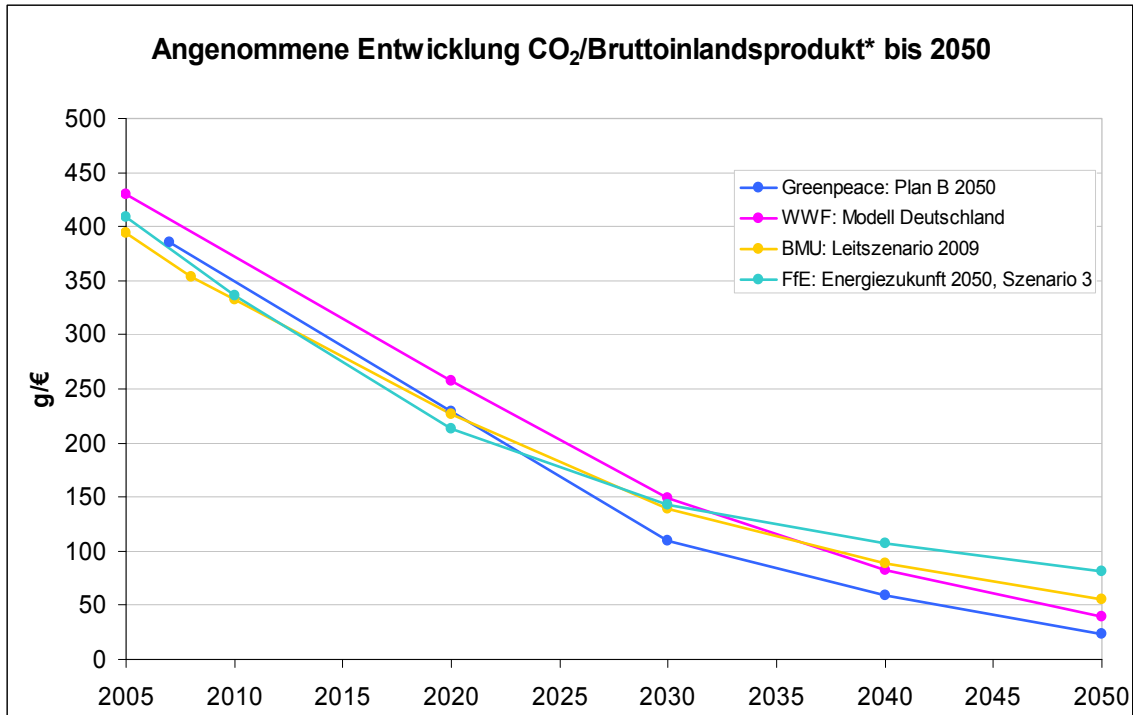
Quelle: BMU (2008), S.51 f., FfE (2009b), S.35, Greenpeace (2009), Anhang B-1, S.VI, Greenpeace International u. European Renewable Energy Council (2007), S.19, WWF (2009), S.45.



**Abbildung 10: Angenommene Steinkohlepreisentwicklung 2003/2005 bis 2050**

Quelle: BMU (2008), S.51 f., FfE (2009b), S.36, Greenpeace (2009), Anhang B-1, S.VI, Greenpeace International u. European Renewable Energy Council (2007), S.19, WWF (2009), S.45.

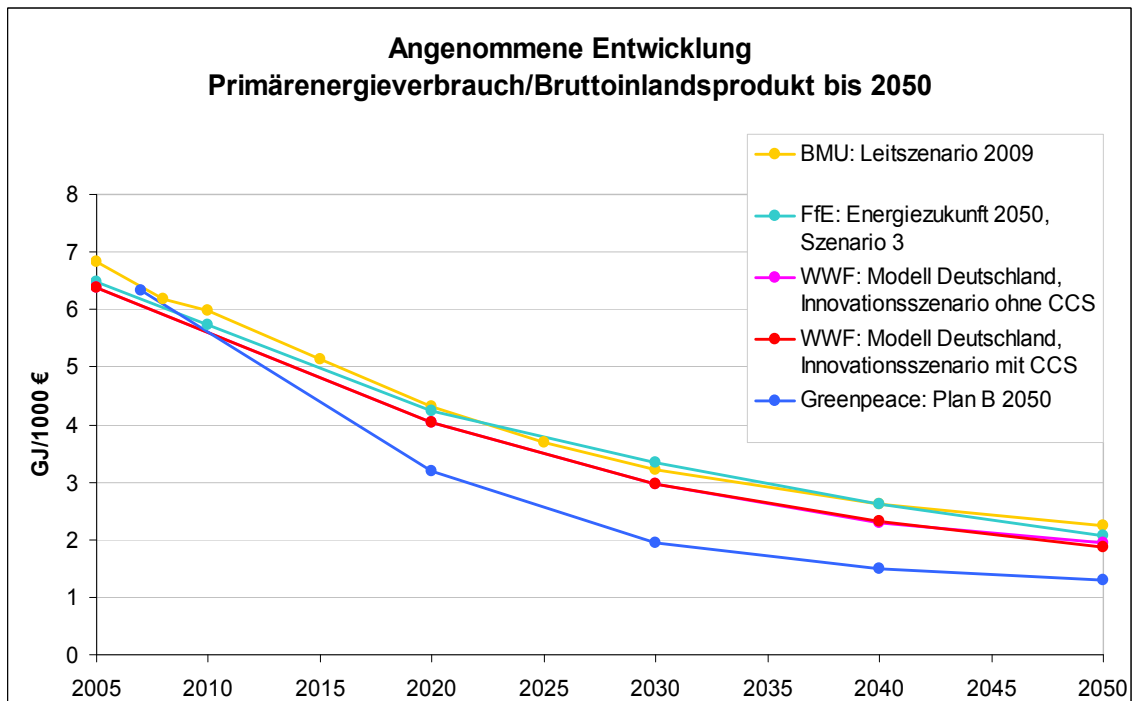




**Abbildung 11: Angenommene Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Austoßes pro BIP bis 2050**

Quelle: WWF (2009), S.284, BMU (2009), eigene Berechnung nach S.9 und 29, FfE (2009b), eigene Berechnung nach S.318 und 332, Greenpeace (2009), eigene Berechnung nach S.99 und BMU (2008), S.45.

\*CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei WWF.



**Abbildung 12: Angenommene Entwicklung des PEV pro Einheit Bruttoinlandsprodukt bis 2050**

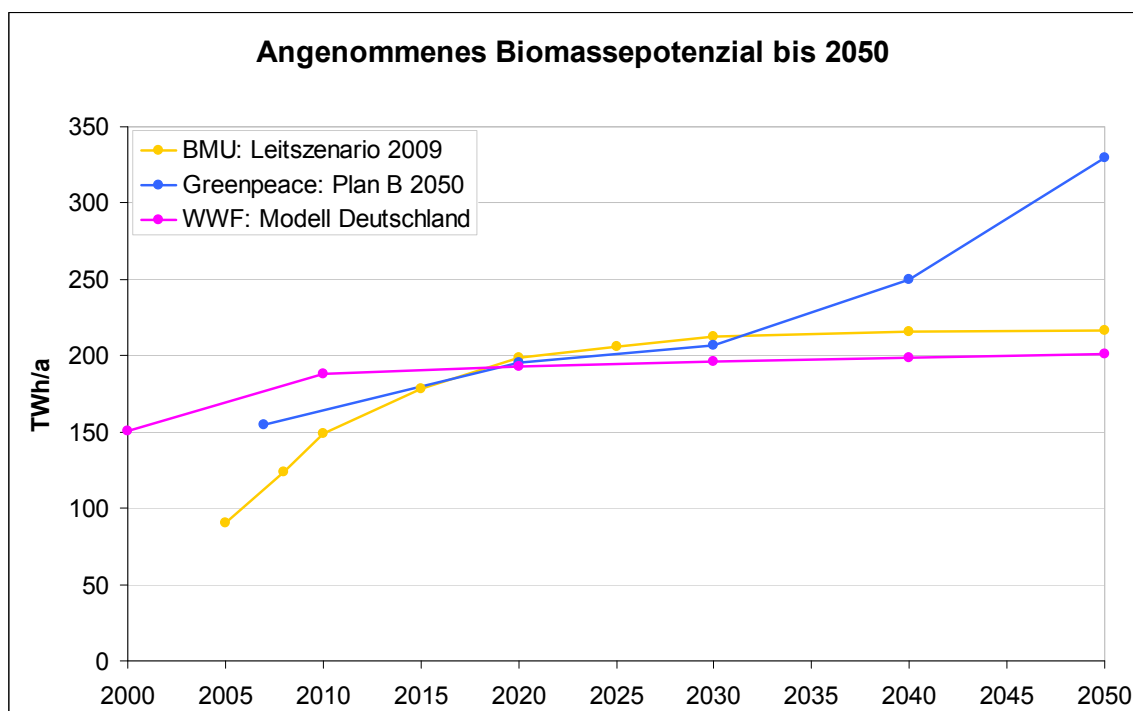
Quelle: WWF (2009), eigene Berechnung nach S.284, S.348 und 350, BMU (2009), S.29, FfE (2009b), eigene Berechnung nach S.318 und 332, Greenpeace (2009), eigene Berechnung nach Rückseite und BMU (2008), S.45.

Abbildung 12 zeigt, dass die Annahmen des BMU, der FfE und des WWF zur Entwicklung des Primärenergieverbrauches pro Einheit Bruttoinlandsprodukt bis 2050 einen ähnlichen Verlauf haben. Lediglich die Kurve des *Plan B 2050* von Greenpeace zeigt deutlich niedrigere Werte.

Für die Berechnungen der Entwicklung und der Einsparpotenziale im Verkehrssektor sind die Personen- und Güterverkehrsleistung wichtige Kenngrößen.

Das BMU, der WWF und die FfE stellen Daten zur angenommenen Personenverkehrsleistung im Jahr 2050 zur Verfügung. Greenpeace verweist auf das Wuppertal Institut<sup>45</sup>, das seine Annahmen auf eine Studie von EWI u. Prognos stützt, die 2005 im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit erstellt wurde.<sup>46</sup> Das Wuppertal Institut und somit auch der *Plan B 2050*, liefern nur Daten bis zum Jahr 2030.

Zu den Grundannahmen der verschiedenen Szenarien gehört außerdem das Biomassepotenzial. Abbildung 13 zeigt einen Vergleich für die drei Szenarien *Leitszenario 2009*, *Plan B 2050* und *Modell Deutschland*. Der WWF übernimmt die Daten aus der Studie des UBA (UBA 2004), von der FfE liegen keine Daten vor.



**Abbildung 13: Angenommenes Biomassepotenzial bis 2050**

Quelle: BMU (2009), S.11 und 15, Greenpeace (2009), S. 55, WWF (2009), S.27.

Auffällig ist, dass alle Szenarien von unterschiedlichen Ausgangswerten ausgehen. Bis zum Jahr 2020 laufen die angenommenen Werte auf einen nahezu gleichen Wert hin. Ab 2020 laufen sie dann zunächst langsam, dann stärker auseinander. Ab dem Jahr 2030 verläuft die Kurve des Plan B 2050 deutlich steiler als die beiden übrigen und liegt im Jahr 2050 mit 330 TWh/a weit über den Werten des WWF und des BMU. Greenpeace

<sup>45</sup> Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2006), S.35.

<sup>46</sup> BMWA (2005).

geht in seiner Studie von neuen Anbauflächen aus, die ab 2040 für Energiepflanzen zur Verfügung stehen. So kann die Biomassenutzung bis zum Jahr 2050 gegenüber 2007 verdoppelt werden. Aufgrund des Ziels einer nachhaltigen Nutzung und nur begrenzt zur Verfügung stehender Fläche sollte jedoch von einem darüber hinausgehenden Anbau abgesehen werden.<sup>47</sup>

### 3.5 Kosten der Szenarien

Im Folgenden werden die Kosten der Szenarien näher dargestellt. Da sich die Grundannahmen und die Betrachtung der Kosten in den einzelnen Szenarien sehr unterscheiden, ist ein direkter Vergleich nur bedingt möglich.

Die Kosten des *Leitszenario 2009* werden anhand der so genannten Differenzkosten des Ausbaus der Strom- und Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien dargestellt. Diese berechnen sich auf Basis der Kosten der Stromgestehung<sup>48</sup>, Wärmeerzeugung und Kraftstoffproduktion, welche bei den fossilen Energien wiederum den Preis von Rohöl und einer Tonne CO<sub>2</sub> beinhalten.<sup>49</sup> Somit haben die Energiepreispfade (Pfad A und Pfad B) Einfluss auf die Differenzkosten des Ausbaus der Erneuerbaren Energien.<sup>50</sup>

Grundsätzlich wird bei den Erneuerbaren Energien von einer Degression der Stromgestehungskosten von derzeit ca. 10 ct/kWh auf ca. 6 ct/kWh in 2050 ausgegangen.<sup>51</sup> Die Differenzkosten der Erneuerbaren Energien im Strombereich steigen im *Leitszenario 2009* noch bis 2015 (von 4,7 Mrd. €/a in 2008 auf 6,2 Mrd. €/a). Danach sinken sie und werden um das Jahr 2024 negativ. Im Jahr 2030 „sparen“ sie der Volkswirtschaft bereits 7 Mrd. €/a.<sup>52</sup>

Die Differenzkosten des Ausbaus Erneuerbarer Energien in allen Sektoren (Strom, Wärme und Kraftstoffe) steigen im *Leitszenario 2009* von 8,5 Mrd. €/a in 2008 bis auf ein Maximum von 10 Mrd. €/a in 2012, wenn deutliche Preissteigerungen fossiler Brennstoffe und von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten gemäß Pfad A (Leitpreis Rohöl in 2020: 94 \$ (Barrel; CO<sub>2</sub>-Preis: 39 €/t)<sup>53</sup> zugrunde gelegt werden.<sup>54</sup> Die 10 Mrd. €/a verteilen sich wie folgt: 6,3 Mrd. €/a für den Stromsektor, 2,5 Mrd. €/a für den Wärmesektor und 1,3 Mrd. €/a für den Kraftstoffsektor.<sup>55</sup> Dem Preispfad A folgend entstehen im Jahr 2023 keine Differenzkosten mehr und danach treten sogar negative Differenzkosten ein, welche der Volkswirtschaft zwischen 2021 und 2030 bereits 42 Mrd. €/a ersparen und in der Periode 2031 bis 2040 sogar 270 Mrd. €/a.<sup>56</sup>

Bei nur „mäßigen“ Preisanstiegen (Preispfad B; Leitpreis Rohöl in 2020: 78 \$/2005/Barrel; CO<sub>2</sub>-Preis: 30 €/t) beträgt der Spitzenwert 12 Mrd. €/a um 2015.<sup>57</sup> Danach

<sup>47</sup> Greenpeace (2009), S.54.

<sup>48</sup> Stromgestehung bezeichnet den Vorgang der Umwandlung von Energie in Strom.

<sup>49</sup> BMU (2009), S. 17.

<sup>50</sup> ebd., S. 4.

<sup>51</sup> ebd., S. 103.

<sup>52</sup> ebd., S. 65.

<sup>53</sup> ebd., S. 17.

<sup>54</sup> ebd., S. 66.

<sup>55</sup> ebd.

<sup>56</sup> ebd., S. 18.

<sup>57</sup> ebd., S. 66.

sinken die Differenzkosten und werden um das Jahr 2030 negativ.<sup>58</sup> Letztendlich führt das *Leitszenario 2009* aber bei beiden Preispfaden, auch bei dem als unwahrscheinlich geltenden Pfad B<sup>59</sup>, zu einem volkswirtschaftlich günstigen Ergebnis. Die bis 2020 zu erbringenden zusätzlichen Aufwendungen erweisen sich als eine energiepolitisch und volkswirtschaftlich sinnvolle Investition.<sup>60</sup>

In der *Energiezukunft 2050* werden keine Angaben zu den Gesamtkosten der Stromerzeugung bzw. den volkswirtschaftlichen Kosten des *Szenarios 3* gemacht.

Das Innovationsszenario des WWF betrachtet den Verlauf der Vollkosten der Stromerzeugung. Hierzu gehören sämtliche Kosten, die für den Bau und den Betrieb der Kraftwerke anfallen, sowie Investitionskosten und Brennstoffkosten (inkl. CO<sub>2</sub>-Kosten).<sup>61</sup>

Im Referenzszenario ohne CCS würden vor allem aufgrund des Zubaus an Gaskraftwerken die Stromgestehungskosten zwischen 2005 und 2050 um 80 % von 5,2 auf 9,4 ct/kWh steigen.<sup>62</sup> Die Vollkosten der gesamten Erzeugung erhöhen sich um 63 % (von 30,5 Mrd. € in 2005 auf 49,8 Mrd. € in 2050).<sup>63</sup> Das Referenzszenario mit CCS hat 2050 Stromgestehungskosten von 9,1 ct/kWh und geringfügig niedrigere Vollkosten von 48,5 Mrd. €.<sup>64</sup>

Im Innovationsszenario ohne CCS steigen die Gestehungskosten je kWh von 2005 bis 2050 um 61 %.<sup>65</sup> Gegenüber dem Referenzszenario ergeben sich also Einsparungen, die auf die starke Kostendegression der Erneuerbaren Energien zurückzuführen sind.<sup>66</sup> In Verbindung mit der verringerten Stromnachfrage führt dies zu einem wesentlich geringeren Anstieg der Vollkosten. Im Innovationsszenario ohne CCS steigen die Vollkosten daher lediglich um 25 % (von 30,5 Mrd. € in 2005 auf 38 Mrd. € in 2050).<sup>67</sup> Das Innovationsszenario mit CCS führt zu ähnlichen Gestehungskosten wie die Variante ohne CCS. Aufgrund der deutlich geringeren Speicherinvestitionen liegen die Vollkosten der Stromerzeugung aber erheblich darunter und sind 2005 mit 36 Mrd. € nur um 18 % höher als 2005.<sup>68</sup>

Für die einzelnen Sektoren (Haushalte, Dienstleistungen und Industrie, Verkehr) werden Kostenabschätzungen gemacht, bei denen Mehrinvestitionen in allen Bereichen (Infrastruktur, Ausbau der Erneuerbaren Energien, Sanierungsarbeiten etc.) und volkswirtschaftliche Einsparungen durch vermiedene Energieträgerimporte und geringere Vollkosten der Stromerzeugung gegen gerechnet werden. Über alle Sektoren summieren sich Netto-Mehrkosten des *Modell Deutschland* von maximal 15 Mrd. € im Jahr 2024, was 0,62 % des BIP entspricht.<sup>69</sup> Ab dem Jahr 2044 übertreffen die Einsparungen im Innova-

---

<sup>58</sup> ebd.

<sup>59</sup> ebd.

<sup>60</sup> ebd., S. 19.

<sup>61</sup> WWF (2009), S. 128.

<sup>62</sup> WWF (2009), S. 129.

<sup>63</sup> ebd., S. 129.

<sup>64</sup> ebd., S. 137.

<sup>65</sup> ebd., S. 252.

<sup>66</sup> ebd.

<sup>67</sup> ebd., S. 253.

<sup>68</sup> ebd., S. 261.

<sup>69</sup> ebd., S. 372.

tionsszenario mit und ohne CCS die Mehrkosten. Im Jahr 2050 werden der Volkswirtschaft 5,2 Mrd. € (ohne CCS) bzw. 6,4 Mrd. € (mit CCS) erspart. Bezogen auf den gesamten Betrachtungszeitraum, sind mit der zusätzlichen Emissionsreduktion im Innovationsszenario Netto-Mehrkosten in Höhe von 0,3 % des BIP verbunden.<sup>70</sup>

Im *Plan B 2050* wird bis 2030 die Entwicklung der Stromgestehungskosten, sowie die Differenz zwischen kumulierten Mehrinvestitionskosten und Einsparungen durch vermiedene Brennstoffimporte für einen Vergleich zwischen dem *Plan B 2050* und einem business-as-usual-Szenario, welches die aktuellen Erzeugungs- und Bedarfsstrukturen fortbeschreibt, betrachtet. Demnach reduzieren die Maßnahmen des *Plan B 2050* die Stromgestehungskosten um 10 % bis 2020 im Vergleich zu dem business-as-usual-Szenario.<sup>71</sup> Im Jahr 2030 werden etwa gleiche Stromgestehungskosten verursacht. Die Mehrinvestitionen für Klimaschutzmaßnahmen belaufen sich bis zum Jahr 2020 im *Plan B 2050* auf gut 110 Mrd. €. <sup>72</sup> Dem gegenüber stehen kumulierte Energiekosteneinsparungen durch vermiedene Brennstoffimporte bis 2020 um bereits knapp 145 Mrd. €. <sup>73</sup> Auch die über den Betrachtungszeitraum 2007 bis 2030 kumulierten jährlichen Einsparungen durch vermiedene Brennstoffimporte und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Greenpeace-Szenario sind deutlich größer als die notwendigen Mehrinvestitionen in den Klimaschutz.<sup>74</sup> Mit Bezugnahme auf den von der britischen Regierung beauftragten Stern-Report, der die gesamtwirtschaftlichen Folgen der globalen Erwärmung untersucht, kommt die Greenpeace-Studie zu dem Schluss, dass die Kosten des Nicht-Handelns deutlich höher sind als die Kosten des Handelns.<sup>75</sup>

In allen Szenarien, ausgenommen die Energiezukunft 2050, wird davon ausgegangen, dass die notwendigen Maßnahmen in den kommenden Jahren zusätzliche Kosten (insbesondere hohe Investitionen in Energiesysteme und Energieeffizienz) verursachen, die sich volkswirtschaftlich aber in einem überschaubaren Rahmen halten. Es gibt allerdings große Unterschiede bezüglich des Zeitpunktes, an dem die Szenarien Maximalkosten erreichen und ab wann keine Nettokosten mehr entstehen. Im Leitszenario 2009 werden Maximalkosten in Höhe von 10 Mrd. €/a bereits im Jahr 2012 erreicht, während dies beim Modell Deutschland erst 2024 (15 Mrd. €/a) der Fall ist. Entsprechend überwiegen laut dem Leitszenario 2009 bereits nach 2023 die Ersparnisse gegenüber den Investitionen. Im Modell Deutschland ist dies erst nach 2044 der Fall. Das volkswirtschaftliche Ergebnis für den gesamten Betrachtungszeitraum variiert ebenfalls. Während das Leitszenario 2009 erhebliche Nettoersparnisse nach 2023 errechnet und die Maßnahmen insgesamt als volkswirtschaftlich günstig wertet und im *Plan B 2050* von Greenpeace die Einsparungen schon bis 2020 deutlich größer sind als die Mehrinvestitionen, entstehen im Modell Deutschland insgesamt Kosten in Höhe von 0,3 % des BIP.

---

<sup>70</sup> ebd., S. 372.

<sup>71</sup> Greenpeace (2009), S. 127.

<sup>72</sup> ebd., S. 119.

<sup>73</sup> ebd., S. 120.

<sup>74</sup> ebd., S. 121.

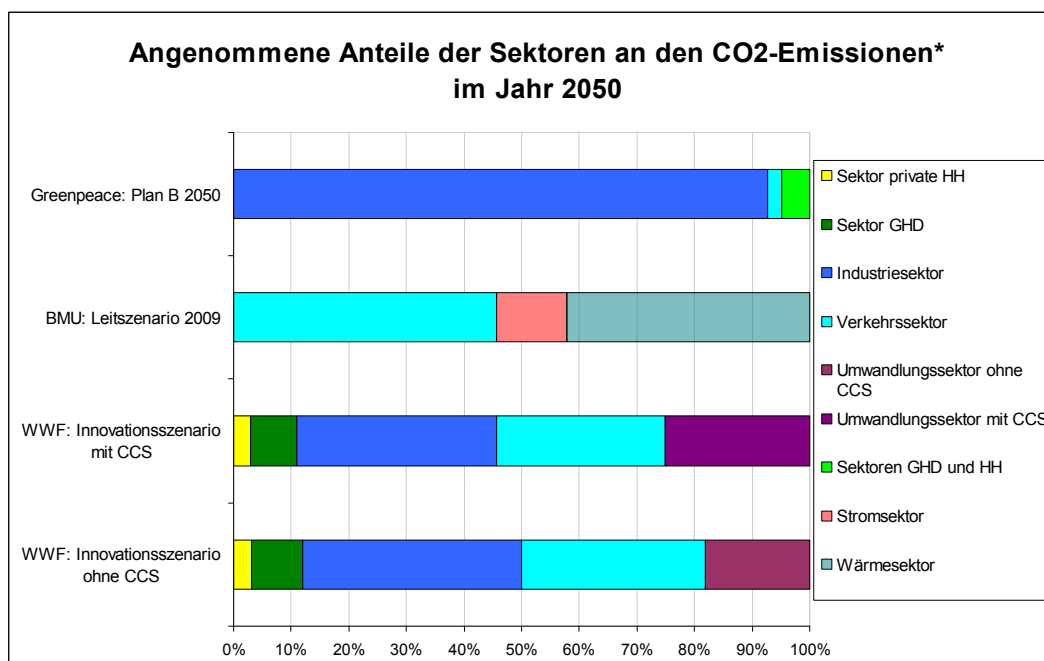
<sup>75</sup> ebd.

## 4 Maßnahmen und Sektoren im Vergleich

Im Folgenden werden die Kernergebnisse der Szenarien in den Sektoren Verkehr, Gebäude, Umwandlung (Strom) und Industrie dargelegt. Jeweils im Anschluss werden die wichtigsten zielführenden Maßnahmen, die in den Szenarien identifiziert wurden, vorgestellt. Das Unterkapitel 4.2 gibt eine kurze Übersicht dieser Maßnahmen und benennt zudem Maßnahmen, die sich den beschriebenen Sektoren nicht zuordnen lassen und somit im weiteren Vergleich nicht behandelt werden. Allen Szenarien inhärent sind weitgehende Maßnahmenkataloge zur Steigerung der Effizienz in allen beschriebenen Sektoren. Eine strikte Trennung zwischen Effizienz- und Nichteffizienzmaßnahmen ist nicht in jedem Fall praktikabel. Dennoch werden die wichtigsten Maßnahmen im Bereich der Effizienz im Unterkapitel 4.7 gesondert vorgestellt.

### 4.1 Gegenüberstellung der Sektoren

Abbildungen 14 und 15 zeigen eine sektorenbezogene Gegenüberstellung der Energie-szenarien.



**Abbildung 14: Angenommener Anteil der einzelnen Sektoren am CO<sub>2</sub>-Ausstoß\* im Jahr 2050**

Quelle: Greenpeace (2009), S.99, BMU (2009), S.95, WWF (2009), S.268. \* alle THG im Innovationsszenario des WWF

Der Vergleich der Annahmen über die Anteile, die die einzelnen Sektoren im Jahr 2050 an den CO<sub>2</sub>-Emissionen haben (vgl. Abbildung 14) zeigt zunächst, dass alle Szenarien von unterschiedlichen Sektoren ausgehen. Der Verkehrssektor ist der einzige, der in allen Szenarien auftaucht. In den Szenarien des BMU und des WWF hat er mit knapp einem Drittel bzw. fast der Hälfte einen großen Anteil an den jeweiligen Restemissionen, im Szenario von Greenpeace ist der Anteil mit etwas über 2 % hingegen sehr gering. Damit

kann Greenpeace sein Ziel von einem emissionsfreien Verkehrssektor bis 2050 nahezu erreichen (minus 99 % gegenüber 2007). Dafür wird von einem signifikanten Wechsel hin zu emissionsfreien Antriebstechnologien ab 2020, von einer Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den öffentlichen Personenverkehr und der Güter von der Straße auf die Schiene sowie dem Einsatz Erneuerbarer Energien (regenerativer Strom, Biogas, Agrarkraftstoffe) ausgegangen.<sup>76</sup>

Besonders auffällig ist, dass der Industriesektor im *Plan B 2050* mit mehr als 90 % nahezu alle für 2050 erwarteten CO<sub>2</sub>-Emissionen ausstößt. Insgesamt geht Greenpeace für das Jahr 2050 von einer Emissionsminderung um etwa 90 % gegenüber dem Jahr 1990 aus. Dazu trägt der Umwandlungssektor, der im Jahr 2050 emissionsfrei ist, am stärksten bei. Auch die Sektoren Verkehr sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Haushalte haben einen großen Anteil an der Emissionsminderung. Da im Industriesektor die prozessbedingten Emissionen mit knapp 70 % den größten Anteil ausmachen, ist eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Austoßes gegenüber den anderen Sektoren vergleichsweise schwierig.<sup>77</sup> So lässt sich der große Anteil des Industriesektors an den Gesamtemissionen im Jahr 2050 erklären.

Der Vergleich der beiden Szenarien des WWF zeigt, dass durch eine Anwendung der CCS-Technologie der Anteil des Umwandlungssektors an den Emissionen steigt. Die höheren Emissionen in der Variante mit CCS kommen zustande, da in der CO<sub>2</sub>-Berechnung der Stromerzeugung die Erneuerbaren Energien als CO<sub>2</sub>-neutral bewertet werden, während man bei Kohlekraftwerken mit CCS-Technologie von einer Abscheiderate von 90 % ausgeht.<sup>78</sup> Das heißt, dass Kohlekraftwerke mit CCS einen Emissionsfaktor von einem Zehntel des Wertes konventioneller Kraftwerke haben und somit weiterhin CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre gelangen. Dadurch haben die anderen Sektoren einen relativ geringeren Emissionsanteil gegenüber der Variante ohne CCS. Die absoluten Werte der THG-Emissionen sind jedoch in beiden Szenarien bei den Sektoren Verkehr, Industrie, GHD sowie private Haushalte gleich.

Da die Forschungsstelle Energiewirtschaft leider keine Daten für einen sektoralen Vergleich zu Verfügung stellt, kann hier auch nicht weiter darauf eingegangen werden.

Abbildung 15 zeigt den Endenergieverbrauch der verschiedenen Sektoren für die Jahre 2005 (2007 bei *Plan B 2050*) und 2050. Besonders auffällig ist, dass die FfE im Industriesektor mit einem deutlichen Anstieg des Endenergieverbrauchs rechnet, während die anderen Szenarien von einem Rückgang ausgehen. Dies wird begründet durch eine stark wachsende Nachfrage nach Strom durch den massiven Ausbau der Elektromobilität. Für alle anderen Sektoren geht der Endenergieverbrauch in allen Szenarien zum Teil stark zurück.

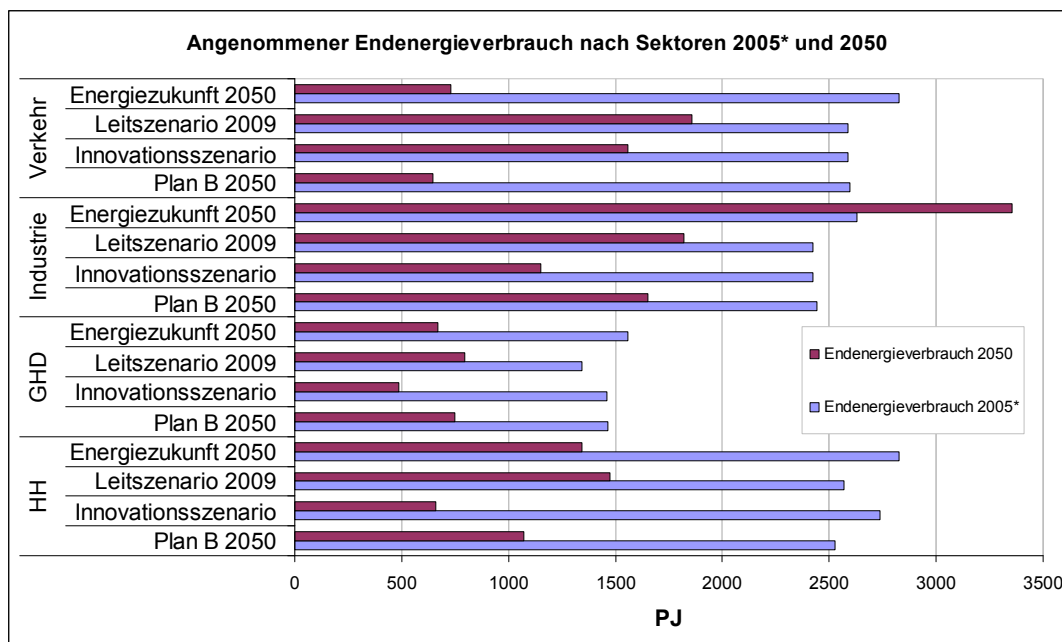
---

<sup>76</sup> Greenpeace (2009), S.49 f.

<sup>77</sup> ebd., S.99.

<sup>78</sup> WWF (2009), S. 260.





**Abbildung 15: Angenommener Endenergieverbrauch nach Sektoren für 2005\* und 2050**

Quelle: BMU (2009), S.93, FfE (2009b), S.320, Greenpeace (2009), S.88, WWF (2009), S.234.

\*Für Greenpeace *Plan B 2050*: 2007 und 2050

## 4.2 Grundlegende Maßnahmen und Handlungsfelder

Im *Leitszenario 2009* wurden als generelle Maßnahmen die Teilstrategien „Substantieller Ausbau Erneuerbarer Energien“ sowie „Deutlich erhöhte Nutzungseffizienz in allen Sektoren“ und „Erhöhte Umwandlungseffizienz durch einen verstärkten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und den Ersatz von Altkraftwerken durch effizientere Kraftwerke“ gewählt.<sup>79</sup> In der Betrachtung des Zeitraums bis 2050 werden die Maßnahmen wie folgt gewichtet:

- Am wichtigsten ist hier der Ausbau der Erneuerbaren Energien im Stromsektor,
- gefolgt von Effizienzmaßnahmen im Wärmebereich und
- an dritter Stelle folgt eine Effizienzsteigerung der Stromnutzung in Verbindung mit einem Zubau der KWK bei der Stromerzeugung.<sup>80</sup>

Diese drei Bereiche tragen zwischen 1990 und 2050 mit 60 % erheblich zur Emissionsminderung bei. Danach folgen mit gleicher Wichtigkeit eine Effizienzsteigerung im Verkehrssektor sowie der Ausbau der Erneuerbaren Energien im Wärmesektor und an letzter Stelle folgt der Ausbau von erneuerbaren Kraftstoffen.<sup>81</sup> Empfohlen wird zudem ein europaweites Handlungskonzept wie zum Beispiel die Vorbereitung eines europäischen Stromverbundes, um die Erneuerbare Energien-Potenziale in ganz Europa zu nutzen.<sup>82</sup>

<sup>79</sup> BMU (2009), S. 4.

<sup>80</sup> Die KWK-Technologie, die bei der Stromerzeugung zur Anwendung kommt, hat zwar auch Auswirkungen auf die Raumwärme und somit den Gebäudesektor und spielt zudem eine Rolle bei Industrieprozessen, wird aber in diesem Vergleich vorwiegend unter dem Kapitel zum Umwandlungssektor behandelt.

<sup>81</sup> BMU (2009), S. 77.

<sup>82</sup> ebd., S.79.



Maßnahmen im *Szenario 3* der *Energiezukunft 2050* bauen auf denen zur Steigerung der Technikeffizienz aus *Szenario 2* desselben Berichts auf und finden sowohl auf politischem Feld als auch im privaten Bereich statt. Eine erhöhte Technikeffizienz soll durch steigende Energiepreise sowie energiepolitische Maßnahmen realisiert werden. Als konkrete Maßnahme wird ein Labelling-System vorgeschlagen, das helfen soll, ineffiziente Geräte schnellstmöglich durch die beste am Markt verfügbare Technik zu ersetzen und den Innovationsdruck auf Seiten der Hersteller zu erhöhen. Eine gesteigerte Technikeffizienz soll außerdem durch die Wiederverwertbarkeit von Geräten erreicht werden. Als übergreifende, politische Maßnahme wird vorgeschlagen nicht nur bestimmte Industriezweige durch einen Emissionshandel zu niedrigeren Emissionen zu bringen, sondern alle Akteure (in GHD, HH und Verkehr) zu einer gewissen Reduktion zu verpflichten.<sup>83</sup> Neben den für *Szenario 2* genannten werden in *Szenario 3* weitere Maßnahmen vorgestellt, die am Verhalten ansetzen. Hierbei werden zum einen ein individueller (Reduzierung des Energiebedarfs hauptsächlich im privaten Umfeld), zum anderen ein gemeinschaftlicher (Maßnahmen in öffentlichen Einrichtungen z.B. Senkung der Raumtemperatur, Lichteinsatz etc.) Ansatz zum energiesparenden Verhalten betrachtet. Im Bereich der Produktion sind ebenfalls Umstrukturierungen nach Gesichtspunkten der Energieeffizienz erforderlich. Unternehmen können bspw. durch Änderung der Nachfrage, Verzicht auf bestimmte Produkte im Produktionsprozess und Verkürzung der Transportwege zur Energieeinsparung beitragen. Das *Szenario 3* rechnet zudem mit einer Verringerung des Individualverkehrs sowie einer Veränderung der Siedlungsstruktur auf längere Sicht. Die Ziele in *Szenario 3* können nur durch ein energiebewusstes Handeln von allen Beteiligten sowie durch den Einsatz der besten zur Verfügung stehenden Technik erreicht werden.

Vorgeschlagene Maßnahmen im *Modell Deutschland* setzen insbesondere auf Effizienzsteigerungen.<sup>84</sup> Außerdem wird dem Ausbau der Erneuerbaren Energien eine große Bedeutung beigemessen. Politische Maßnahmen des *Modell Deutschland*, die sich keinem der im Vergleich folgenden Sektoren zuordnen lassen, sind die rechtlich verbindliche Festlegung der Emissionsminderungsziele für Deutschland auf mindestens 40 % bis 2020, 60 % bis 2030 und 95 % bis 2050 auf Basis der Emissionen von 1990. Zudem wird die Errichtung eines „Rat[s] von Sachverständigen für Klimapolitik“<sup>85</sup> und die Einführung eines Limits („Cap“) des EU-Emissionshandelssystems auf 60 % unter dem von 2005, wobei nicht beteiligte Anlagen eine THG-Emissionssteuer von 30 €/t CO<sub>2</sub> zahlen.<sup>86, 87</sup>

Der *Plan B 2050* erläutert in Kapitel 6 ausführlich Maßnahmen, die für das Erreichen des Reduktionsziels hilfreich sind. Greenpeace fordert neben dem Ausbau der dezentralen Stromerzeugung ebenso Neuinvestitionen in hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung bei Erdgaskraftwerken, anstelle von Braun- und Steinkohlekraftwerken. Die Maßnahmen werden in drei Punkten wie folgt zusammengefasst:

<sup>83</sup> FfE (2009b), S.328.

<sup>84</sup> WWF (2009), S.171 ff.

<sup>85</sup> ebd., S.414.

<sup>86</sup> ebd., S.414 f.

<sup>87</sup> Weitere nicht energiebezogene Maßnahmen des Szenarios des WWF, die sich den behandelten Sektoren nicht zuordnen lassen, sind die Reduktion des Fleischkonsums pro Person von derzeit jährlich 60 kg auf 20 kg in 2050 durch Kampagnen und durch Preisänderungen, die Einführung von Fördersystemen für nachhaltige Forstwirtschaft und die Verringerung der zugelassenen Flächenversiegelung auf 30 ha/Tag (2020) von gegenwärtig 110 ha/Tag.

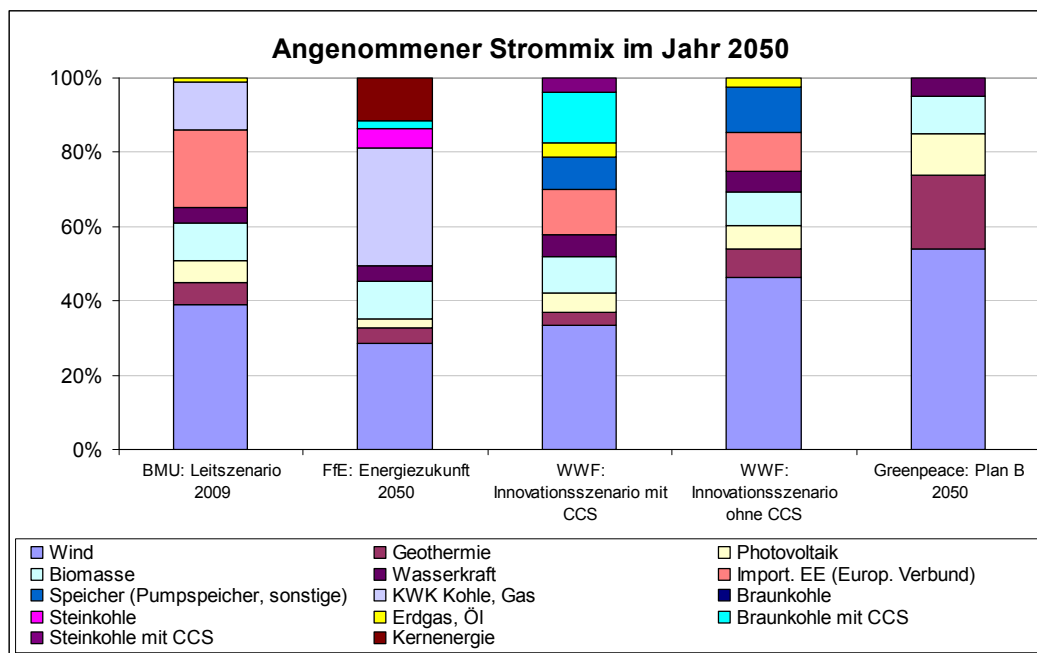
- Reduzierung des Energiebedarfs durch Effizienzerschließung,
- Wechsel von fossilen zu Erneuerbaren Energien,
- bestmögliche Brennstoffausnutzung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen.<sup>88</sup>

### 4.3 Umwandlungssektor

Der Umwandlungssektor nimmt in den Energieszenarien eine zentrale Stellung ein. Eine Umstrukturierung dieses Sektors ist die Basis für beides: das Erreichen der Klimaschutzziele und die Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Außerdem gibt sie wichtige Impulse für die nötige Neugestaltung anderer Sektoren, wie beispielsweise des Verkehrssektors. Besondere Bedeutung hat, neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien bei gleichzeitigem Ausstieg aus Atomkraft und konventioneller Kohleverstromung, der Aus- und Umbau der Stromnetze und -speicher.

#### 4.3.1 Szenarienziele im Umwandlungssektor

Die vier Energieszenarien gehen jeweils von einer unterschiedlichen Zusammensetzung der gesamten Stromerzeugung für das Jahr 2050 aus.



**Abbildung 16: Annahmen zum Strommix im Jahr 2050**

Quelle: Greenpeace (2009), S.94, WWF (2009), eigene Berechnung nach S.249 u. 258, BMU (2009), S.89., FfE (2009), eigene Berechnung S. 315–317.

Den größten Anteil macht bei allen Szenarien, außer der *Energiezukunft 2050*, die Windenergie (onshore und offshore) aus. In der *Energiezukunft 2050* macht die Windenergie hinter KWK-Kraftwerken nur den zweitgrößten Anteil aus. Weitere Energieträger, die in allen Annahmen auftauchen, wenn auch mit unterschiedlichen Anteilen, sind Wasser, Biomasse, Photovoltaik und Geothermie. Alle anderen Komponenten variieren stark. So

<sup>88</sup> Greenpeace (2009), S. 1.

geht Greenpeace beispielsweise von einem zu 100 % aus Erneuerbaren Energien bestehenden Strommix für das Jahr 2050 aus, das Innovationsszenario ohne CCS sieht den Anteil bei immerhin 97,5 % und die *Energiezukunft 2050* bei lediglich 49,5 %. Die Szenarien des WWF, der FfE sowie das *Leitszenario 2009* nehmen auch im Jahr 2050 noch Kohle-, Gas- und Ölanteile am Strommix an. In dem Szenario *Energiezukunft 2050* wird noch im Jahr 2050 von einem 12-prozentigen Anteil des Atomstroms ausgegangen.

Das *Leitszenario 2009* und die Innovationsszenarien des WWF modellieren einen Import von Strom aus Erneuerbaren Energien aus dem europäischen Stromverbund, der langfristig auch Strom aus solarthermischen Kraftwerken Nordafrikas einschließt. Vorteile werden besonders aus ökonomischer Sicht, aus Gründen der Energieversorgungssicherheit sowie einer verbesserten Integrationsmöglichkeit Erneuerbarer Energien in die Gesamtstromversorgung, gesehen.<sup>89</sup> Auffällig ist, dass die Innovationsszenarien nicht prioritär auf die Option des Stromimports setzen,<sup>90</sup> während Stromimporte im *Leitszenario 2009* mit einem Anteil von 21 % den zweitgrößten Posten des Strommixes ausmachen.

Das *Modell Deutschland* des WWF berücksichtigt in einer Variante des Innovationsszenarios die Möglichkeit zur CO<sub>2</sub>-Speicherung (CCS). Besonders bei großtechnischen Prozessen zur Stromerzeugung sowie bei Industrieprozessen wird diese Option als sinnvolle Möglichkeit zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen mit einbezogen. Die CCS-Technologie ermöglicht es weiterhin, fossile Energieträger zu nutzen und gleichzeitig die Atmosphäre mit einer vergleichsweise nur noch geringen Menge an CO<sub>2</sub> zu belasten. Durch eine Anwendung der Technologie bei der Verbrennung von Biomasse könnten sogar negative Emissionen erzielt werden. Grundsätzlich sind laut WWF die Funktionsfähigkeit der Prozesse und chemische Verfahrensfragen geklärt und große Demonstrationsprojekte befinden sich bereits im Bau und in Betrieb. Ungeklärt sind derzeit noch Sicherheits- und Akzeptanzfragen bei Lagerung und Transport des CO<sub>2</sub>. Weitere Unklarheiten bestehen im Zusammenhang mit geeigneten Lagerstätten, der Prüfung auf Sicherheit und Tauglichkeit sowie der Genehmigungsfähigkeit.<sup>91</sup>

Der WWF geht davon aus, dass ab dem Jahr 2025 nur noch Kraftwerke mit CCS zugebaut werden. Alte Kraftwerke werden nicht nachgerüstet und sind ab ca. 2045 nicht mehr wirtschaftlich.<sup>92</sup>

Die verschiedenen Szenarien treffen unterschiedliche Annahmen darüber, wie lange die Kohle als Energieträger bei der Stromerzeugung dient.

Im *Leitszenario 2009* wird die Kohle differenziert betrachtet (vgl. Abbildung 17). So werden sowohl Werte für Steinkohle, Braunkohle, als auch Stein- und Braunkohle mit KWK und auch industriell genutzte Kohle mit KWK (Stein- und Braunkohle) angegeben. Stein- und Braunkohle ohne KWK verlieren zunehmend an Wichtigkeit und tauchen 2050 genau wie beim Innovationsszenario des *Modell Deutschland* gar nicht mehr im Strom-Mix auf. Die Kurven für Braun- und Steinkohle mit KWK sowie die Kurve für industriell-

---

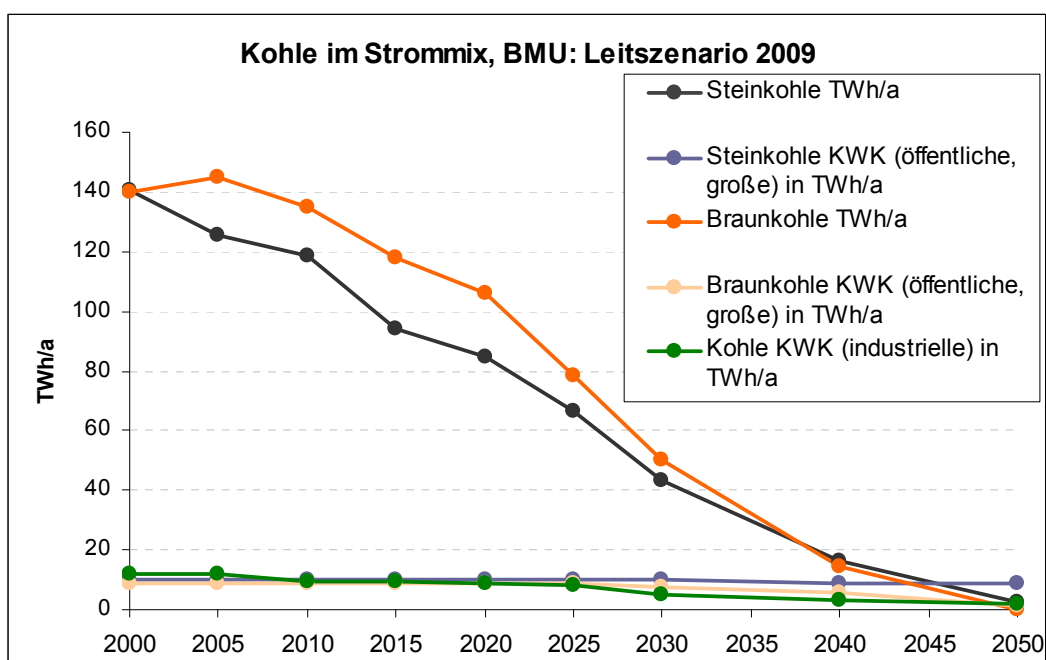
<sup>89</sup> BMU (2009), S.43.

<sup>90</sup> WWF (2009), S.172.

<sup>91</sup> ebd., S.24.

<sup>92</sup> ebd., S.255.

le Kohle mit KWK bleiben über den gesamten Zeitraum auf einem niedrigen Niveau und unterliegen nur geringfügigen Schwankungen.

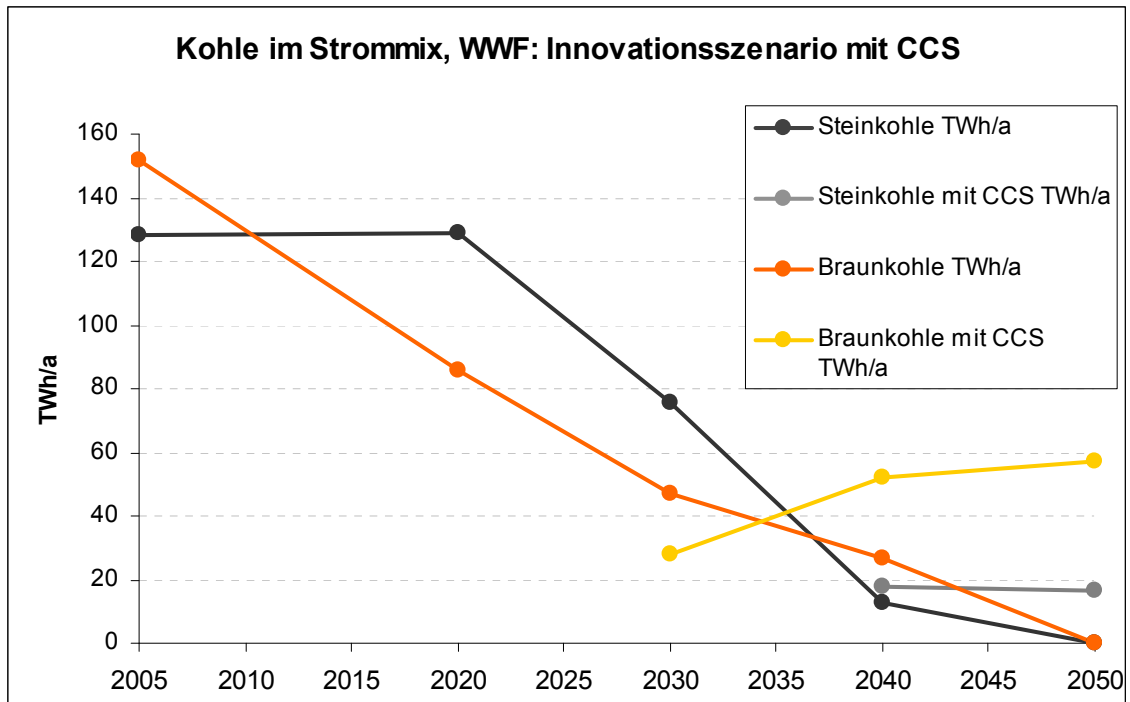


**Abbildung 17: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Strommix bis 2050 im Leitszenario 2009**

Quelle: BMU (2009), eigene Berechnung nach S. 89.

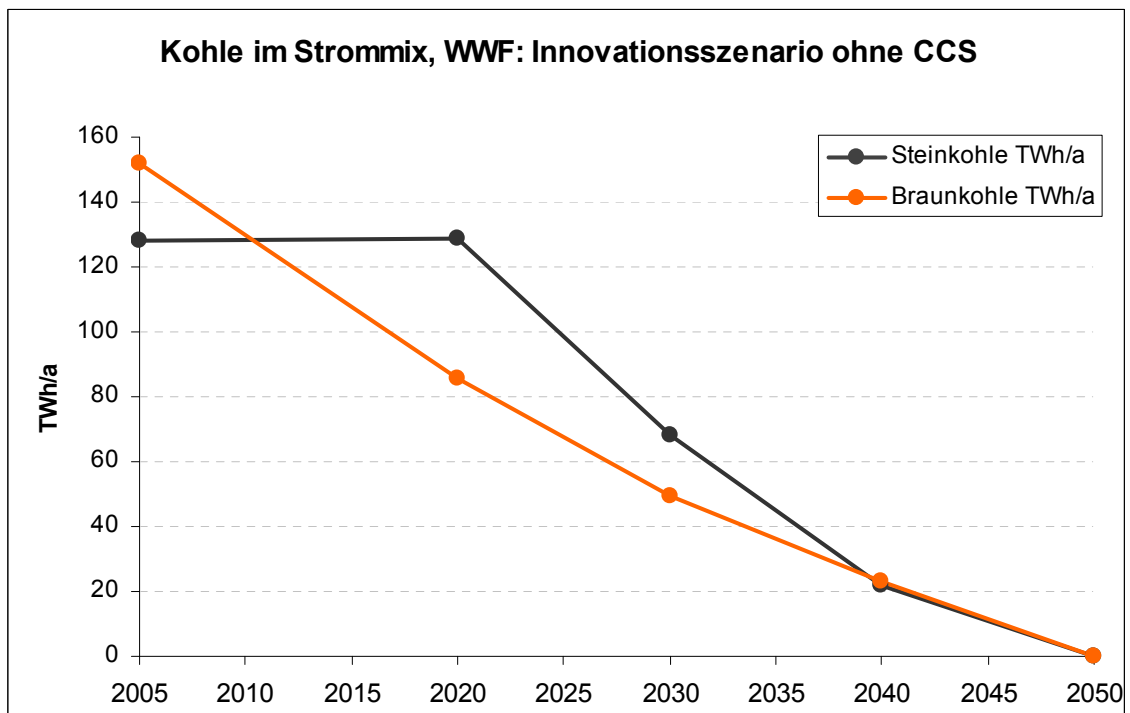
Abbildung 18 stellt den im Innovationsszenario mit CCS (WWF) angenommenen Anteil der Kohle am Strommix im Zeitraum von 2005 bis 2050 dar. Sowohl Stein- als auch Braunkohle bei deren Umwandlung die CCS-Technologie nicht zum Einsatz kommt, spielen demnach eine zunehmend schwächere, ab dem Jahr 2050 gar keine Rolle mehr. Das Innovationsszenario mit CCS geht bei der Verbrennung der Braunkohle ab dem Jahr 2025 jedoch von einer Anwendung der CCS-Technologie aus. Im Jahr 2050 trägt die Braunkohle mit CCS 57,1 TWh/a zum Strommix bei. Bei der Steinkohleverbrennung wird aufgrund der geringeren wirtschaftlichen Rentabilität erst nach dem Jahr 2030 mit der Anwendung der CCS-Technologie gerechnet. Selbst nach 2030 lohnt sich die Anwendung der CCS-Technologie bei der Steinkohleverbrennung weit weniger als bei der Braunkohleverbrennung. Zwischen 2040 und 2050 sinkt der Steinkohleanteil leicht bis auf 16,3 TWh/a ab. Im Jahr 2050 tragen Braun- und Steinkohle, unter Anwendung der CCS-Technologie, 73,4 TWh/a und somit 20 % zur gesamten Stromerzeugung bei.<sup>93</sup>

<sup>93</sup> ebd., S.255 f.



**Abbildung 18: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Innovationsszenario mit CCS**

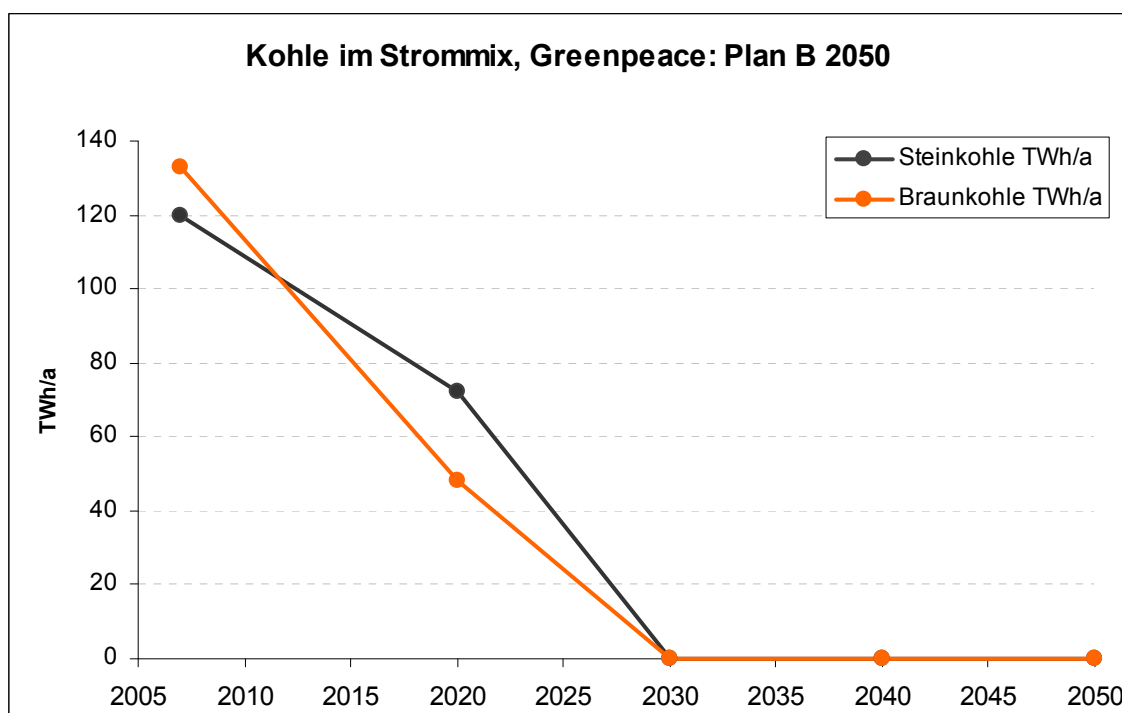
Quelle: WWF (2009), S.258.



**Abbildung 19: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Innovationsszenario ohne CCS**

Quelle: WWF (2009), S.249.

Der Verlauf der Kurven der Szenarienvariante des Innovationsszenarios ohne CCS (vgl. Abbildung 19), ähnelt dem aus Abbildung 18. Der Anteil der Braunkohle an der Stromerzeugung geht kontinuierlich zurück. Die Steinkohlekurve steigt bis 2020 kaum merklich auf 128,6 TWh/a an und fällt danach steil ab. Ab 2040 verläuft sie nahezu wie die Braunkohlekurve und trägt ebenso wie die Braunkohle ab dem Jahr 2050 nicht mehr zum Strommix bei.

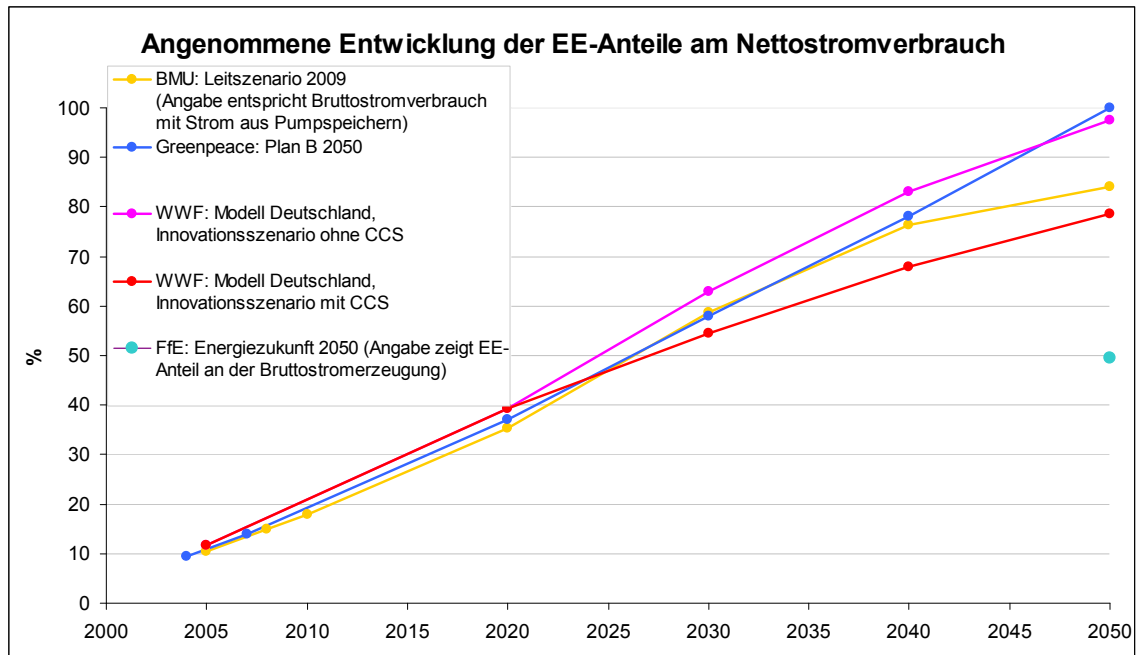


**Abbildung 20: Angenommene Entwicklung des Kohleanteils im Strommix bis 2050**

Quelle: Greenpeace (2009), Anhang A, S.1.

Die Kurven des *Plan B 2050* weichen von den bereits betrachteten Szenarien ab. Sowohl Steinkohle, als auch Braunkohle fallen steil ab und tauchen ab 2030 nicht mehr im Strom-Mix auf.

Abbildung 21 zeigt, wie nach Annahmen der Szenarien von Greenpeace, BMU sowie WWF die Anteile der Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2050 ansteigen. Am ehrgeizigsten ist der *Plan B 2050*, in dem der Strom im Jahr 2050 zu 100 % aus Erneuerbaren Energien gewonnen wird. Das Innovationsszenario ohne CCS geht bis ca. 2045 von dem größten Anteil Erneuerbarer Energien aus und erreicht 2050 eine Stromversorgung die zu 97,5 % auf Erneuerbaren Energien beruht. Im *Leitszenario 2009* entwickeln sich die Erneuerbaren Energien bis 2040 parallel zum *Plan B 2050*. Die Kurve flacht bis 2050 jedoch ab und erreicht letztendlich einen Anteil der Erneuerbaren Energien von 84 %. Den niedrigsten Ausbau (49,5 % in 2050) haben Erneuerbare Energien in dem Szenario der FfE.



**Abbildung 21: Angenommene Entwicklung der Anteile Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung**

Quelle: BMU (2009), S.9, Greenpeace (2009), S.14 und 96, WWF (2009), eigene Berechnung nach S.241 f. und 245, S.243 f. und 254.

### 4.3.2 Maßnahmen im Umwandlungssektor

#### Leitszenario 2009

Geforderte Maßnahmen bis 2020 sind:

- Ausbau und Förderung der Erneuerbaren Energien im Strombereich, wodurch 75 bis 80 Mio. t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden können.<sup>94</sup>
- Ausweitung der KWK zur Vermeidung weiterer 45 Mio. t CO<sub>2</sub>/a.

In Verbindung mit einer Effizienzsteigerung im Strombereich können durch diese Maßnahmen bis rund 185 Mio. t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden. Aufgrund des schrittweisen Rückbaus der Kernenergie bis 2020 verbleibt im Strombereich eine Nettominderung von 80 Mio. t CO<sub>2</sub>/a gegenüber dem Jahr 2008.<sup>95</sup>

Der Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien wird als größtenteils abgesichert gesehen. Ob die Offshore-Windnutzung in der hier dargestellten Größe zugebaut werden kann, ist allerdings noch unsicher.<sup>96</sup> Durch die Novelle des KWK-Gesetzes und die Förderung von Mini-KWK hat der Ausbau der KWK eine wichtige Schubkraft gewonnen.<sup>97</sup> Es bleibt aber unsicher, ob die angestrebte Verdopplung der KWK-

<sup>94</sup> BMU (2009), S.19.

<sup>95</sup> ebd., S.77.

<sup>96</sup> ebd., S.78.

<sup>97</sup> ebd., S.79.

Stromerzeugung von 2007 bis 2020<sup>98</sup> möglich sein wird. Die Ausbaupläne der Stromversorger für die Kraftwerke deuten darauf bisher nicht hin und es ist nicht sicher ob die beschlossene Förderung von Wärmenetzen ausreichen wird.<sup>99</sup>

Weiterhin wird empfohlen:

- Kommunale Akteure und Stadtwerke sollten verpflichtet werden, im Rahmen von Neubauaktivitäten und Quartiersanierungen den Ausbau von Wärmenetzen zu forcieren.
- Schaffung weiterer Anreize für den Ausbau der KWK um eine Verdopplung der KWK bis 2020 zu ermöglichen.<sup>100</sup>
- Ausdehnung der angeregten Prozesse auf die gesamte Europäische Union (EU), bspw. die Empfehlung, einen europäischen Stromverbund vorzubereiten, um die Potenziale Erneuerbarer Energien in ganz Europa zu nutzen.<sup>101</sup>

So sollen später auch die südlichen Mittelmeerstaaten mit eingebunden werden. Als wichtiger Schritt dorthin wird das Projekt DESERTEC gesehen, das den Bau solarthermischer Kraftwerke in Nordafrika zum Ziel hat. Eine solche Initiative in Kombination mit intensiver energiepolitischer Unterstützung kann auch die Abhängigkeit von Importen aus konventionellen Energiequellen senken.<sup>102</sup>

### **Energiezukunft 2050**

Bezüglich des Umwandlungssektors werden in der *Energiezukunft 2050* keine konkreten politischen Maßnahmen formuliert. Die angenommene Entwicklung dieses Sektors wird lediglich beschrieben. Gegenüber dem Referenzszenario steigt der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung bis auf 49,5 % (davon ca. 60 % Windenergie) in 2050. Da sich die Ausbaupotenziale allerdings zunehmend schwerer erschließen lassen, wird sich der Ausbau allerdings mit der Zeit verlangsamen. Weitere Annahmen sind:

- eine Verlängerung der Kernenergienutzung auf die technische Lebensdauer von 60 Jahren,<sup>103</sup>
- ab 2020 können neue Kernkraftwerke eingesetzt werden, wenn sich ihr Bau als wirtschaftlich erweist.<sup>104</sup>

Ab dem Jahr 2025 kann die CCS-Technologie mit einem Abscheidegrad von 85 % eingeplant werden. Allerdings wird diese Option als weniger wirtschaftlich gegenüber Atomstrom und Erneuerbaren Energien angesehen und kommt daher erst ganz am Ende des Betrachtungszeitraums zum Einsatz.

---

<sup>98</sup> Integriertes Energie- und Klimapaket der Bundesregierung von 2007

<sup>99</sup> BMU (2009), S.79.

<sup>100</sup> ebd.

<sup>101</sup> ebd., S.79 f.

<sup>102</sup> ebd., S.79 f.

<sup>103</sup> FfE (2009), S. 316.

<sup>104</sup> ebd., S. 316.



Da von einer stark steigenden Fern- und Nahwärmenachfrage ausgegangen wird, steigt auch der Anteil der KWK-Kraftwerke auf 32 % in 2050. Die von der Bundesregierung angestrebte Verdopplung der KWK bis 2020 wird auf diesem Weg erreicht. Insgesamt sorgen die steigenden Stromanteile des Verkehrssektors dafür, dass der Strombedarf nicht stärker gegenüber dem Referenzszenario zurückgeht.

### **Modell Deutschland**

Die Innovationsszenarien sehen eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch folgende Maßnahmen vor:

- Reduktion des Stromverbrauchs,
- vermehrter Einsatz von Erneuerbaren Energien,
- Ausschluss von Kraftwerken, die besonders viele CO<sub>2</sub>-reiche Brennstoffe verwenden.<sup>105</sup>

Im *Modell Deutschland*, das das Ziel einer 95-prozentigen Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 erreicht, kommt folgende Maßnahme hinzu:

- Abspeicherung des biogenen CO<sub>2</sub>, das bei der Herstellung von Biokraftstoff entsteht, durch CCS-Technologien, wodurch weitere 32 Mio. t CO<sub>2</sub>/a in 2050 vermieden werden könnten.<sup>106</sup>

Mit dem *Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramm bis 2030* entwickelte der WWF ein Programm an Maßnahmen für den Zeithorizont bis 2030, also eine Zwischentappe der Langfriststrategie, und orientiert sich an einer Minderung der Treibhausgasemissionen (inklusive des internationalen Flugverkehrs sowie der Emissionsquellen bzw. -senken aus Landnutzung und Forstwirtschaft) um 60 % bis 2030 gegenüber 1990 und 95 % bis 2050 (*Modell Deutschland*). Das *Integrierte Klimaschutz- und Energieprogramm bis 2030* sieht folgende Maßnahmen vor:

- Einführung eines Kohlemoratoriums, bis die CCS-Technologie verwendet werden kann,<sup>107</sup>
- Verwendung von Biomasse für die Stromerzeugung im Rahmen des EEG nur noch auf befristete Zeit und nur in Anlagen mit KWK,<sup>108</sup>
- Ausweitung des EEG dahingehend, dass eine bessere Regelfähigkeit und höhere Volllaststunden für Wind und Sonne frühzeitig angereizt werden,<sup>109</sup>
- Verbindung der deutschen Regelzone mit den Regelzonen der Nachbarstaaten, um den Bedarf an Regelenergie für Erneuerbare Energien bereitstellen zu können,<sup>110</sup> europaweit einheitliche Preise für eingespeiste Erneuerbare

<sup>105</sup> WWF (2009), S.384 f.

<sup>106</sup> ebd., S.392 f.

<sup>107</sup> ebd., S.429 f.

<sup>108</sup> ebd., S.430.

<sup>109</sup> ebd., S.430 ff.

<sup>110</sup> ebd., S.431.

Energien,<sup>111</sup> bessere Optimierung der Übertragungs- und Verteilernetze,

- Einführung eines intelligenten Lastmanagements,<sup>112</sup>
- Erstellung eines „Deutschen Energie-Infrastruktur-Umbauprogramms“.<sup>113</sup>

### **Plan B 2050**

Die von Greenpeace geforderten Maßnahmen sind:

- Festhaltung und Ausweitung der Vorrang-Regelung der Geothermie gegenüber CCS im Kohlendioxid-Speicher-Gesetzes (u.a. für Bereiche, bei denen bislang weder CCS- noch Geothermienutzung gegeben ist),<sup>114</sup>
- Verbesserung des Förderungssystems der KWK im KWK-Gesetz durch Erhöhung der Fördersätze, so dass KWK-Anlagen wirtschaftlicher sind als der Betrieb von reinen Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung,<sup>115</sup> vermehrter Anschluss öffentlicher Liegenschaften an Fernwärme und Feststellung, wo es für Städte und Kommunen, soweit rechtlich möglich, verpflichtend sein könnte, sich an Fernwärme anzuschließen,<sup>116</sup>
- Verminderung der erlaubten Emissionsmengen (Cap) im EU-Emissionshandel und somit für Deutschland für 2020 zur Unterstützung einer Umstrukturierung des Kraftwerksparks,<sup>117</sup>
- Fortführung der Doppelzuteilung von Emissionszertifikaten für KWK-Anlagen,<sup>118</sup> schrittweise Erhöhung der Steuern auf Kohle zur Wärmeerzeugung für eine Gleichbehandlung von Öl, Erdgas und Kohle auf dem Wärmemarkt,<sup>119</sup>
- Ende der Subventionierung des Braunkohletagebaus,<sup>120</sup> schrittweiser Ausstieg aus der Kohleverstromung,<sup>121</sup>
- Einführung einer Kernbrennstoffsteuer von 1 ct/kWh,<sup>122</sup>
- Erhöhung der Ansparzeit der Rückstellungen, abgestimmt auf die Laufzeit eines Kernkraftwerkes, auf 32 Jahre.<sup>123</sup>

---

<sup>111</sup> ebd.

<sup>112</sup> ebd., S.434.

<sup>113</sup> ebd., S.436 f.

<sup>114</sup> Greenpeace (2009), S.75.

<sup>115</sup> ebd., S.76.

<sup>116</sup> ebd.

<sup>117</sup> ebd., S.80.

<sup>118</sup> ebd.

<sup>119</sup> ebd.

<sup>120</sup> ebd., S.81.

<sup>121</sup> ebd., S.80.

<sup>122</sup> ebd., S.80.

<sup>123</sup> ebd., S.79 ff.

**Robuste Maßnahmen<sup>124</sup>:**

Die wichtigsten Stellschrauben im Umwandlungssektor sind ein massiver Ausbau der Erneuerbaren Energien vor allem durch finanzielle Förderung, sowie eine Eindämmung und Effizienzsteigerung der Kohleverstromung.

- Förderung der Erneuerbaren Energien
- Anreize zum Ausbau der KWK, u.a. durch Fortführung der Doppelzuteilung von Emissionszertifikaten (2)
- Eindämmung der Kohleverstromung, (Kohlemoratorium bis CCS-Technologie anwendbar wird, Subventionierung des Braunkohleabbaus beenden etc.)
- Europäischen Stromverbund fördern um das Potenzial der Erneuerbaren Energien in ganz Europa besser nutzen zu können und Bedarf an Regelenergie zu decken

**4.4 Verkehrssektor**

Der Verkehrssektor, der den Personen- und Güterverkehr beinhaltet, ist ein Bereich in dem die Erwartungen bezüglich des Potenzials der Treibhausgasreduktion und der nötigen Umstrukturierung relativ weit auseinander liegen. So lassen sich auch die großen Differenzen zwischen den Szenarien erklären bezüglich des Anteils des Verkehrssektors am CO<sub>2</sub>-Ausstoß in 2050 (vgl. Abbildung 14) und der Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors (vgl. Abbildung 15). Ambitionierte Ziele zur Reduktion und Umstrukturierung lassen sich vergleichsweise schwer erreichen. Dennoch gehen alle Szenarien davon aus, dass der Verkehrssektor zunehmend, teilweise gänzlich elektrifiziert wird. Die drei großen Bereiche in denen politische Maßnahmen zu Fortschritten führen sollen sind die Effizienzsteigerung, der Ausbau alternativer Brennstoffe und Infrastrukturmaßnahmen, die eine stärkere Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene ermöglichen.

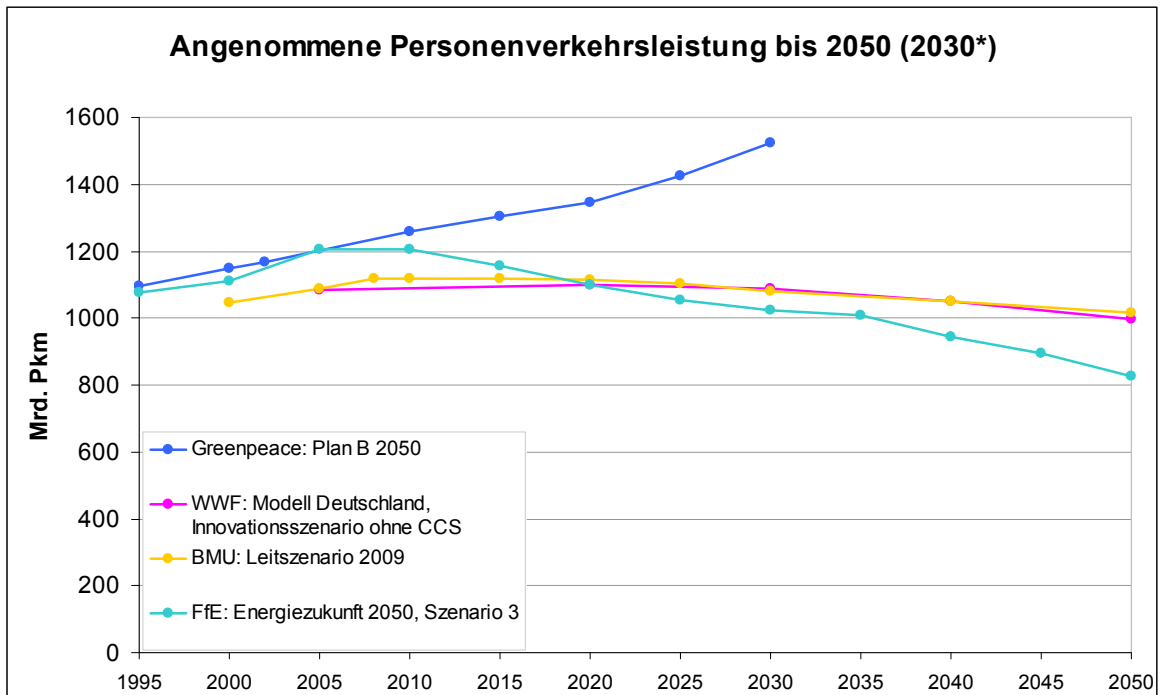
**4.4.1 Szenarienziele und Annahmen im Verkehrssektor**

In den Abbildungen 22 und 23 sind Grundannahmen der verschiedenen Szenarien, die den Verkehrssektor betreffen, dargestellt. Abbildung 21 zeigt eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Annahmen zur Personenverkehrsleistung in Deutschland bis zum Jahr 2050 (bzw. 2030). Die Kurven des WWF und des BMU zeigen einen leichten Anstieg bis zum Jahr 2020 und dann einen kontinuierlichen Rückgang. Die FfE nimmt nach 2010 einen stärkeren Rückgang bis 2050 an. Auffällig ist der Verlauf der Kurve des *Plan B 2050*. Sie steigt relativ steil bis 2030 an und liegt mit über 1523 Mrd. Personenkilometern (Pkm) 440 bis 500 Mrd. Pkm über den anderen Werten. Für den Zeitraum nach 2030 liegen keine Daten vor. Greenpeace verwendet bei den Annahmen zur Entwicklung der Personen- und Güterverkehrsleistung Daten des Wuppertal-Instituts,<sup>125</sup> die auf Basis einer Studie von EWI und Prognos<sup>126</sup> berechnet wurden.

<sup>124</sup> Als „robust“ werden Maßnahmen bezeichnet die in den meisten Szenarien gefordert werden.

<sup>125</sup> Wuppertal Institut (2006), S.35.

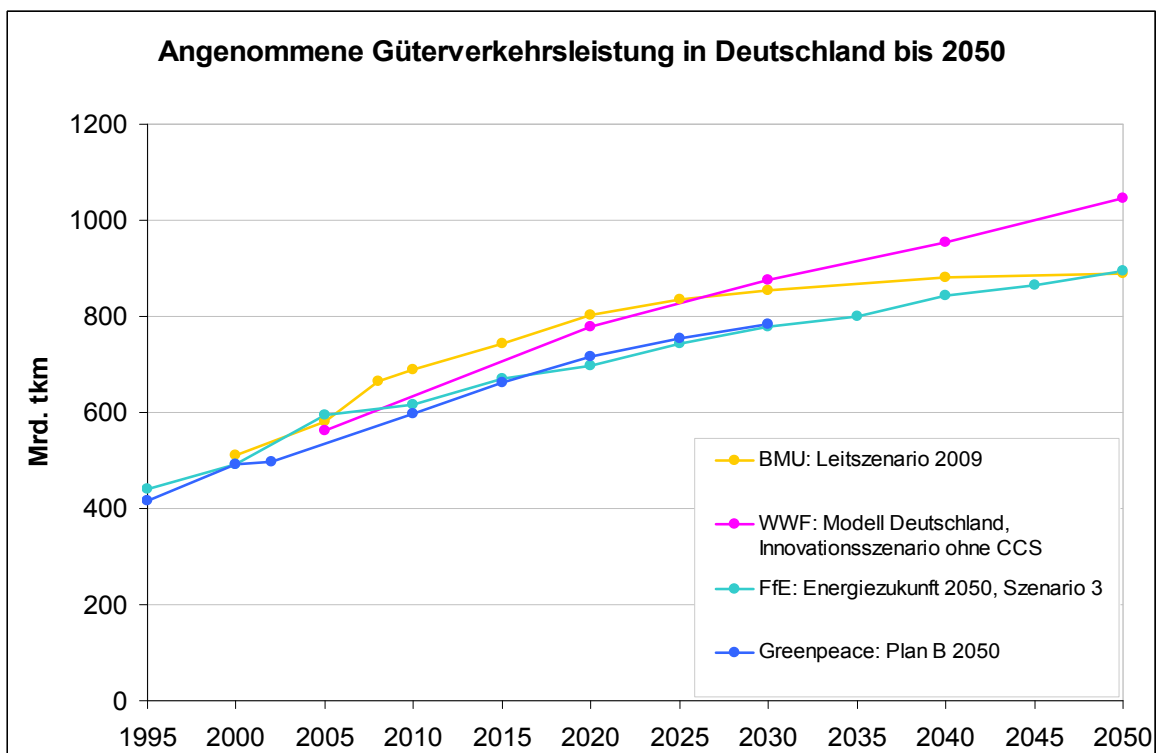
<sup>126</sup> BMWA (2005).



**Abbildung 22: Angenommene Personenverkehrsleistung bis zum Jahr 2050**

Quelle: BMU (2009), S.29, FfE (2009b), S.301 ff., Greenpeace (2009), S.39, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2006), S.35, WWF (2009), S.284.

\*Für Greenpeace *Plan B 2050* nur Daten bis 2030 vorhanden.



**Abbildung 23: Angenommene Güterverkehrsleistung bis zum Jahr 2050**

Quelle: BMU (2009), S.29, WWF (2009), S.284, FfE (2009b), S.301 ff., Wuppertal Institut (2006), S.35.

Abbildung 23 zeigt einen Szenarienvergleich für die angenommene Güterverkehrsleistung bis 2050. Die Kurven unterscheiden sich bis zum Jahr 2025 nicht wesentlich. Die Werte des *Modell Deutschland* und des *Leitszenarios 2009* liegen etwas über denen von FfE und Greenpeace, alle Kurven steigen relativ gleichmäßig an. Ab dem Jahr 2025 ist beim *Leitszenario 2009*, im Vergleich zu den anderen Szenarien, ein deutlich geringerer Anstieg zu erkennen.

Das *Leitszenario 2009* rechnet mit starken Wachstumstendenzen im Güterverkehr, Wachstum im Luftverkehr sowie ab dem Jahr 2050 mit einem Rückgang im Personenverkehr.<sup>127</sup> Der *Plan B 2050* geht davon aus, dass die Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr ansteigt und dass ein deutlicher Zuwachs im Güterverkehr stattfindet.<sup>128</sup> Im *Modell Deutschland* werden im gesamten Personenverkehr stabile Verkehrsleistungen bis zum Jahr 2020 angenommen, danach insgesamt ein zunächst leichter und später stärkerer Rückgang bis 2050. Dabei ist zwischen den einzelnen Verkehrsträgern zu unterscheiden. Die größte Verringerung findet im öffentlichen Personennahverkehr statt, im motorisierten Individualverkehr und Eisenbahnverkehr ist ein leichter Rückgang, im Luftverkehr sogar eine Zunahme zu verzeichnen.<sup>129</sup> Das *Szenario 3 der Energiezukunft 2050* nimmt unterschiedliche Entwicklungen für die einzelnen Verkehrsträger an. Im Straßenverkehr geht die individuelle Verkehrsleistung deutlich zurück und auch der Güterstraßenverkehr entwickelt sich ab 2025 rückläufig. Im Luftverkehr wird sowohl für den Personen- als auch den Güterverkehr ein Rückgang ab 2010 erwartet, im Schienenverkehr hingegen findet sowohl bei Personen, als auch bei Gütern ein deutlicher Anstieg statt und auch der Binnen- und Seeverkehr nimmt deutlich zu.<sup>130</sup>

Im Folgenden werden die in den Szenarien als notwendig erachteten Maßnahmen vorgestellt.

#### 4.4.2 Maßnahmen im Verkehrssektor

##### Leitszenario 2009

Bis 2020 wird folgende Maßnahme vorgeschlagen:

- Ausbau von Biokraftstoffen, um den Ausstoß von CO<sub>2</sub> um rund 10 Mio. t/a zu vermindern.<sup>131</sup>

Im Verkehrssektor sieht das *Leitszenario 2009* die notwendigen Effizienzsteigerungen bis 2020 als realisierbar, da nichteingehaltene CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu einer Sanktionierung führen.<sup>132</sup> Um die Emissionen noch weiterhin reduzieren zu können muss längerfristig über strukturelle Veränderungen nachgedacht werden. So sollten bspw. bei steigendem Güterverkehrsaufkommen Gütertransporte vermehrt auf Bahn und Schiff verlagert werden.<sup>133</sup>

<sup>127</sup> BMU (2009), S.14, 29 und 35.

<sup>128</sup> Greenpeace (2009), S.77 ff.

<sup>129</sup> WWF (2009), S.212.

<sup>130</sup> FfE (2009), S.301 ff.

<sup>131</sup> BMU (2009), S. 19 f.

<sup>132</sup> ebd., S.79.

<sup>133</sup> ebd.

## **Energiezukunft 2050**

- Zur stärkeren Förderung der Elektromobilität werden weitere Investitionen in Forschung und Entwicklung gefordert.<sup>134</sup>

## **Modell Deutschland**

Zur Erreichung der im Innovationsszenario angegebenen THG-Emissionsreduktionen von 86 % (Variante mit CCS) bzw. 87 % (Variante ohne CCS) wird beim Straßenverkehr von abnehmender Verkehrsleistung, gesteigerter Effizienz und der massiven Förderung alternativer Kraftstoffe ausgegangen. Zudem wird eine erhebliche Effizienzsteigerung beim Luftverkehr als möglich und notwendig erachtet.<sup>135</sup> Im *Modell Deutschland*, dass eine 95-prozentige Reduktion der THG-Emissionen bis 2050 vorsieht, ersetzen Biokraftstoffe auch bei Flugzeugen den Kraftstoff Mineralöl, solange Nachhaltigkeitskriterien eingehalten werden.<sup>136</sup> Die zusätzliche potenzielle Emissionsminderung hierdurch steigt bis 2050 auf 22 Mio. t CO<sub>2</sub>/a.<sup>137</sup>

Das *Integrierte Klimaschutz- und Energieprogramm bis 2030* sieht vor:

Im Bereich des motorisierten Individualverkehrs:

- Überarbeitung hin zu ambitionierteren Zielen der EU-Richtlinie zur Festsetzung von Emissionsstandards für neue PKW mit neuen Grenzwerten von 80 g CO<sub>2</sub>/km (2020) und 70 g CO<sub>2</sub>/km (2030),<sup>138</sup> automatische Bindung des Mineralölsteuersatzes an die Inflation und Angleichung der Steuersätze für Diesel und Benzin,
- Erhöhung der Mineralölsteuer für Benzin auf 2 €/l (2020) und 2,5 €/l (2030) und entsprechende Dieselpreise abhängig von ihrem Energiegehalt,<sup>139</sup>
- Anhebung der im Biokraftstoffquotengesetz festgelegten Mindestquoten auf 6,25 % bis 2014,<sup>140</sup>
- Verpflichtung der Hersteller ab 2020 alle neuen Autos so zu konzipieren, dass sie mit Biokraftstoffen betankt werden können,<sup>141</sup>
- Einführung eines Tempolimits von 120 km/h,<sup>142</sup>

<sup>134</sup> FfE (2009b), S.330.

<sup>135</sup> WWF (2009), S.381 ff.

<sup>136</sup> Es wird jedoch deutlich dargelegt, dass die dadurch stark erhöhte Nachfrage nach nachhaltig hergestellter Biomasse nicht allein national produziert werden kann, sondern die Infrastruktur so vorbereitet werden muss, dass ein massiver Import von Biomasse geschehen kann. Des Weiteren muss Restbiomasse für die Herstellung von Biokraftstoffen genutzt werden können und gesichert sein, dass der Umwandlungsprozess möglichst CO<sub>2</sub>-arm vonstatten geht. Siehe WWF (2009), S.396 ff.

<sup>137</sup> WWF (2009), S.391.

<sup>138</sup> ebd., S.423 ff.

<sup>139</sup> ebd., S.425 f.

<sup>140</sup> ebd., S.427.

<sup>141</sup> ebd., S.428.

<sup>142</sup> ebd., S.429.

- Einführung eines Innovations- und Markteinführungsprogramms für Elektrofahrzeuge mit effizienzabhängigen Anreizprämien,<sup>143</sup>
- Kapazitätssteigerung des öffentlichen Personennahverkehrs um 25 % bis 2030, sowie Schaffung einer eigenen Fahrbahn für Busse und Bahnen und Flexibilisierung durch bspw. Car Pooling.<sup>144</sup>

Im Bereich des Güterverkehrs werden folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Verdoppelung der Kapazitäten des Schienenverkehrs bis 2030, Trennung von Schienen für Güter- und Personenverkehr,<sup>145</sup>
- EU-weite Einführung von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten für LKW, die bis 2030 30 % unter den heutigen Werten liegen,<sup>146</sup>
- Erhöhung der LKW-Maut (bis 2030 auf bis zu 50 ct/km) mit Reduktionsmöglichkeit für effizienteste Fahrzeuge (TOP-Runner-Ansatz)<sup>147</sup> und Ausweitung auf alle LKW und Straßen.<sup>148</sup>

### **Plan B 2050**

Um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Bereich des motorisierten Individualverkehrs zu senken werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Einführung von Durchfahrtsbeschränkungen und autofreien Zonen,<sup>149</sup>
- Festlegung eines Tempolimits bei 120km/h,<sup>150</sup>
- Einführung einer Maut für bestimmte Zonen,<sup>151</sup>
- Verstärkte Nutzung und Ausbau des öffentlichen Personenverkehrs,<sup>152</sup>
- Förderung CO<sub>2</sub>-armer Fahrzeuge und Obergrenzen für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß (inkl. Strafen für die Händler bei Überschreitung),<sup>153</sup> zudem wird gefordert, die Regelungen zur Dienstwagenbesteuerung umweltfreundlicher zu gestalten.<sup>154</sup>

Im Bereich des Güterverkehrs werden folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene, wofür bis 2020 neue, viel versprechende Konzepte (bspw. Schweizer Modell) in Pilotphasen getestet werden sollen,

<sup>143</sup> ebd., S.434.

<sup>144</sup> ebd., S.422 f.

<sup>145</sup> ebd., S.421 f.

<sup>146</sup> ebd., S.424.

<sup>147</sup> Der Top-Runner-Ansatz bedeutet die Förderung der Effizienz elektrischer Geräte, Anlagen, etc. u.a. durch Einführung von Mindesteffizienzstandards.

<sup>148</sup> WWF (2009), S.424 f.

<sup>149</sup> Greenpeace (2009), S. 77 ff.

<sup>150</sup> ebd.

<sup>151</sup> ebd., S. 77.

<sup>152</sup> ebd.

<sup>153</sup> ebd., S. 78.

<sup>154</sup> ebd.

- Verpflichtende Verlagerung des Gütertransports auf die Schiene ab einer bestimmten Entfernung (z.B. ab 500 km),<sup>155</sup>
- Anpassung der Motoren an Agrarkraftstoffe.<sup>156</sup>

### **Robuste Maßnahmen:**

Im Verkehrssektor werden in Zukunft massive Fortschritte sowohl bei der Effizienzsteigerung als auch beim Ausbau alternativer Kraftstoffe und Antriebstechnologien als möglich und nötig betrachtet. Maßnahmen mit diesen Zielen werden zudem flankiert mit strukturellen Ansätzen die eine Verlagerung von Teilen des Personen- und Güterverkehrs auf die Schiene vorsehen. Zu den robusten Maßnahmen gehören:

- Einführung eines Tempolimits (als Limit wird vom WWF und von Greenpeace 120 km/h genannt)
- Förderung CO<sub>2</sub>-armer Fahrzeuge und Festsetzung ambitionierter Emissionsstandards (bswp. 70 g CO<sub>2</sub>/km in 2030)
- Ausbau von Biokraftstoffen, u.a. durch Verpflichtung der Hersteller in Zukunft Autos, aber auch Motoren im Güter- und Flugverkehr, so zu konzipieren, dass sie mit Biokraftstoffen betankt werden können, sowie Anhebung des Biokraftstoffquotengesetzes
- Marktanzreizprogramme sowie Investitionen in Forschung und Entwicklung werden zur Stärkung der Elektromobilität gefordert
- Ausbau der Nutzung und Kapazitäten im Schienenverkehr und öffentlichen Personennahverkehr
- Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene
- Greenpeace fordert zudem die Einführung einer PKW-Maut für bestimmte Zonen, der WWF eine graduelle Erhöhung der LKW-Maut

## **4.5 Gebäudesektor**

Der Gebäudesektor birgt laut Annahmen der Szenarien ein enormes Effizienzsteigerungspotenzial, das vor allem in der Entwicklung des Wärmebedarfs von Wohngebäuden liegt. Politische Vorgaben, beispielsweise strikte Vorschriften zur Wärmedämmung bei Neubauten und Sanierungen von Altbauten, werden als besonders wirkungsvolle Maßnahmen angesehen.

### **4.5.1 Szenarienziele im Gebäudesektor**

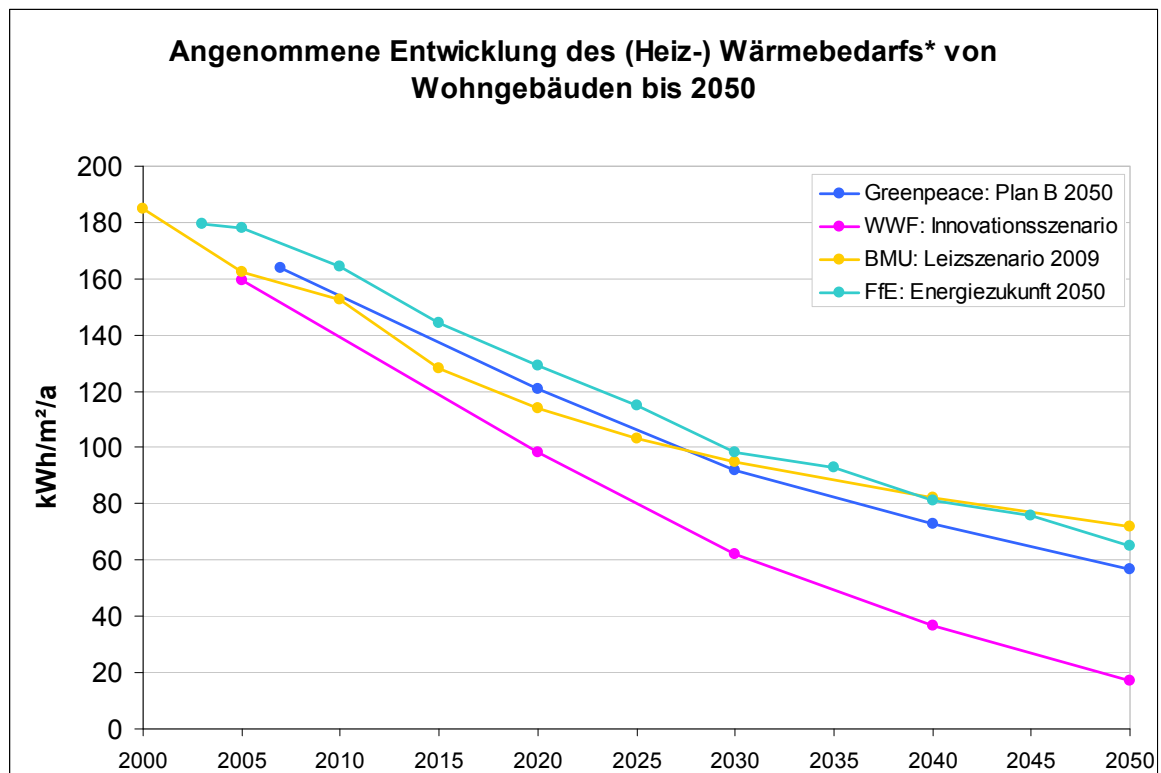
Eine wichtige Annahme im Gebäudesektor ist die Entwicklung des Wärmebedarfs von Gebäuden. In Abbildung 24 ist die angenommene Entwicklung des (Heiz-) Wärmebe-

<sup>155</sup> ebd., S. 79.

<sup>156</sup> ebd.



darfs von Wohngebäuden bis zum Jahr 2050 dargestellt. Die Kurve des *Plan B 2050* umfasst sowohl die Heizwärme, als auch das Warmwasser. Die anderen Kurven bilden lediglich den Heizwärmebedarf ab. Das BMU gibt an, dass die Raumwärme am gesamten Wärmebedarf einen Anteil von 53 % hat. 30 % wird in der Industrie als Prozesswärme benötigt und 15 % entfallen auf den Warmwasser- und Prozesswärmeverbrauch von Kleinverbrauchern und Haushalten.<sup>157</sup> Der WWF geht davon aus, dass sich mit Hilfe von vorgeschriebener Bauteilsanierung, dem Einsatz energetisch bester Bauteile und der Entwicklung leistungsfähiger und langlebiger Dämmstoffe, der Heizenergiebedarf von Wohngebäuden bis 2050 um mehr als 85 % (gegenüber 2005) senken lässt.<sup>158</sup>



**Abbildung 24: Angenommene Entwicklung des (Heiz-)Wärmebedarfs von Wohngebäuden bis 2050**

Quelle: Greenpeace (2009), eigene Berechnung nach S.35 und BMU (2008), S.45, WWF (2009), eigene Berechnung nach S.181, BMU (2009), S.51 und 52, FfE (2009b), eigene Berechnung nach S.41 und 266.

\*Greenpeace: Wärmebedarf = Heizwärme und Warmwasser

<sup>157</sup> BMU (2009), S.50.

<sup>158</sup> WWF (2009), S.180 f.

## 4.5.2 Maßnahmen im Gebäudesektor

### **Leitszenario 2009**

Maßnahmen bis 2020:

- Die Effizienzsteigerung im Wärmebereich – und dort zu 80 % Maßnahmen im Gebäudebereich – gehört zu den wichtigsten Feldern bis 2020, da hier ein CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von 75 bis 80 Mio. t CO<sub>2</sub>/a erreicht werden kann.<sup>159</sup>
- Ein Minderungspotenzial von 20 bis 25 Mio. t CO<sub>2</sub>/a wird dem Ausbau der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich zugeschrieben.

Durch die Maßnahmen der Novelle der Energieeinsparverordnung, Gebäudesanierungsprogramme und Novellierung der Heizkostenverordnung kam es bereits zu einer Reduktion des Raumwärmebedarfs. Hohe Brennstoffpreise sollen zudem die Sanierungsrate von Gebäuden beschleunigen.<sup>160</sup> Fraglich ist allerdings, ob die bis 2020 von der Bundesregierung angepeilte Reduktion des Raumwärmebedarfs um 15 % ohne weitere Maßnahmen erreicht werden kann.

Notwendig sind insbesondere:

- große Effizienzfortschritte bei Mietwohnungs- und Nichtwohngebäuden,<sup>161</sup>
- ein beschleunigter Ersatz von Nachtspeicherheizungen,
- Erweiterung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes, damit es in naher Zukunft auch Altbauten umfasst.<sup>162</sup>

### **Energiezukunft 2050**

Als notwendige Schritte werden angesehen:

- Einführung eines so genannten Gebäude-TÜV zur Überprüfung von Sanierungsmaßnahmen,<sup>163</sup>
- Abschaltung der Zirkulations- und Heizkreispumpen in den Perioden, in denen sie nicht genutzt werden.<sup>164</sup>

### **Modell Deutschland**

Innovationsszenarien:

- Neben der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor ist für die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen entscheidend, dass Erneuerbare Energien vermehrt für Raumwärme eingesetzt werden.<sup>165</sup>

<sup>159</sup> BMU (2009), S.19.

<sup>160</sup> ebd., S.78.

<sup>161</sup> ebd., S.78.

<sup>162</sup> ebd., S.79.

<sup>163</sup> FfE (2009b), S.330.

<sup>164</sup> ebd., S.265, 274.

<sup>165</sup> WWF (2009), S.377 f.

Folgende Maßnahmen stehen im *Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramm bis 2030*:

- Festsetzung von Oberwerten für Raumwärme für Altbausanierungen (ab 2020: 60 kWh/m<sup>2</sup>, ab 2030: 40 kWh/m<sup>2</sup>, ab 2050: 10 kWh/m<sup>2</sup>) bzw. Neubauten (ab 2015: 20 kWh/m<sup>2</sup>, ab 2020: 10 kWh/m<sup>2</sup>, ab 2025: 0 kWh/m<sup>2</sup>),
- Verpflichtung zur Wärmeversorgung von Neubauten ohne fossile Energien ab 2020,<sup>166</sup>
- Verbot von Nachstromspeicherheizungen und Förderungen für deren Austausch,<sup>167</sup>
- Erhöhung der Förderungsmittel, sowie steuerliche Anreize für Sanierungen,
- Anpassung der Rechtslage um die Einführung von Contracting-Projekten zur Erschließung der existierenden Einsparpotenziale bei Bestandsbauten zu erleichtern.<sup>168</sup>

### **Plan B 2050**

Folgende Schritte werden im Szenario von Greenpeace vorgesehen:

- Verstärkte Förderung von Sanierungen (Aufstockung des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms um mindestens 500 Mio. €/a),<sup>169</sup> verschärfte Kontrollen der Energiesparverordnung 2009 (private Nachweispflicht statt stichprobenartiger Kontrollen),<sup>170</sup>
- Außerbetriebnahme von Nachtspeicherheizungen binnen der nächsten zehn Jahre,<sup>171</sup>
- Einführung eines Bonusmodells in Zusammenhang mit dem EEG, was u. a. dazu führen soll, dass die Wärmedämmung verstärkt durch Erneuerbare Energien geregelt wird.<sup>172</sup>

### **Robuste Maßnahmen:**

Die Kernmaßnahmen im Gebäudesektor umfassen die Effizienzsteigerung durch Verbesserung der Wärmedämmung und das Verbot stromintensiver Wärmetechnologien. Dies soll v.a. durch eine Ausweitung bestehender Fördermechanismen geschehen.

- Verstärkte Förderung von Sanierung
- Wärmedämmung durch Erneuerbare Energien, u.a. Erweiterung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes, um Altbauten ebenfalls zu erfassen

<sup>166</sup> ebd., S.418 ff.

<sup>167</sup> ebd., S.420 f.

<sup>168</sup> ebd., S.418.

<sup>169</sup> Greenpeace (2009), S.74.

<sup>170</sup> ebd.

<sup>171</sup> ebd.

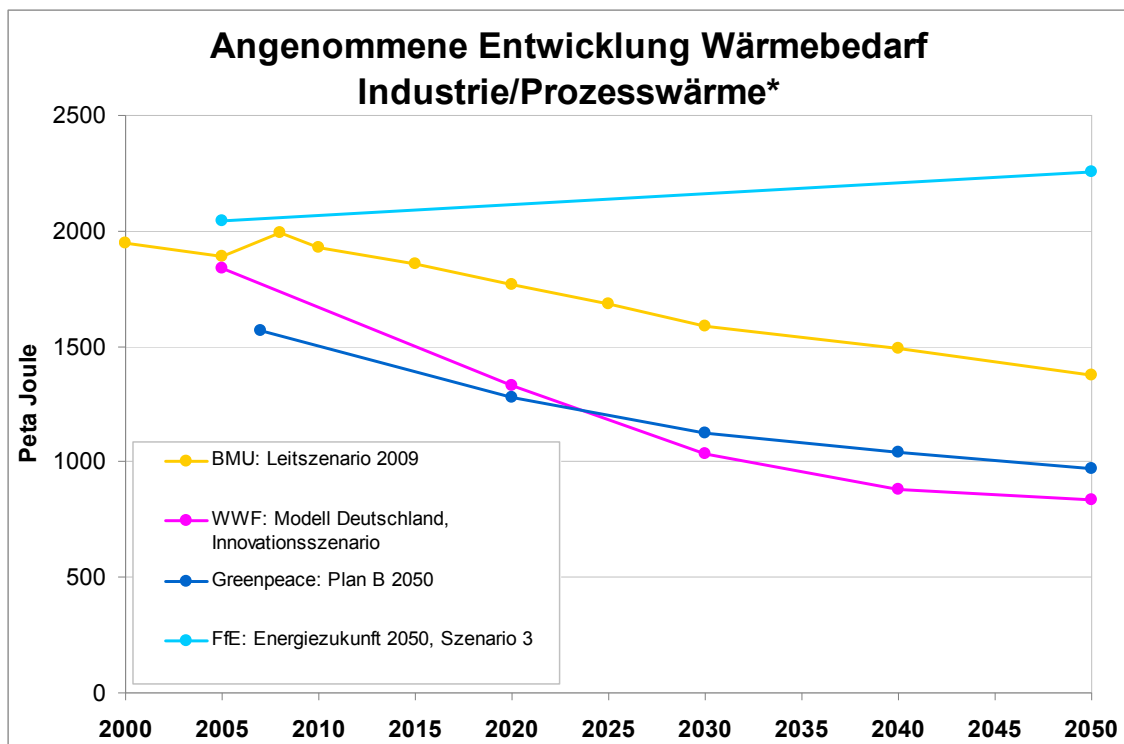
<sup>172</sup> ebd., S.73 f.

- Effizienzfortschritte auch bei Mietwohnungs- und Nichtwohngebäuden; u.a. durch Contracting-Modelle (WWF)
- Nachtstromspeicherheizungen sollten zeitnah außer Betrieb genommen werden

## 4.6 Industriesektor

Der Industriesektor wird auch noch im Jahr 2050 einen bedeutenden Anteil an den Treibhausgasemissionen haben. Darin sind sich die Szenarien weitestgehend einig, wie die Abbildung 14 verdeutlicht. Umso größer ist daher auch hier der Handlungsbedarf und -spielraum, der vor allem in der effizienteren Gewinnung und Nutzung der Prozesswärme gesehen wird. Der WWF schlägt zudem die Anwendung der CCS-Technologie zur Abscheidung prozessbedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Kalk-, Zement-, Eisen- und Stahlproduktion vor. Weitere Handlungsfelder sind Maßnahmen zur Verbesserung des Energiemanagements von Unternehmen, stärkere Anforderungen an die Energieeffizienz von Produkten und Dienstleistungen sowie Maßnahmen, die an die Emission von Treibhausgasen geknüpft sind wie beispielsweise eine CO<sub>2</sub>-Steuer oder eine Ausweitung des Emissionshandels.

### 4.6.1 Szenarienziele im Industriesektor



**Abbildung 25: Angenommene Entwicklung des Wärmebedarfs im Industriesektor bzw. der Prozesswärme insgesamt**

Quelle: Greenpeace (2009), S.30, FfE (2009b), S.320, BMU (2009), S.93, WWF (2009), eigene Berechnung nach S.210.

\*WWF: Innovationsszenario und Greenpeace: *Plan B 2050* = Wärmebedarf Industrie (Raumwärme und Prozesswärme) FfE: *Energiezukunft 2050* und BMU: *Leitszenario 2009* = Prozesswärme insgesamt

Wie man in Abbildung 15 erkennen kann variiert die angenommene Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Industrie stark zwischen den einzelnen Szenarien. Der wich-

tigste Handlungsbereich im Industriesektor ist die in Abbildung 25 dargestellte, angenommene Entwicklung des Wärmebedarfs der Industrie. Zum größten Teil entfällt dieser auf die Prozesswärme und zu einem geringen Teil auf die Raumwärme. Auffällig ist, dass das BMU, der WWF und Greenpeace unterschiedlich starke Rückgänge der industriell benötigten Prozesswärme annehmen während die FfE sogar mit einem Anstieg des Wärmebedarfs rechnet. Weitere Szenarienziele sind die Effizienzsteigerung durch verbesserte Managementsysteme und die Einführung von so genannten Top-Runner-Systemen, welche jedoch erst in dem Kapitel zur Energieeffizienz (Kapitel 4.6) behandelt werden.

## 4.6.2 Maßnahmen im Industriesektor

### Leitszenario 2009

Vorgesehene Maßnahmen bis 2020:

- Deutliche Modernisierung und Ausbau von KWK-Anlagen auch in der Industrie.<sup>173</sup>

### Energiezukunft 2050

- Ausweitung eines restriktiven Emissionshandels auf alle Industriezweige,<sup>174</sup>
- Erhöhung der Emissionssteuern für die Industrie, von denen man jedoch befreit werden kann, sofern man ein Energiemanagement, wiederkehrende Maßnahmen oder die Teilnahme an Energieeffizienz-Gesprächen nachweisen kann.<sup>175</sup>

### Modell Deutschland

Innovationsszenarien:

- In der Industrie ist die Steigerung der Energieeffizienz von größter Wichtigkeit, an zweiter Stelle folgt die Umstellung auf Erneuerbare Energien.<sup>176</sup>

Das *Modell Deutschland* sieht folgende Maßnahmen vor:

- Im Bereich der Eisen- und Stahlproduktion sind weitere Reduktionen nur durch die Substitution von Eisen oder den Gebrauch der CCS-Technologie bei der Herstellung von Roheisen möglich, da Steinkohle in der Roheisengewinnung nicht ersetzt werden kann. Die potentielle Emissionsminderung beträgt bis 2050 16 Mio. t CO<sub>2</sub>.<sup>177</sup>
- Bei der Herstellung von Prozesswärme kann Erdgas durch Biomethan ersetzt werden. Die potentielle Emissionsminderung bis 2050 beträgt hierdurch 25 Mio. t CO<sub>2</sub>.<sup>178</sup>

<sup>173</sup> BMU (2009), S.79.

<sup>174</sup> FfE (2009b), S.328.

<sup>175</sup> ebd., S.329.

<sup>176</sup> WWF (2009), S.379.

<sup>177</sup> ebd., S.390 f.

<sup>178</sup> ebd.

- Die CCS-Technologie muss zur Erreichung der 95-prozentigen Reduktion mindestens für die Industrieprozesse eingesetzt werden, die übrig bleiben, nachdem alle anderen Reduktionsmöglichkeiten ausgeschöpft wurden. Doch auch hier muss bedacht werden, dass nicht endlos große Speicher vorhanden sind. Es wird davon ausgegangen, dass Speichermöglichkeiten bis zu 7 Mrd. t CO<sub>2</sub> innerhalb Deutschlands vorhanden sind. Weitere Speicherungen müssten dann innerhalb der EU gelöst werden.<sup>179</sup>

Das *Integrierte Klimaschutz- und Energieprogramm bis 2030* enthält die Punkte:

- Verpflichtung zur Einführung von Energie-Management-Systemen im Industriesektor,<sup>180</sup> im EEG, im KWK-Gesetz, bei der Ökosteuer und in Zukunft auch im Emissionshandel sollten Extraregelungen für Unternehmen stromintensiver Industriezweige daran gebunden werden, dass diese Unternehmen mit einem flexiblen Lastenmanagement einen Beitrag zur Integration der Erneuerbaren Energien leisten,<sup>181</sup> vermehrter Einsatz von CCS-Technologien im Industriesektor und nicht im Stromsektor,
- schnellstmögliche Umsetzung von CCS-Pilotprojekten, so dass umfangreiche Erfahrungen für einige Industriebereiche bereits in 2020 bestehen,<sup>182</sup> verpflichtende Einführung der CCS-Technologie für prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kalk-, Zement-, Eisen und Stahlindustrie,<sup>183</sup>
- Erstellung eines „Deutschen CCS-Entwicklungsplans“,<sup>184</sup>
- Verminderung prozessbedingter Emissionen durch Substitution bestimmter Stoffe,
- Einführung eines Verbots zur Verwendung von F-Gasen zu Kühlzwecken ab 2015 und einer F-Gas-Steuer.<sup>185</sup>

### **Plan B 2050**

Die als notwendig erachteten Maßnahmen sind:

- Mindesteffizienzstandards für elektrische Antriebe, Kompressoren und Beleuchtungsanlagen zur Erreichung einer absoluten Reduktion des Strombedarfs der Industrie um 11 % bis 2020,<sup>186</sup>
- Einführung von Verbrauchsgrenzwerten für neue elektrische Anlagen nach dem Top-Runner-Prinzip,<sup>187</sup>
- Steuererleichterungsanreize für eine Verbesserung der Energie-Management-

<sup>179</sup> ebd., S.396 ff.

<sup>180</sup> ebd., S.417.

<sup>181</sup> ebd., S.431.

<sup>182</sup> ebd., S.434 ff.

<sup>183</sup> ebd., S.437 f.

<sup>184</sup> ebd., S.434 ff.

<sup>185</sup> ebd., S.438.

<sup>186</sup> Greenpeace (2009), S.70.

Systeme und damit einhergehend der Energietransparenz.<sup>188</sup>

### **Robuste Maßnahmen:**

Ein verbessertes Energiemanagement und Anreize zu flexiblem Lastenmanagement als Beitrag zur Integration der Erneuerbaren Energien sind die Hauptforderungen für den Industriesektor.

- Verbesserung des Energiemanagements von Unternehmen, u.a. durch Verpflichtung zur Einführung von Energie-Management-Systemen bzw. steuerlichen Anreizprogrammen

## **4.7 Energieeffizienz**

Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz werden von den Szenarien für alle Sektoren gefordert und haben ein Potenzial, dessen gesamtes Ausmaß unter anderem in den Abbildungen zur Entwicklung von CO<sub>2</sub>/BIP (vgl. Abbildung 11), von Primärenergieverbrauch/BIP (vgl. Abbildung 12) und vom Endenergieverbrauch der Sektoren (vgl. Abbildung 15) zu erkennen ist. Im Folgenden wird die gesamte Bandbreite an möglichen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in den verschiedenen Sektoren aufgezeigt. Fortschritte werden insbesondere in den Sektoren Gebäude, Industrie und Verkehr erwartet.

### **Leitszenario 2009**

geforderte Maßnahmen sind:

- Effizienzsteigerung im Strombereich, u.a. durch Ausbau der KWK, hat ein Vermeidungspotenzial von 60 Mio. t CO<sub>2</sub>/a und ist eine der Hauptmaßnahmen bis 2020,<sup>189</sup>
- Effizienzsteigerung im Verkehrssektor hat ein Minderungspotenzial von 20 bis 25 Mio. t CO<sub>2</sub>/a bis 2020,
- Effizienzsteigerung im Wärmebereich, besonders bei Mietwohnungs- und Nichtwohngebäuden,
- Modernisierung im Industriesektor, u.a. durch Top-Runner-Systeme.

Für eine Effizienzsteigerung im Stromsektor müssen weitere Anreize geschaffen werden, da der Stromverbrauch bisher stetig ansteigt. Als mögliche Maßnahmen werden generell die Errichtung von Energieeffizienzfonds, Top-Runner-Systemen und die Umsetzung der EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (2006/32/EG, EDL-Richtlinie) genannt.<sup>190</sup>

---

<sup>187</sup> ebd., S.71.

<sup>188</sup> ebd.

<sup>189</sup> BMU (2009), S.19.

<sup>190</sup> ebd., S.79.

### **Energiezukunft 2050**

Das Szenario der FfE sieht folgende Schritte vor, die durch politische Maßnahmen oder freiwillige Ziele der Industrie erreicht werden können:<sup>191</sup>

- Effizienteres Arbeiten von Lüftungsanlagen durch luftdichte Hüllen für Gebäude,<sup>192</sup>erhöhte Energieeffizienz von Haushalts-, Informations- und Kommunikationsgeräten und Abschaffung des Standby-Modus,<sup>193</sup>

Zudem sieht das Szenario Verhaltensänderungen eines jeden Einzelnen vor (Suffizienzmaßnahmen), die durch einen generellen Konsens über die Notwendigkeit einer Änderung erreicht werden. Im privaten Bereich gehören hierzu beispielsweise:

- Senken der Raumtemperatur um 1°C,
- sparsamer Umgang mit Wasser und Lichtverbrauch,
- effizientes Kochen,
- ein auf den Verwendungszweck gerichteter Autokauf.<sup>194</sup>

### **Modell Deutschland**

Im Modell des WWF wird eine Steigerung der Effizienz als wichtigste Maßnahme in allen Sektoren identifiziert.

Zu den genannten Maßnahmen gehören:

- Erhebliche Effizienzsteigerung im Luftverkehr,
- EU-weite Festsetzung von Emissionsstandards für neue PKW mit Grenzwerten von 80 g CO<sub>2</sub>/km (2020) und LKW mit Grenzwerten in 2030, die 30 % unter den heutigen Werten liegen,
- Festsetzung von Oberwerten für Raumwärme für Altbauanierungen und Neubauten, flankiert durch erhöhte Förderungsmittel und steuerliche Anreize,
- die Erschließung der in der Industrie vorhandenen Effizienzsteigerungspotenziale, wird als besonders wichtig erachtet und soll durch verpflichtende Einführung von Energie-Management-Systemen und Einführung von EU-weiten Top-Runner-Programmen sowie Förderung besonders effizienter Geräte ermöglicht werden,<sup>195</sup>
- Einführung einer höheren steuerlichen Absetzbarkeit von Energieeffizienzmaßnahmen.<sup>196</sup>

---

<sup>191</sup> FfE (2009b), S.191, 221.

<sup>192</sup> ebd., S.203.

<sup>193</sup> ebd., S.191, 221.

<sup>194</sup> ebd., S.263 f., 294.

<sup>195</sup> WWF (2009), S.420.

<sup>196</sup> ebd., S.416 f.



### **Plan B 2050**

Eine Steigerung der Effizienz wird durch folgende Maßnahmen erreicht:

- Verbesserung des Förderungssystems für KWK (erhöhte Fördersätze),
- Förderung CO<sub>2</sub>-armer Fahrzeuge und Obergrenzen für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß,
- verstärkte Förderung von Sanierungen (Aufstockung des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms um mindestens 500 Mio. €/a),
- Einführung und Überprüfung von Mindesteffizienzstandards für elektrische Antriebe, Beleuchtungsanlagen, etc, in der Industrie,
- Kategorisierung von elektrischen Anlagen in Effizienzklassen und Verbot derer, die nicht in die besten Klassen fallen,
- Einführung von Energieeffizienz-Labeling von Geräten,<sup>197</sup>
- Steuererleichterungsanreize für verbesserte Energie-Management-Systeme,
- im Sektor Haushalt, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sollen Reduktionen durch Verabschiedung des Energieeffizienzgesetzes erreicht werden.

### **Robuste Maßnahmen:**

Die Szenarien sind sich einig, dass das Ziel der Effizienzsteigerung in allen Sektoren von höchstem Rang ist und entsprechende Maßnahmen erlassen werden müssen.

Zu diesen zählen:

- Ausbau der KWK im Umwandlungssektor
- Festlegung von CO<sub>2</sub>-Obergrenzen für Fahrzeuge und Förderung CO<sub>2</sub>-armer Fahrzeuge
- Verstärkte Förderung von Sanierungen, u.a. durch Grenzwerte für Raumwärme für Alt- und Neubauten und finanzielle Anreizsysteme
- Förderung der Effizienz elektrischer Geräte, Anlagen etc., u.a. durch Mindesteffizienzstandards, Top-Runner-Systeme, Energieeffizienz-Labeling, Verbot ineffizienter Geräte und Abschaffung des Standby-Modus
- Verbesserung des Energie-Managements von Unternehmen durch Auflagen und steuerliche Anreizprogramme für Energieeffizienzmaßnahmen

---

<sup>197</sup> Greenpeace (2009), S.72.

## 5 Vom Ziel her denken: Schlussfolgerungen für das Energiekonzept der Bundesregierung

Die Szenarienanalyse zeigt, dass das Ziel einer Verringerung der Treibhausgase in Deutschland um 80 bis 95 % bis 2050 im Vergleich zu 1990 zu erreichen und dies zu volkswirtschaftlich akzeptablen Kosten möglich ist. Klar ist allerdings auch, dass dies nicht ohne zusätzliche energiepolitische Maßnahmen gelingen kann, da die jetzigen gesetzlichen Vorgaben nicht ausreichen und die Rahmensetzung insgesamt zu kurz greift.

Für das von der Bundesregierung vorzulegende Energiekonzept sollte gelten, dass es neben der Frage des mittelfristigen Energie-Mixes den Weg in Richtung einer Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien definieren und aufzeigen sollte. Zudem sollte es klare Ziele und Maßnahmenkataloge für den Ausbau der Stromnetze und -speicher, zur Steigerung der Energieeffizienz und für den Gebäude- und Verkehrsbereich enthalten. Das Erreichen ehrgeiziger Ziele um die Jahrhunderthälfte verlangt Weichenstellungen heute.

**Als Schlussfolgerungen aus dem Vergleich der Szenarien formuliert Germanwatch folgende Forderungen an ein zukünftiges Energiekonzept.**

**Notwendig sind in erster Linie klare Rahmensetzungen, die Investitionssicherheit in gewünschter Richtung schaffen, wie etwa eine stetige Steigerung der Energiepreise sowie Ziele und Maßnahmenkataloge für folgende Bereiche:**

### 1. Festhalten am Atomausstieg und Verzicht auf den Neubau von Kohlekraftwerken

- Eine Verlängerung der Laufzeiten der Atomkraftwerke steht ökonomisch und zum Teil auch technisch von Jahr zu Jahr in wachsendem Widerspruch zum massiven Ausbau von Erneuerbaren Energien und Effizienzmaßnahmen. Die Forderung nach Abschaffung des Vorrangs der Einspeisung von erneuerbarem Strom ist als nächste Kampagne der EVUs dann abzusehen.
- Mit dem notwendigen dynamischen Ausbau von Erneuerbaren Energien ist der Neubau von Kohle- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland nicht vereinbar. Kraftwerke, die ökonomisch auf 7000 bis 8000 Stunden Laufzeit pro Jahr ausgelegt sind, blockieren den Umbau zu einem Energiesystem, das immer stärker und bis 2050 ganz auf fluktuierenden Erneuerbaren Energien basiert. Das gilt für Kohlekraftwerke mit und ohne CCS. Der Neubau von Kohlekraftwerken ohne CCS ist zudem mit den notwendigen ehrgeizigen Klimazielen nicht vereinbar.

### 2. Ausbau der Erneuerbaren Energien

- Es wäre sinnvoll - im Rahmen einer "Zero-Carbon-Strategie" das Ziel einer Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien bis zur Mitte des Jahrhunderts festzuschreiben. Um die notwendige Sicherheit für Gesellschaft und Investoren zu schaffen, sollte die

Bundesregierung verbindliche Zwischenziele für 2020 (40 %), 2030 (60 %) und 2040 (80 %) festlegen.

- Es sollte das klare Signal gegeben werden, dass es eine stetige Förderung der Erneuerbaren Energien geben wird. Die Förderung pro Kwh sollte dabei bei Neuanlagen stetig sinken. In der Zukunft sollten zeitabhängige Fördersätze geprüft werden.
- Zentral ist es, die Vorrangregelung für Erneuerbare Energien im EEG zu erhalten.

### **3. Förderung und Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen**

- Im Bereich der Elektrogeräte sollte die Bundesregierung ein Top-Runner-Programm für Elektrogeräte einführen.
- Die Energie-Standards für Altbauten sollten nicht nur erhöht, sondern zwingend mit ausreichenden, gezielten und stabilen (!) Förderprogrammen begleitet werden. Durch die dadurch erzielten Wirtschafts- und Arbeitsplatzeffekte werden als Nebeneffekt über die Fördersumme hinausreichende Steuereinnahmen erzielt.
- Eine Effizienzsteigerung im Verkehr ist zwingend. Dies gilt übrigens auch bei Umstieg auf Elektromobilität, um die Stromnachfrage zu begrenzen. Eine grundlegende Schwäche aller betrachteten Szenarien ist, dass sie keine ambitionierten Szenarien für den Ausbau des Umweltverbandes (öffentlicher Verkehr, Fahrrad, Fußgänger v.a. in der Stadt) betrachten.
- Die Einführung eines Energieeffizienzmarktes sollte geprüft werden.
- Immer wichtiger wird, die Maßnahmen beim Ausbau der Erneuerbaren Energien, der Energieeffizienz und der Stromnetze auch nach dem Gesichtspunkt der Steigerung der Ressourceneffizienz zu optimieren.

### **4. Der Ausbau der Stromnetze und -speicher und das Schaffen von Anreizen für eine bessere Integration der Erneuerbaren Energien in das deutsche und europäische Stromnetz**

- Es gilt eine deutlich stärkere Integration regionaler und nationaler Strommärkte im Rahmen eines europäischen Stromverbundnetzes zu schaffen, um die Potenziale Erneuerbarer Energien in ganz Europa zu nutzen und den notwendigen Bedarf an Regenergie für Erneuerbare Energien bereitstellen zu können. Hierfür notwendig sind:
  - Grundlegend ist es, europäische, nationale und regionale Netzausbauszenarien zu erstellen, die u.a. am massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien orientiert sind.
  - Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Kapazitätserweiterung innereuropäischer Stromleitungen und Kuppelstellen.
  - EU-weit sollten Marktregeln und Netzstandards angeglichen werden, um bislang stark differierende Arbeitsbedingungen von Netzbetreibern und Regulierungsbehörden zu harmonisieren.

- Das gesamte Übertragungsnetz kann deutlich besser ausgenutzt werden, z.B. durch neue Übertragungstechniken, Leiterseilmonitoring, intelligentes Lastmanagement, Speicher, etc.
- Der Aufbau von so genannten „Smart Grids“ ist wichtig für die Gewährleistung einer effizienten Nutzung der vorhandenen Netzinfrastruktur und zur Weitergabe von Anreizen, Strom dann zu nutzen, wenn viel Strom im Netz ist.

### **5. Im Verkehrsbereich**

- Regelmäßig und absehbar sollten Effizienzstandards für PKW und LKW verschärft werden (auch für Elektroautos, um die Stromnachfrage zu begrenzen).
- Instrumente zur Integration der externen Kosten des Verkehrs wie Mautsysteme sollten ausgebaut werden.
- Steuerliche Anreize für umweltschonende Fahrzeuge sind wichtig.
- Es bedarf heute erheblicher Weichenstellungen, wenn der Personen-Schienenverkehr schrittweise ausgebaut und Güterverkehr vermehrt auf die Schiene verlagert werden soll. Dies bedeutet erhebliche Investitionen in neue Schieneninfrastruktur und Lärmschutz.
- Für den Flugverkehr sollten schrittweise schärfere Ziele im Emissionshandel festgelegt werden. Der internationale Flug- und Schiffsverkehr sollte zudem international mit einer Kerosin-Abgabe belegt werden, um zur Internationalen Klimafinanzierung beizutragen.

### **6. Maßnahmen zur Senkung der industriellen Prozessemissionen**

- Für die industriellen Prozessemissionen (vor allem in der Zement- und Stahlindustrie) ist bisher nur die Abscheidung und geologische Tiefenlagerung von CO<sub>2</sub> als Option sichtbar. Allerdings muss geprüft werden, ob z.B. beschichtete Carbonfaser sowohl Zement als auch Stahl in wichtigen Einsatzgebieten ersetzen kann. Die Politik muss aktiv Vorsorge treffen, dass solche möglichen Alternativen ernsthaft geprüft und - wenn sinnvoll - zügig in den Markt eingeführt werden.

**7. Die Ziele für Klimaschutz und Erneuerbare Energien sowie ein kontinuierliches Verfahren für die Fortschreibung der Klimapolitik, um die Ziele zu erreichen, sollte in einem Klimaschutzgesetz (im Bund und in den Bundesländern) bis 2050 festgeschrieben werden.**

## 6 Literaturverzeichnis

- BMW (Hrsg.) (2005): EWI/Prognos-Studie: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, Energiewirtschaftliche Referenzprognose, Energiereport IV, Kurzfassung, Berlin, München.
- BMU (Hrsg.) (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland, Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal.
- BMU (Hrsg.) (2008): „Leitstudie 2008“. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas.
- BMU (Hrsg.) (2009): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der europäischen und globalen Entwicklung. Leitszenario 2009, Berlin.
- BMWI (Hrsg.) (2007): Energieszenarien für den Energiegipfel 2007, Basel.
- Dietrich, K., Leuthold, F., Weigt, H. (2009): Will the Market Get it Right? The Placing of New Power Plants in Germany. Electricity Markets Working Papers.
- Deutscher Bundestag (Hrsg.) (2002): Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung. Endbericht der Enquête-Kommission. Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode, Drucksache 14/9400, 7.7.2002.
- Ernst & Young AG (Hrsg.) (2006): Energiemix 2020. Szenarien für den deutschen Stromerzeugungsmarkt bis zum Jahr 2020, Düsseldorf.
- European Commission (Hrsg.) (2006): World Energy Technology Outlook – 2050 – WETO H2. Abrufbar unter: [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf) (letzter Abruf: 23.03.2010).
- FfE (Hrsg.) (2009a): Energiezukunft 2050. Teil I – Methodik und IST-Zustand, München.
- FfE (Hrsg.) (2009b): Energiezukunft 2050. Teil II – Szenarien, München.
- Greenpeace (Hrsg.) (2007a): Klimaschutz: Plan B, Hamburg.
- Greenpeace (Hrsg.) (2007b): Klimaschutz: Plan B, Kurzfassung, Hamburg.
- Greenpeace (Hrsg.) (2009): Klimaschutz: Plan B 2050, Langfassung, Hamburg.
- Greenpeace International u. European Renewable Energy Council (Hrsg.) (2007): Energy [R]evolution. A Sustainable Energy Outlook. Abrufbar unter: [http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user\\_upload/themen/energie/energyrevolutionreport\\_engl.pdf](http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/energyrevolutionreport_engl.pdf) (letzter Abruf: 23.03.2010).
- Hennsen, H. (2002): Was sind Energieszenarien, was können sie leisten? Abrufbar unter: <http://www.energie-fakten.de/pdf/szenarien.pdf> (letzter Abruf: 01.04.2010).
- International Energy Agency (Hrsg.) (2007)/(2008): World Energy Outlook 2007. China and India Insights. Abrufbar unter: [http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2007/WEO\\_german.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2007/WEO_german.pdf) und [http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008\\_es\\_german.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_german.pdf) (letzter Abruf: 23.03.2010).
- International Energy Agency (Hrsg.) (2008): Energy Technology Perspectives 2008. Scenarios & Strategies to 2050.
- Markewitz, P., Stein, G., Eich, R., Weber, K.-H. (2003): IKARUS-Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien. In: MARKEWITZ, P. u. G. STEIN (Hrsg.): Das IKARUS-Projekt: Energietechnische Perspektiven für Deutschland, Schriften des

Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment 39, Jülich, S. 1–15.

Martinsen, D., Krey, V., Markewitz, P. (2007): Implications of high energy prices for energy system and emissions – The response from an energy model for Germany. In: Energy Policy 35 (2007) 4504–4515.

Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R. (2009): Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C. In: Nature 458, 1158–1162.

Schindler, J., Zittel, W. (2008): Energieszenarien – kritische Anmerkungen zu prominenten Beispielen. In: Wissenschaft und Umwelt Interdisziplinär 11/2008, Wien, S.16–21.

UBA (Hrsg.) (2002): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland. Forschungsbericht 200 97 104, Berlin.

UBA (Hrsg.) (2008): Politikszzenarien für den Klimaschutz IV. Szenarien bis 2030. Forschungsbericht 205 46 434, Dessau-Roßlau.

WWF (Hrsg) (2009): Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin, Basel.

**... Sie fanden diese Publikation interessant und hilfreich?**

Wir stellen unsere Veröffentlichungen zum Selbstkostenpreis zur Verfügung, zum Teil auch unentgeltlich. Für unsere weitere Arbeit sind wir jedoch auf Spenden und Mitgliedsbeiträge angewiesen.

Spendenkonto: 32 123 00, Bank für Sozialwirtschaft AG, BLZ 10020500

Informationen zur Mitgliedschaft finden Sie auf der Rückseite dieses Hefts. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

## Germanwatch

"Hinsehen, Analysieren, Einmischen" – unter diesem Motto engagiert sich Germanwatch für Nord-Süd-Gerechtigkeit sowie den Erhalt der Lebensgrundlagen und konzentriert sich dabei auf die Politik und Wirtschaft des Nordens mit ihren weltweiten Auswirkungen. Die Lage der besonders benachteiligten Menschen im Süden bildet den Ausgangspunkt des Einsatzes von Germanwatch für eine nachhaltige Entwicklung.

Unseren Zielen wollen wir näher kommen, indem wir uns für die Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels, faire Handelsbeziehungen, einen verantwortlich agierenden Finanzmarkt und die Einhaltung der Menschenrechte stark machen. Germanwatch finanziert sich aus Mitgliedsbeiträgen, Spenden und Zuschüssen der Stiftung Zukunftsfähigkeit sowie aus Projektmitteln öffentlicher und privater Zuschussgeber.

Möchten Sie die Arbeit von Germanwatch unterstützen? Wir sind hierfür auf Spenden und Beiträge von Mitgliedern und Förderern angewiesen. Spenden und Mitgliedsbeiträge sind steuerlich absetzbar.

Weitere Informationen erhalten Sie unter [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org) oder bei einem unserer beiden Büros:

Germanwatch Büro Bonn  
Dr. Werner-Schuster-Haus  
Kaiserstr. 201, D-53113 Bonn  
Telefon +49 (0)228 / 60492-0, Fax -19

Germanwatch Büro Berlin  
Voßstr. 1, D-10117 Berlin  
Telefon +49 (0)30 / 288 8356-0, Fax -1

E-Mail: [info@germanwatch.org](mailto:info@germanwatch.org)  
Internet: [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

Bankverbindung / Spendenkonto:

Konto Nr. 32 123 00, BLZ 100 205 00,  
Bank für Sozialwirtschaft AG



Per Fax an:

+49 (0)30 / 2888 356-1

Oder per Post:

Germanwatch e.V.  
Büro Berlin  
Voßstr. 1  
D-10117 Berlin

### Ja, ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch

Ich werde Fördermitglied zum Monatsbeitrag von €..... (ab 5 €)  
Zahlungsweise:  jährlich  vierteljährlich  monatlich

Ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch durch eine Spende von  
€..... jährlich €..... vierteljährlich €..... monatlich €..... einmalig

Name .....

Straße .....

PLZ/Ort .....

Telefon .....

E-Mail .....

Bitte buchen Sie die obige Summe von meinem Konto ab:

Geldinstitut .....

BLZ .....

Kontonummer .....

Unterschrift .....