Energie

Klimaschutz: Plan B 2050

Energiekonzept für Deutschland (Langfassung)

GREENPEACE

www.greenpeace.de

Hinweis von EUtech: Dieser Bericht wurde von EUtech mit der gebotenen Sorgfalt und Gründlichkeit im Rahmen der Allgemeinen Geschäftsbedingungen für den Kunden und für seine Zwecke erstellt. EUtech gewährleistet die vertrauliche Behandlung der Daten. EUtech übernimmt keine Haftung für die Anwendungen, die über die im Auftrag beschriebene Aufgabenstellung hinausgehen. EUtech übernimmt ferner gegenüber Dritten, die über diesen Bericht oder Teile davon Kenntnis erhalten, keine Haftung. Es können insbesondere von dritten Parteien gegenüber EUtech keine Verpflichtungen abgeleitet werden.

Impressum **Herausgeber** Greenpeace e.V. Große Elbstr. 39, 22767 Hamburg, Tel. 040/306 18-0, Fax 040/306 18-100, mail@greenpeace.de, www.greenpeace.de
Politische Vertretung Berlin Marienstr. 19–20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99-0 **Autoren** Sigrid Achner (EUtech), Dr. Katja Barzantny (EUtech), Sebastian Vomberg (Eutech), Dr. Helmuth-M. Groscurth (arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik), Andree Böhling, Thomas Breuer **V.i.S.d.P.:** Andree Böhling **Redaktion** Anja Oeck **Produktion** Birgit Matyssek **Titelfoto** Paul Langrock/Zenit/Greenpeace **Grafiken** Carsten Raffel **Litho** ORC, Kohlhöfen 18, 20355 Hamburg **Druck** EDP, Virchowstraße 12, 22767 Hamburg **Auflage** 500

Die Studie wurde im Auftrag von Greenpeace durchgeführt von EUtech Energie und Management GmbH, Aachen.
Zur Deckung unserer Herstellungskosten bitten wir um eine Spende: Postbank Hamburg, BLZ 200 100 20, KTO 97 338-207

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Klimaschutz: Plan B 2050

Energiekonzept für Deutschland (Langfassung)

Autoren Dr. Katja Barzantny, Sigrid Achner, Sebastian Vomberg (Eutech Energie und Management GmbH)

Wir bedanken uns bei folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von EUtech für ihre Mitwirkung:
Dr. Jörg Meyer, Andreas Trautmann, Dr. Anja Pankztat, Angela Schäfer.

Vorwort

Kaum ein Thema wird im Wahljahr 2009 in Deutschland so kontrovers diskutiert wie die Energiepolitik. Spätestens seit den spektakulären Pannen beim versuchten Wiederanfahren des Atomkraftwerks Krümmel bei Hamburg beobachten weite Teile der Bevölkerung genau, wie sich die Parteien in der Energiefrage positionieren. Die Unterschiede sind deutlicher als in jedem anderen Politikbereich: CDU und FDP möchten im Fall eines Wahlsiegs den Atomausstieg rückgängig machen und verlängerte Laufzeiten auch für die ältesten und störanfälligsten Meiler durchsetzen. Die SPD bleibt ihrer Tradition treu und unterstützt trotz galoppierendem Klimawandel noch immer den Bau von Kohlekraftwerken mit gigantischen CO_2-Emissionen. Dadurch droht eine der größten Erfolgsgeschichten des Umwelt- und Klimaschutzes erstickt zu werden: der beispiellose Boom der Erneuerbaren Energien in Deutschland.

Denn es wird immer deutlicher: Ineffiziente, starre Großkraftwerke sind mit effektivem Klimaschutz grundsätzlich nicht vereinbar. Schon aus technischen Gründen kann es nicht klappen, die Erneuerbaren Energien auf das bestehende Energieversorgungssystem einfach aufzusatteln. Vielmehr kommt es in den nächsten Jahren darauf an, ein dezentrales Netz flexibler Kraftwerke aufzubauen, welche die Schwankungen von Wind- und Sonnenstrom ausgleichen können. Notwendig ist also das genaue Gegenteil von Atomreaktoren oder riesigen Braunkohlekraftwerken, die sich nicht schnell und gefahrlos regulieren lassen. Notwendig ist eine rasche, konsequente Umstrukturierung des gesamten Kraftwerksparks: eine Energie-Revolution für Deutschland!

Allerdings trifft dieser Umbau auf mächtigen Widerstand. Mit allen Mitteln versuchen die großen Stromkonzerne, Fortschritte beim Klimaschutz zu verhindern. Der rasante Zuwachs bei den Erneuerbaren Energien, die bereits rund 17 Prozent des Strombedarfs decken, ist bisher fast vollständig an ihnen vorbeigegangen – er wurde von mittelständischen Unternehmen getragen, in denen bereits hunderttausende Jobs entstanden sind. RWE, Eon, Vattenfall und EnBW fürchten zunehmend um ihre Marktanteile und leiten dennoch bis jetzt nur Bruchteile ihrer Investitionen in die Erneuerbaren Energien. Sie halten an ihren Dinosaurier-Kraftwerken fest, weil sich mit billiger Kohle und abgeschriebenen Altreaktoren noch immer die größten Gewinne erzielen lassen. Gleichzeitig stellen sich die Energieriesen in millionenschweren Imagekampagnen als sympathische Klimaschützer dar – und sichern sich durch Lobbyarbeit die Unterstützung einflussreicher Politiker. Bleibt zu hoffen, dass immer mehr Menschen diesen Schwindel durchschauen.

Die neuesten Befunde der Klimaforschung sind dramatisch: Der globale Treibhausgas-Ausstoß steigt weiter und liegt derzeit am oberen Rand der Emissionsszenarien, die den Berechnungen des Weltklimarats IPCC für den Temperaturanstieg zugrunde liegen. Und es zeigt sich, dass die Auswirkungen der Erwärmung bisher unterschätzt wurden und die gefürchteten Kipp-Punkte im Klimasystem der Erde offenbar schneller erreicht werden als bisher angenommen. Die Klimaschutz-Bemühungen müssen also drastisch verschärft werden – in allen Bereichen. Das Ziel heißt: eine weitgehend emissionsfreie Wirtschaft bis Mitte des Jahrhunderts.

Andree Böhling, Greenpeace

Inhalt

0 ZUSAMMENFASSUNG 1

1 AUFGABENSTELLUNG 4

2 STATUS QUO DER DEUTSCHEN KLIMA- UND ENERGIEPOLITIK 6

2.1 KERNELEMENTE DER KLIMASCHUTZ- UND ENERGIEPOLITIK DER BUNDESREGIERUNG 7

2.2 ENTWICKLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN 9

3 DERZEITIGE VERSORGUNGSSTRUKTUR UND VORAUSSICHTLICHER ENTWICKLUNGSPFAD 13

3.1 PRIMÄRENERGIEEINSATZ NACH ENERGIETRÄGERN (2007) 13

3.2 AKTUELLE STRUKTUR DER STROMVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND UND ENTWICKLUNG DES KRAFTWERKSBESTANDS 13

AKTUELLE STRUKTUR DER STROMVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND 13

ENTWICKLUNG DES KRAFTWERKSBESTANDS BIS 2020 UND AUSBLICK BIS 2050 16

3.3 EFFIZIENZERSCHLIEßUNG – ZWISCHENFAZIT 20

4 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR EINE ZUKUNFTSFÄHIGE ENERGIEVERSORGUNG 21

4.1 DIE POSITION VON GREENPEACE 21

4.2 DER GEWÄHLTE MODELLRAHMEN 21

5 POTENZIALBETRACHTUNG BIS 2050 24

5.1 EFFIZIENZPOTENZIALE ZUR SENKUNG DES STROM- UND WÄRMEBEDARFS 24

5.1.1 INDUSTRIE 24

STROMBEDARF DER INDUSTRIE 26

WÄRMEBEDARF DER INDUSTRIE 29

5.1.2 HAUSHALTE, GHD 30

STROMBEDARF DER HAUSHALTE 30

WÄRMEBEDARF DER HAUSHALTE 32

STROMBEDARF DES GHD-SEKTORS 36

WÄRMEBEDARF DES GHD-SEKTORS 37

5.2 EFFIZIENZPOTENZIALE DES VERKEHRSSEKTORS 39

VERFÜGBARKEIT ERNEUERBARER ENERGIEN 40

Einsatz von Agrokraftstoffen 40
Wechsel der Fahrzeugtechnologie 41
5.2.1 Motorisierter Individualverkehr (MIV) 41
Entwicklung von Energiebedarf und CO_2-Emissionen des MIV 43
5.2.2 Öffentlicher Personennah- und -fernverkehr (ÖPV) 44
Entwicklung von Energiebedarf und CO_2-Emissionen des ÖPV 45
5.2.3 Güterverkehr 46
Entwicklung von Energiebedarf und CO_2-Emissionen des Güterverkehrs 46
5.2.4 Weitere Verkehrsträger 47
Luftverkehr 48
Schiffsverkehr 49
5.2.5 Fazit 49
5.3 Potenziale der Erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung 50
5.3.1 Windkraft (Off-/Onshore) 52
5.3.2 Biomasse/Biogas 53
5.3.3 Photovoltaik 55
5.3.4 Solarthermie 57
5.3.5 (Lauf-)Wasserkraft 58
5.3.6 Geothermie 59
5.4 Potenziale der Kraft-Wärme-Kopplung 60
5.5 Potenziale zur Minderung anderer Treibhausgase 65
6 Maßnahmenkatalog – Update 68
6.1 Rationeller Stromeinsatz 70
6.1.1 Industrie 70
6.1.2 private Haushalte und GHD 72
6.2 Wärmebedarf im Gebäudesektor 73
6.3 Ausbau erneuerbarer Energien (Strom) 75
6.4 Ausbau Kraft-Wärme-Kopplung 76
6.5 Verkehrssektor 77
6.5.1 Motorisierter Individualverkehr 77
6.5.2 Öffentlicher Personenverkehr (ÖPV) 78
6.5.3 Güterverkehr 78

6.6 Umstrukturierung und Erneuerung des Kraftwerksparks 79
6.7 Andere treibhausgase 81
7 GREENPEACE-ENERGIEKONZEPT BIS 2050 86
7.1 Beschreibung der Vorgehensweise und des Modells 86
7.2 Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs bis 2050 87
7.3 Deckung des Strom- und Wärmebedarfs 89
Kraft-Wärme-Kopplung 90
Erneuerbare Energien 92
Zentraler fossiler Kraftwerkspark 95
7.4 Entwicklung des Brennstoffeinsatzes und Emissionsbilanz 98
7.5 Fazit 99
8 SZENARIO: BUSINESS AS USUAL BIS 2050 102
9 PROGNOSE DER STROMPREISENTWICKLUNG IM GREENPEACE-SZENARIO 108
9.1 Vorgehensweise 108
9.2 Ergebnisse 109
10 ENTWICKLUNG DER IMPORTABHÄNGIGKEIT IM GREENPEACE-SZENARIO 112
11 SICHERHEIT DER STROMVERSORGUNG 115
12 WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG DES GREENPEACE-SZENARIOS 119
12.1 Gegenüberstellung von Investitionen und vermiedenen Brennstoffkosten 119
12.2 Gesamtwirtschaftliche einordnung des Greenpeace-Szenarios 120
Kosten-Wirksamkeits-Analysen und ihre Aussagegrenzen 121
Externe Effekte und Konsequenzen ihrer Internalisierung 122
Beschäftigungseffekte der Erneuerbaren Energien 123
13 FAZIT 126
14 LITERATUR 129
ANHANG A: DATENGERÜST DES GREENPEACE-SZENARIOS I
ANHANG B: WEITERE INFORMATIONEN ZUR STROMPREISENTWICKLUNG VI
Abkürzungen X

0 ZUSAMMENFASSUNG

Im Jahr 2007 stellte Greenpeace mit dem Energiekonzept „Klimaschutz: Plan B“ ein nationales Energiekonzept bis zum Jahr 2020 vor. Zwischenzeitlich haben sich die Rahmenbedingungen in der deutschen Energiepolitik zum Teil erheblich gewandelt. Gleichzeitig bestätigen die neuesten Erkenntnisse der Klimaforschung einen dringenden und umfassenden Handlungsbedarf, der in der Forderung von Greenpeace mündet, bis zur Mitte des Jahrhunderts eine annähernd emissionsfreie Wirtschaft anzustreben. Daraus ist die Notwendigkeit zur Erstellung eines nachhaltigen Energieversorgungskonzeptes mit einem langfristigen Zeithorizont bis 2050 erwachsen. Mit dem vorliegenden Greenpeace-Szenario „Klimaschutz: Plan B 2050“(im Folgenden „Energiekonzept 2050“) - einer Aktualisierung, Fortschreibung und Erweiterung von „Klimaschutz: Plan B“ - wird im Wahljahr 2009 somit ein wichtiger Diskussionsbeitrag zur aktuellen Klimaschutzdebatte geleistet.

Das Kernstück der aktuellen Klimaschutzbemühungen der Bundesregierung ist ihr Integriertes Klima- und Energieprogramm (IKEP) aus dem Jahr 2007. Trotz der damit verbundenen zahlreichen Gesetzes- und Verordnungsvorhaben bestehen weiterhin erhebliche politische Handlungsdefizite. Diese konnten in dieser Studie im Rahmen einer Potenzialbetrachtung für alle Sektoren der deutschen Wirtschaft in den Bereichen rationeller Stromeinsatz, Wärmebedarf im Gebäudesektor, Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, Verkehr sowie Nicht-CO_2-Treibhausgase identifiziert werden. Um das Tempo der Emissionsminderung gegenüber der Periode 1990 bis 2007 deutlich zu beschleunigen, ist vor allem eine substantielle Umstrukturierung der deutschen Energieversorgung erforderlich, für die die Weichen heute gestellt werden müssen. Das hier dargestellte Greenpeace-Szenario „Energiekonzept 2050“ fußt damit auf den drei Säulen:

1. Reduzierung des Energiebedarfs durch Effizienzerschließung
2. Wechsel von fossilen zu Erneuerbaren Energieträgern und
3. bestmögliche Brennstoff-Ausnutzung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen in der Übergangszeit, in der auf fossile Brennstoffe nicht vollständig verzichtet werden kann.

Seit dem Jahr 2004 sind sowohl die Bruttostromerzeugung als auch der nationale Stromverbrauch kontinuierlich gestiegen. Bei Erschließung der bekannten technischen und wirtschaftlichen Energiesparpotenziale in der Industrie, im Gewerbe, Handel und Dienstleistungssektor und in den privaten Haushalten können der Stromeinsatz bis 2020 um 12 Prozent und der gesamte Endenergieeinsatz um 23 Prozent reduziert werden. Durch den parallelen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung geht der Primärenergieeinsatz bis 2020 sogar um

knapp 40 Prozent zurück, da die Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung zusätzlich erheblich reduziert werden. Durch die zunehmende Entwicklung hin zu dezentralen Anlagen, die Strom und Wärme in räumlicher Nähe der Abnehmer erzeugen, nehmen gleichzeitig auch die Verluste für die Energieverteilung ab. Der fortschreitende Ausbau Erneuerbarer Energien, die in 2020 einen Beitrag von 37 Prozent zur Stromerzeugung leisten, überkompensiert gemeinsam mit der Effizienzerschließung die ohnehin zurückgehenden Beiträge der Kernenergie. Beides (sinkender Bedarf und wachsender regenerativer Beitrag) ermöglicht im Greenpeace-Szenario einen vorgezogenen Ausstieg aus der Kernenergienutzung in 2015 (statt etwa 2023, wie im Kernenergieausstiegspfad der Bundesregierung vorgesehen). Es konnte nachgewiesen werden, dass weder die Laufzeitverlängerungen von Kernkraftwerken noch eine Fortsetzung des Zubaus von Kohlekraftwerken als Übergangslösungen geeignet sind, sondern dass sie im Gegenteil die Erreichung ambitionierter mittel- und langfristiger Klimaschutzziele erschweren. Statt dessen stellt die hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung eine sinnvolle Brückentechnologie für die nächsten zwei bis drei Jahrzehnte dar. Dem vorzeitigen Kernenergieausstieg folgt im Greenpeace-Szenario ein langfristig angelegter sukzessiver Ausstieg aus der Kohlenutzung bis zum Jahr 2040. Im Jahr 2050 ist eine vollständige Stromversorgung und eine sehr weitreichende Wärme- und Kraftstoffversorgung mit Erneuerbaren Energien möglich.

Ein weiterer Fokus der Studie liegt auf den Entwicklungsmöglichkeiten im Verkehrssektor. Hier konnte gezeigt werden, dass durch einen weitgehenden Ersatz des klassischen Verbrennungsmotors durch neue CO_2-freie Konzepte, eine bessere Auslastung der öffentlichen Verkehrsmittel und eine Verlagerung des Güterverkehrs vom Lkw auf die Schiene die Emissionen des Sektors bis 2050 nahezu auf Null gesenkt werden können. Kurz-, mittel- und langfristig kann dabei auf einen deutlichen Ausbau der Agrokraftstoffe verzichtet werden. Vielmehr sind in den nächsten Jahren bis 2020 die Reduzierung von Fahrzeuggewicht und -größe die wesentlichen Stellschrauben für die notwendige Verbrauchssenkung.

Die Betrachtungen werden ergänzt durch einen Katalog politischer Maßnahmen, die umgesetzt werden müssen, um die Potenziale auszuschöpfen, wie z.B. ehrgeizige Effizienzklassen für neue Anlagen, die Einführung moderner Energiemanagementsysteme in Industriebetrieben, ein schnelles Verbot von Nachtstromspeicherheizungen, umfangreiche Investitionen in Infrastruktur, ÖPV und Schienengüterverkehr und eine optimale Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung.

Weiterhin wurde nachgewiesen, dass das Greenpeace-Szenario weder zu Einschränkungen der Versorgungssicherheit noch zu Kostensteigerungen gegenüber einer Referenzsituation führt, die die aktuellen Energieerzeugungs- und -bedarfsstrukturen im wesentlichen fortschreibt. Die Gegenüberstellung des

ambitionierten Greenpeace-Szenarios mit einem Business As Usual-Szenario (BAU-Szenario) verdeutlicht vielmehr die Konsequenzen des Nicht-Handelns. Während die Importabhängigkeit im Greenpeace-Szenario im Zeitraum von 2007 bis 2050 von aktuell über 70 Prozent auf elf Prozent substantiell zurückgeht, führt eine hohe Abhängigkeit von Erdgas-, Steinkohle- und Erdölimporten zu einer deutlich geringeren Versorgungssicherheit im BAU-Szenario. Trotz eines höheren Einsatzes im Stromsektor nimmt der Erdgasbedarf im Greenpeace-Szenario bis 2020 absolut um 7,5 Prozent und bis 2030 sogar um 26 Prozent ab, was ein weiteres Mal die Bedeutung von Energieeinsparung und Effizienzerschließung unterstreicht. Ein Vergleich der absoluten jährlichen Stromgestehungskosten beider Szenarien für die Jahre 2020 und 2030 zeigt, dass das Greenpeace-Szenario in 2020 um zehn Prozent geringere Kosten und in 2030 etwa gleiche Kosten verursacht. Die Mehrinvestitionen für Klimaschutzmaßnahmen belaufen sich bis zum Jahr 2020 im Greenpeace-Szenario auf gut 110 Mrd. €. Eine lineare Potenzialerschließung vorausgesetzt, betragen die kumulierten Energiekosteneinsparungen durch vermiedene Brennstoffimporte dagegen bis 2020 bereits knapp 145 Mrd. €.

Im Ergebnis zeigt das Greenpeace-Szenario, wie bis 2050 unter den gewählten Rahmenbedingungen und Annahmen eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um etwa 90 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 1990 möglich ist. Um dieses Ziel zu erreichen, ist allerdings ein frühzeitiges Handeln unerläßlich und eine Verschärfung des Klimaschutzziels für 2020 notwendig: Bis dahin müssen die Emissionen um 46 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 sinken. Das Klimaschutzziel der Bundesregierung und das hierauf basierende Integrierte Klima- und Energieprogramm erfüllen schon heute nicht mehr die Anforderungen an die von der Wissenschaft bis zur Mitte des Jahrhunderts geforderten Emissionssenkungen. Das Greenpeace-Szenario belegt, dass diese Klimaschutzziele nicht nur technisch möglich, sondern auch ökonomisch sinnvoll erreichbar sind und zeigt die notwendigen Maßnahmen für eine zukunftsfähige Energie- und Klimapolitik auf.

1 AUFGABENSTELLUNG

Im Jahr 2007 stellte Greenpeace mit dem Energiekonzept „Klimaschutz: Plan B“ ein nationales Energiekonzept bis zum Jahr 2020 vor [1]. Darin wurde gezeigt, dass sich bei einem vorgezogenen Kernenergieausstieg bis 2015 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 erreichen lässt. Seitdem hat sich in der deutschen Energiepolitik einiges getan: Die Bundesregierung hat mit ihrem Integrierten Klima- und Energieprogramm (IKEP) eine Vielzahl politischer Maßnahmen beschlossen und zum Teil erneuert [2]. Unabhängig davon ist der reale Ausbau der Windenergie an Land noch rasanter als angenommen voran geschritten. Zugleich hat aber auch die Zahl der sich in Bau befindlichen klimaschädlichen Kohlekraftwerke deutlich zugenommen.

In dieser Studie soll das Energiekonzept den neuen Rahmenbedingungen angepasst werden. Gleichzeitig wird der Zeithorizont erweitert und über das Jahr 2020 hinaus bis 2050 fortgeschrieben. Die Betrachtung konzentriert sich zwar auf den Energiesektor, erfasst aber alle treibhausgasrelevanten Sektoren in Deutschland, einschließlich Verkehr, Landwirtschaft und Industrie. Darüber hinaus sollen in einer wirtschaftlichen Bewertung zum einen die vermiedenen Brennstoffkosten den notwendigen Investitionen gegenübergestellt werden und zum anderen das technische Konzept durch eine Kosten-Wirksamkeits-Betrachtung ergänzt werden. Eine solche Aktualisierung, Erweiterung und Fortschreibung hat gerade im Wahljahr 2009 eine besondere Bedeutung, denn die Wahrscheinlichkeit, dass ein anspruchsvolles Energieversorgungskonzept zum Schutz des Klimas umgesetzt wird, ist in hohem Maße eine Frage des politischen Willens.

Die Untersuchung orientiert sich in ihrer Gliederung am Energiekonzept „Klimaschutz: Plan B“ und umfasst 13 Kapitel. Inhaltliche Schwerpunkte liegen auf den Kapiteln 5 (Potenzialbetrachtung) und 7 (Fortschreibung des Energiekonzepts bis 2050). Im Anschluss an die Erläuterung der Aufgabenstellung wird in Kapitel 2 und 3 die Ausgangslage analysiert: Kapitel 2 dokumentiert Ziele und realisierte Maßnahmen der deutschen Klimaschutzpolitik, Kapitel 3 die aktuelle Versorgungsstruktur und den voraussichtlichen Entwicklungspfad des deutschen Kraftwerksparks. Es folgt in Kapitel 4 – basierend auf den inhaltlichen Vorgaben von Greenpeace – die Darstellung der grundsätzlichen Randbedingungen des Greenpeace-Szenarios mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 annähernd auf Null zu bringen.

Kapitel 5 widmet sich anschließend – aufbauend auf der detaillierten Potenzialanalyse in „Klimaschutz: Plan B“ – den Einspar- bzw. Ausbaupotenzialen in allen Sektoren der deutschen Wirtschaft und der Festlegung

des Umfangs der für die Zielerreichung genutzten Potenziale. Hierbei werden insbesondere auch die Entwicklungen der vergangenen Jahre beim Energieeinsatz analysiert und die Konsequenzen der aufgetretenen Verzögerungen bei der Effizienzerschließung für das Jahr 2020 aufgezeigt.

In Kapitel 6 wird ein Katalog politischer Maßnahmen abgeleitet, die umgesetzt werden müssen, um die Potenziale auszuschöpfen. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Beiträge der Erneuerbaren Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zur Deckung des Energiebedarfs. Hinzu kommen die Potenziale zur Emissionsminderung außerhalb der Stromwirtschaft (Effizienzpotenziale zur Senkung des Strom-, Wärme- und Kraftstoffbedarfs) und die Potenziale zur Minderung anderer Treibhausgase. Die Ergebnisse der Analyse in Kapitel 5 und der Maßnahmenkatalog werden in Kapitel 7 aufeinander abgestimmt und zu einem Gesamtmodell für eine baldige Energiewende und eine maximale Emissionsminderung bis zum Jahr 2050 zusammengeführt.

Kapitel 9 beschreibt die Auswirkungen der Umstrukturierung der Energieversorgung auf den Strompreis, während Kapitel 10 die Entwicklung der Importabhängigkeit im Greenpeace-Szenario untersucht. Ergänzend wird auch die Sicherheit der Stromversorgung durch dieses Energiekonzept erörtert (Kapitel 11).

Eine wirtschaftliche Bewertung des Greenpeace-Szenarios erfolgt in Kapitel 12, während das in Kapitel 8 beschriebene BAU-Szenario die Konsequenzen des *Nicht-Handels* verdeutlicht. In Kapitel 13 werden schließlich die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und bezüglich der Fragestellung abschließend bewertet.

2 STATUS QUO DER DEUTSCHEN KLIMA- UND ENERGIEPOLITIK

Laut des Vierten Sachstandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat sich die Erde in den letzten 100 Jahren um 0,74 °C erwärmt, schneller als je zuvor in den letzten 1.000 Jahren, und die Erwärmung beschleunigt sich weiter. Dieser Wandel ist größtenteils auf menschliche Einflüsse zurückzuführen, vor allem auf die Verfeuerung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas, bei der große Mengen klimaschädlicher Treibhausgase frei werden. Mit der verstärkten Industrialisierung in den sogenannten Schwellenländern, allen voran China und Indien, könnte sich der Ausstoß noch erheblich beschleunigen. Der World Energy Outlook 2008 verdeutlicht, dass der weltweite Treibhausgasausstoß bis 2030 gegenüber heute um 45 Prozent zunähme, wenn jetzt nicht aktiv gegengesteuert wird. Bis zum Jahr 2100 könnte sich die Erde bei einem Scheitern des Klimaschutzes um bis zu 6,4 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau erwärmen. Dies hätte verheerende Folgen für die Ökosysteme und damit auch für die wirtschaftlichen und sozialen Lebensgrundlagen des Menschen (Roadmap Energiepolitik 2020, 2009). Die in diesem Zusammenhang angestrebte Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 2,0 Grad Celsius ist ein politisches Ziel, um „schlimmste Folgen“ abzuwenden, aber schon heute hat der Klimawandel schwerwiegende Folgen. ([3], [4], [5])

Basierend auf diesen Erkenntnissen haben sich die 27 Mitgliedstaaten der EU im März 2007 auf eine Reduktion der CO_2-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 um 30 Prozent verpflichtet, falls ein globales Abkommen zustande kommt, in jedem Fall jedoch um mindestens 20 Prozent. Der Anteil der Erneuerbaren Energien soll bis 2020 auf 20 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch der EU ausgebaut werden. Zudem soll die Effizienz um ebenfalls 20 Prozent bis 2020 steigen.

Als wichtigstes Instrument zur Erfüllung der gemeinschaftlichen Emissionsreduktionsverpflichtung wurde schon am 1. Januar 2005 der europäische Emissionshandel auf Unternehmensebene eingeführt. Das im Dezember 2008 von der EU verabschiedete Klima- und Energiepaket steckt darüber den Rahmen, in dem die Beschlüsse des Europäischen Rats vom März 2007 umgesetzt werden sollen. Industrie und Energieunternehmen sollen bis 2020 im Rahmen des Emissionshandels 21 Prozent Minderung gegenüber 2005 erbringen. Haushalte, Verkehr und der Dienstleistungssektor müssen ihre Emissionen um 10 Prozent gegenüber 2005 reduzieren. Der Verteilungsschlüssel für die einzelnen Mitgliedstaaten im Rahmen einer differenzierten Lastenverteilung ist an der jeweiligen Wirtschaftskraft (Bruttoinlandsprodukt) orientiert. Danach sollen in Deutschland für die nicht in den Emissionshandel einbezogenen Sektoren – Verkehr, Haushalte, Landwirtschaft, Abfall – die

Treibhausgase um 14 Prozent gegenüber 2005 gemindert werden. Im Bereich der Erneuerbaren Energien wird für Deutschland eine nationale Quote (Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch) von 18 Prozent bis zum Jahr 2020 als Zielwert festgelegt. 2006 betrug diese Quote 6 Prozent. [6]

2.1 KERNELEMENTE DER KLIMASCHUTZ- UND ENERGIEPOLITIK DER BUNDESREGIERUNG

Vor dem oben beschriebenen Hintergrund hat die Bundesregierung folgende Klimaschutz- und energiepolitischen Ziele beschlossen [5]:

- Die Treibhausgasemissionen sollen bis 2020 gegenüber 1990 um 40 Prozent gesenkt werden. Dies entspricht einer Minderung um etwa 270 Mio. t $CO_{2eq.}$ gegenüber dem Jahr 2006.[1]
- Die Energieproduktivität soll um 3 Prozent pro Jahr gesteigert werden. Dies bedeutet, dass Energie 2020 doppelt so effizient genutzt wird wie 1990.
- Der Anteil der Erneuerbaren Energien soll kontinuierlich erhöht werden, und zwar der Anteil am
  - Primärenergieverbrauch auf 50 Prozent bis 2050;
  - Endenergieverbrauch von heute rund 9 Prozent auf 18 Prozent bis 2020;
  - Bruttostromverbrauch von derzeit rund 15 Prozent auf mindestens 30 Prozent bis 2020;
  - Wärmeenergiebedarf von heute rund 7 Prozent auf 14 Prozent bis 2020.
- Der Anteil der Agrokraftstoffe soll bis 2020 so weit erhöht werden, dass dadurch die Treibhausgasemissionen um 7 Prozent gegenüber dem Einsatz fossiler Kraftstoffe reduziert werden.[2]
- Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) an der Stromerzeugung soll bis 2020 auf 25 Prozent verdoppelt werden.

---

[1] Ende 2007 lag Deutschland bei einer Minderung um 21,3 Prozent (vgl. [9]).

[2] Das nationale Agrokraftstoffziel von vormals 17 Prozent wurde vom BMU auf die Größenordnung von 12-15 Prozent gesenkt. Auch die ursprünglich geplanten Beimischquoten für die kommenden Jahre (bis 2014) wurden im Oktober 2008 gesenkt.

Kernstück der Klimaschutzbemühungen der Großen Koalition ist ihr Integriertes Klimaschutz- und Energieprogramm (IKEP) [2]. Die Bundesregierung hat die 29 Eckpunkte dieses Programms am 23. August 2007 während ihrer Kabinettsklausur in Meseberg beschlossen. Sie sind auch das Ergebnis der Energiegipfel, zu denen sich Bundeskanzlerin Angela Merkel seit 2006 mit den Hauptakteuren der Energiewirtschaft getroffen hat. Am 5. Dezember 2007 legte dann das Kabinett das sogenannte IKEP-Paket I mit 14 Gesetzes- und Verordnungsvorhaben vor.

Der Bundestag verabschiedete die vier Gesetzesentwürfe für das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2009), das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWK-G 2009), das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) sowie das Gesetz zur Liberalisierung des Messwesens am 6. Juni 2008 in 2./3. Lesung. Die ersten drei genannten Gesetze traten am 1. Januar 2009 in Kraft, das Gesetz zur Liberalisierung des Messwesens bereits am 9. September 2008. Das IKEP-Paket II wurde am 18. Juni 2008 im Bundeskabinett verabschiedet. Bei den Beschlüssen liegt der Schwerpunkt auf der Verbesserung der Energieeffizienz (vgl. [7]):

- Novelle des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009)
- Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes zum Ausbau des Stromnetzes (Gesetz zur Beschleunigung des Ausbaus der Höchstspannungsnetze)
- Verordnung zum Erlass von Regelungen über Messeinrichtungen im Strom- und Gasbereich (Messzugangsverordnung - MessZV)
- Novelle der Heizkostenverordnung (HeizkV)
- Novelle des LKW-Mautgesetzes und der Mauthöheverordnung
- Eckpunkte für Umstellung der Kfz-Steuer auf CO_2-Basis.[3]

Mit dem Dritten Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes hat der Bundesrat am 13. Februar 2009 den Weg frei gemacht für die Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009), die am 6. März 2009 durch den Bundesrat und am 18. März 2009 von der Bundesregierung mit zahlreichen Änderungen beschlossen wurde. Sie soll im Herbst 2009 in Kraft treten. Am 23. Oktober 2008 sind bereits die Heizkostenverordnung und am 1. Januar 2009 die Messzugangsverordnung in Kraft getreten. Auch der

[3] Die Kfz-Steuer soll zukünftig eine Bundessteuer sein, die Bundesländer erhalten im Rahmen der Föderalismusreform II entsprechende Kompensationszahlungen. Geplant ist ein Inkrafttreten am 1.1.2010.

Mauthöheverordnung hat der Bundesrat am 7. November 2008 zugestimmt. Am 12. Juni 2009 hat schließlich das Gesetz zur Beschleunigung des Ausbaus der Höchstspannungsnetze, das u.a. planungsrechtliche Hindernisse für vordringliche Leitungsprojekte insbesondere im Hinblick auf den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien beseitigen soll, den Bundesrat passiert.

Im IKEP-Paket II sind allerdings auch wesentliche Aspekte der in Meseberg beschlossenen Eckpunkte des Integrierten Klima- und Energieprogramms ausgeklammert bzw. abgeschwächt worden (vgl. [8], S. 43 f.). Dazu gehören die Umstellung der Kfz-Steuer auf den CO_2-Ausstoß, die Reform der Dienstwagenbesteuerung, die Sanierungspflicht bei Altbauten und die Nachrüstungsverpflichtung von selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern sowie die Anpassung der Heizkostenverordnung. Eine ausführliche Darstellung der politischen Handlungsdefizite erfolgt in Kapitel 6 auf der Basis des im Rahmen dieser Studie aktualisierten Maßnahmenkatalogs.

2.2 ENTWICKLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Im Jahr 2007 betrugen die gesamten Treibhausgas-Emissionen in Deutschland 956,8 Mio. t CO_2-Äquivalente [10]. Gegenüber dem Ausgangswert von 1.232 Mio. t CO_2-Äquivalenten im Basisjahr 1990/1995 entspricht dies einer Minderung von 275,2 Mio. t bzw. 22,3 Prozent. Damit liegt Deutschland im Zielkorridor des Kyoto-Protokolls, dass eine Verringerung um 21 Prozent im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 (bezogen auf das Basisjahr 1990) vorsieht.

Den größten Anteil an diesem deutlichen Rückgang haben die CO_2-Emissionen, die von 1.036 Mio. t auf 841,2 Mio. t (minus 19 Prozent) gesunken sind (Aufteilung nach Sektoren s. Abbildung 2-1). Die Emissionen der anderen Treibhausgase (Methan, Lachgas, HFCs, PFCs, SF6) sind von 1990 bis 2007 um insgesamt 64 Mio. t CO_2-Äquivalente (minus 36 Prozent) auf 116 Mio. t reduziert worden. Hierbei entfallen 42,55 Mio. t auf Methan und 55,9 Mio. t auf Lachgas. Dem Trend entgegen verläuft weiterhin die Entwicklung der HFCs, die im betrachteten Zeitraum wegen des verstärkten Einsatzes in der Kälteerzeugung kontinuierlich gestiegen sind (siehe [1], S.12) und mittlerweile 11,1 Mio. t CO_2-Äquivalente betragen.

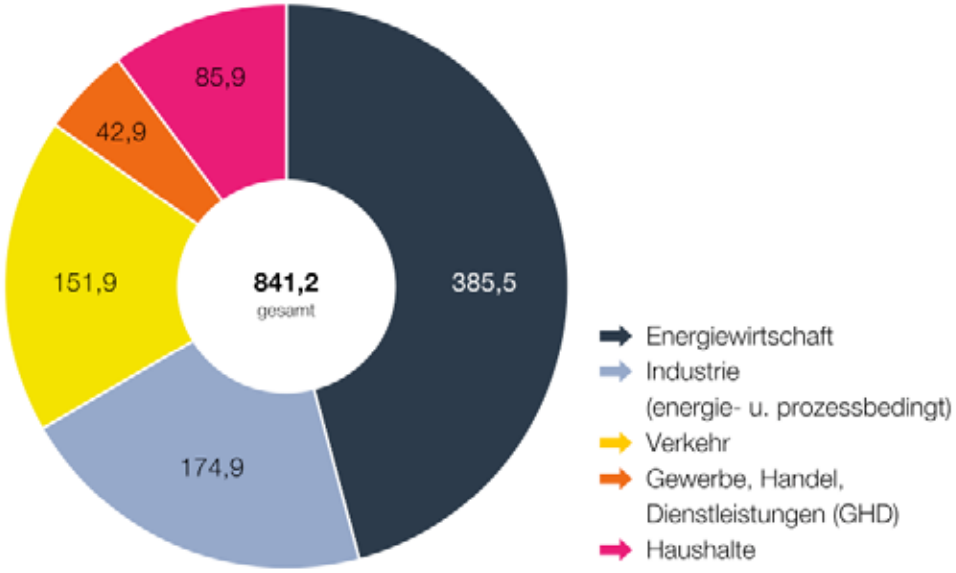


Abbildung 2-1: CO_2-Emissionen in Deutschland nach Sektoren (in Mio. t) (2007)

Nach einem kurzfristigen Anstieg der Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2001 gegenüber 2000 sowie von 2005 auf 2006 ist die Minderung im Jahr 2007 sehr stark ausgefallen (24 Mio. t CO_2-Äquivalente bzw. 26 Mio. t CO_2) [9]. Das Umweltbundesamt führt diesen Rückgang auf eine Kombination verschiedener dämpfender Effekte (überdurchschnittlich hohe Temperaturen, starke Preisanstiege für die fossilen Energieträger Öl und Gas, Mehrwertsteuererhöhung zu Beginn des Jahres 2007 verbunden mit vorgezogenen Heizöleinkäufen, ein erneuter Zuwachs der Erneuerbaren Energien) zurück. Mit Ausnahme des Ausbaus der Erneuerbaren Energien handelt es sich um Einmaleffekte, die laut Umweltbundesamt ein Nachlassen in den Klimaschutzanstrengungen nicht rechtfertigen. Auch der aktuell durch die Wirtschaftskrise bedingte Rückgang der Emissionen kann hinsichtlich des zukünftigen Trends nicht als belastbar gelten.

Die CO_2-Emissionen haben mit 88 Prozent nach wie vor den größten Anteil an den gesamten Treibhausgas-Emissionen. Dabei ist zunächst festzuhalten, dass Deutschland zu den wenigen westlichen Industrieländern gehört, in denen die Emissionen heute erheblich unter dem Niveau von Anfang der 90er Jahre liegen [11]. Über den gesamten Zeitraum war die Energiewirtschaft der mit großem Abstand wichtigste Emittent. Ihr Anteil, der im Jahr 1990 40 Prozent betragen hatte und in den 90er Jahren leicht rückläufig war, erhöhte sich im Zeitraum 2000 bis 2007 deutlich auf nunmehr fast 46 Prozent. Im Sektor Verkehr ist seit 1999 ein stark rückläufiger Trend zu erkennen, sodass die Emissionen 2007

niedriger waren als 1990 (s. Tabelle 2-1). Als wesentliche Ursache kann in diesem Zusammenhang der verstärkte Einsatz von Agrokraftstoffen genannt werden[4]. Stark gesunken sind in den Jahren nach 2000 die Emissionen bei den privaten Haushalten sowie im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Allerdings muss an dieser Stelle auch auf die große Bedeutung der oben genannten Einmaleffekte hingewiesen werden. Der größte absolute Emissionsrückgang im Zeitraum 1990 bis 2007 entfällt mit 65 Mio. t auf den Industriesektor (energiebedingte und prozessbedingte CO_2-Emissionen).

Die Höhe der CO_2-Emissionsminderungen schwankt im Zeitverlauf stark. Allein im Zeitraum 1990 bis 1993 sind im Zuge der Wiedervereinigung bereits knapp 100 Mio. t reduziert worden. Dagegen sanken die Emissionen in den 14 Jahren von 1993 bis 2007 nur um lediglich weitere 100 Mio. t. Im Zeitraum 1999 bis 2006 betrug die gesamte Emissionsminderung gerade einmal 13 Mio. t. Der starke Rückgang der CO_2-Emissionen um 26 Mio. t im Jahr 2007 gegenüber 2006 verbessert zwar die Emissionsbilanz deutlich, ist wie oben erwähnt aber nicht als Beginn einer Trendwende zu interpretieren.

Auch ist darauf hinzuweisen, dass die CO_2-Emissionen der Energiewirtschaft seit Ende der 90er Jahre trotz des rapiden Ausbaus der Erneuerbaren Energien kontinuierlich gestiegen sind. Dies ist u.a. auf zwei Effekte zurückzuführen. Zum einen ist ein erhöhter Anteil der Stromerzeugung durch fossile Kraftwerke, insbesondere Kohlekraft zu nennen. Zum anderen hat eine deutliche Erhöhung der Bruttostromerzeugung zum Anstieg der Emissionen der Energiewirtschaft beigetragen, die sowohl auf einen erhöhten nationalen Strombedarf als auch auf einen stetig steigenden Stromexport zurückzuführen ist.

Angesichts der von der Bundesregierung definierten mittel- und langfristigen Klimaschutzziele ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, das Tempo der Emissionsminderung gegenüber der Periode von 1990 bis 2007 erheblich zu beschleunigen.

[4] Ein Ersatz fossiler durch Agrokraftstoffe führt allerdings nicht zu einer 100prozentigen Emissionsminderung, da die Produktion der Agrokraftstoffe vergleichsweise hohe Emissionen verursacht (sogenannte Emissionen der Vorkette).

Tabelle 2-1: Entwicklung der CO_2-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2007 nach Sektoren [11]

CO_2-Emissionen	1990	1995	2000	2005	2006	2007	1990-2007 Änderung in Prozent
	Mio. t CO_2						
insgesamt	1.035,6	922,7	883,7	851,7	867,0	841,2	-18,8
Energie-bedingte Emissionen	948,1	839,1	798,4	771,7	784,0	755,3	-20,3
Energie-wirtschaft	414,9	356,7	347,2	365,8	369,4	385,5	-7,1
Verarbeitendes Gewerbe	154,5	112,3	98,3	88,0	92,5	89,1	-42,3
Verkehr	162,6	175,8	180,6	159,4	155,3	151,9	-6,6
davon: Straßenverkehr	150,4	165,1	171,2	151,1	147,1	144,1	-4,2
Übrige Feuerungs-anlagen	204,3	190,4	170,0	156,9	165,3	127,5	-37,6
davon: GHD-Sektor	74,9	61,2	52,1	45,8	51,9	41,6	-44,5
Haushallte	129,5	129,2	117,9	111,1	113,4	85,9	-33,6
Militär und weitere kleine Quellen	11,8	3,9	2,3	1,7	1,6	1,3	-89,1
Prozess-bedingte Emissionen	87,5	83,5	85,3	80,0	83,0	85,8	-1,9

3 DERZEITIGE VERSORGUNGSSTRUKTUR UND VORAUSSICHTLICHER ENTWICKLUNGSPFAD

3.1 PRIMÄRENERGIEEINSATZ NACH ENERGIETRÄGERN (2007)

Der Primärenergieeinsatz betrug im Jahr 2007 bundesweit etwa 3.850 TWh. Davon wurde etwa ein Drittel (33 Prozent) über Mineralöl und knapp ein Viertel (23 Prozent) über Erdgas bereitgestellt (s. Tabelle 3-1). Stein- und Braunkohle kamen zusammen auf einen Anteil von ebenfalls gut einem Viertel (26 Prozent). Die Kernenergie trug mit etwa 11 Prozent zum Primärenergieeinsatz in Deutschland bei.

Tabelle 3-1: Primärenergieeinsatz in Deutschland 2007 [12]

Energieträger	in TWh	Anteil in Prozent
Mineralöl	1.286	33 Prozent
Steinkohle	549	14 Prozent
Braunkohle	448	12 Prozent
Erdgas	868	23 Prozent
Kernenergie	426	11 Prozent
Wasser- und Windkraft	61	2 Prozent
Sonstige	207	5 Prozent
Außenhandelssaldo Strom	2	0 Prozent
Gesamtverbrauch	3.846	

3.2 AKTUELLE STRUKTUR DER STROMVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND UND ENTWICKLUNG DES KRAFTWERKSBESTANDS

AKTUELLE STRUKTUR DER STROMVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND

Die Bruttostromerzeugung in Deutschland ist seit 2004 deutlich von damals etwa 615 TWh/a auf heute knapp 640 TWh/a (2008) gestiegen. Allerdings enthalten diese Zahlen einen zunehmenden Anteil von Stromexporten[5] in die europäischen

[5] Obwohl der Beitrag der Kernkraftwerke zur Stromerzeugung in 2007 um über 16 Prozent (verglichen mit dem Vorjahr) zurückgegangen ist, da eine Reihe von Kernkraftwerken aufgrund von ungeplanten Betriebsausfällen über längere Zeit keinen Strom

Nachbarländer (s. Abbildung 3-1). Obwohl die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch am hochentwickelten Industriestandort Deutschland und die unbestritten großen Effizienzpotenziale in allen Sektoren prinzipiell eine Trendumkehr erlaubt hätten, hat sich auch der nationale Stromverbrauch in den vergangenen Jahren jeweils um durchschnittlich 0,6 Prozent konstant erhöht (s. Abbildung 3-1, „Bruttostromerzeugung für inländischen Bedarf“).

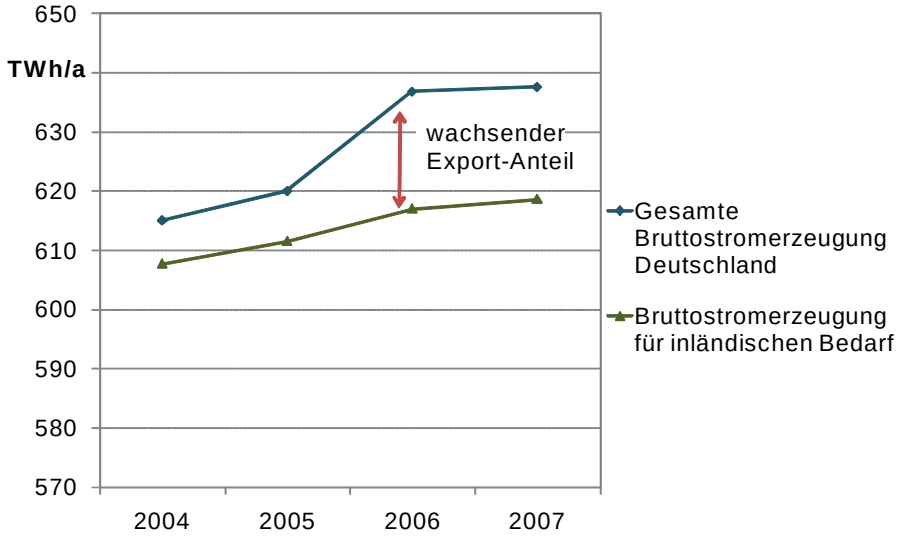


Abbildung 3-1: Entwicklung der Bruttostromerzeugung und des nationalen Bedarfs in den Jahren 2004 bis 2007 ([12], eigene Berechnungen)

Die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern basiert heute noch vorwiegend auf Stein- und Braunkohle (s. Abbildung 3-2). Erdgas macht nur etwa ein Fünftel der fossilen Erzeugung aus. Die Kernenergie trägt mit einem sinkenden Anteil[6] von derzeit noch 22 Prozent (2007; zum Vergleich: 27 Prozent in 2004) zur Stromerzeugung bei. Hingegen leisten die Erneuerbaren Energien einen jährlich steigenden Beitrag (14 Prozent im Jahr 2007; zum Vergleich: 9,5 Prozent in 2004) und konnten im betrachteten Zeitraum die rückläufige Stromerzeugung aus Kernenergie nahezu vollständig ausgleichen.

produzierten, konnten die hohen Stromexporte des Jahres 2006 auch in 2007 beibehalten werden.

[6] Lt. einer Mitteilung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) vom 02.04.2009 haben die Kernkraftwerke in den letzten acht Jahren bereits über die Hälfte (53 Prozent) der im „Atomkonsens“ im Jahr 2000 vereinbarten Reststrommenge produziert. Für die kommenden Jahre ist ein weiterer deutlicher Rückgang der Stromproduktion aus Kernenergie vorgesehen.

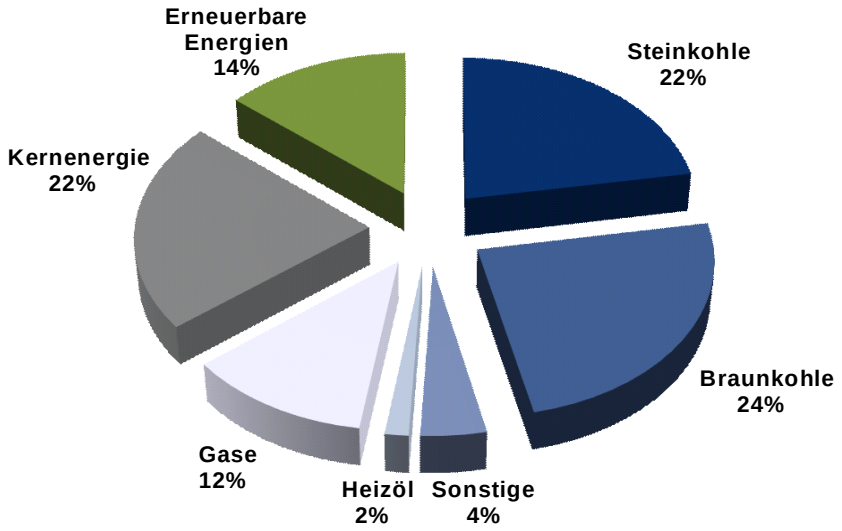


Abbildung 3-2: Struktur der Stromerzeugung in Deutschland, 2007 [12]

Die installierte Kraftwerksleistung hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen (vgl. [13], S. 15 und [12], Tabelle 22), wobei die Leistung der fossil-nuklearen Erzeugungskapazitäten mit rund 100 GW seit 2004 nahezu konstant geblieben ist. Aufgrund der unterschiedlichen Auslastung der einzelnen Kraftwerkstypen unterscheidet sich die Kapazitätsstruktur von der Stromerzeugung. Den größten Anteil an der installierten Gesamtkapazität haben Steinkohlekraftwerke mit 21 Prozent. Braunkohle-, Gas- und Kernkraftwerke tragen sowie Windkraftanlagen[7] liegen derzeit etwa gleichauf, sie tragen jeweils rund 15-16 Prozent zur Gesamtleistung bei. Insgesamt entfällt auf die Gruppe der Erneuerbaren Energien rund ein Viertel der Gesamtleistung des deutschen Kraftwerksparks (s. Abbildung 3-3).

[7] Im Jahr 2007 war mit 22,3 GW in Deutschland annähernd soviel Windkraftleistung installiert wie in Braunkohle-Kondensationskraftwerken (22,5 GW). Die installierte Leistung der Windkraftanlagen überstieg damit auch die installierten Leistungen der Gas- und Atomkraftwerke. Aufgrund der Fluktuationen der Windkraft sind die installierten Leistungen von Windkraft und Braunkohle bzw. Gas oder Atomenergie jedoch nicht direkt vergleichbar. Dennoch verdeutlichen diese Zahlen die Größenordnung des Windkraftpotenzials zur Stromerzeugung und prinzipiell auch zur Leistungsbereitstellung.

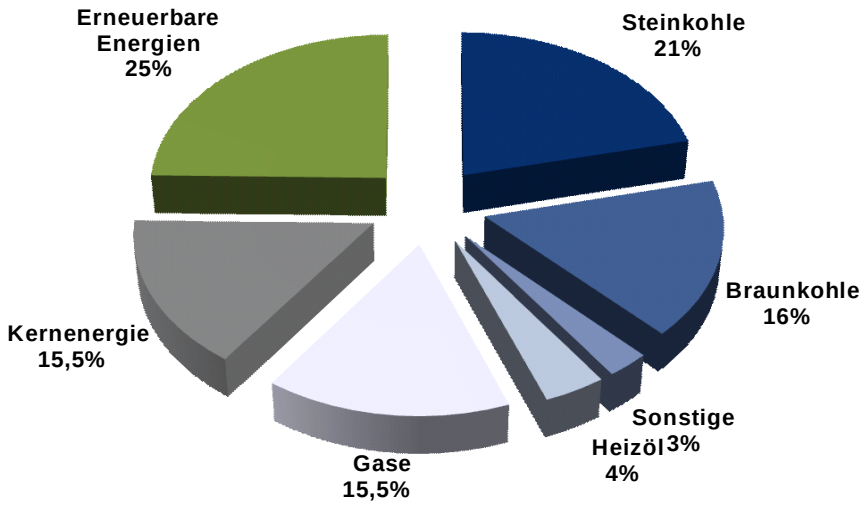


Abbildung 3-3: Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland, 2007 [12]

ENTWICKLUNG DES KRAFTWERKSBESTANDS BIS 2020 UND AUSBLICK BIS 2050

Das durchschnittliche Alter des zentralen Großkraftwerksparks liegt bei knapp 26 Jahren[8], wobei die bestehenden Kohle- und Kernkraftwerke im Mittel älter sind als die Erdgaskraftwerke. Aufgrund des hohen Alters vieler Kraftwerke ist unstrittig, dass ein gewisser Ersatzbedarf der Stromerzeugungskapazitäten besteht. Kontrovers wird aber diskutiert, welche Art von Kraftwerken die stillzulegenden Kraftwerke ersetzen sollen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass zum einen ein ständiger Zubau neuer Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien erfolgt und zum anderen zur Erreichung der von der Politik angestrebten mittel- und langfristigen Klimaschutzziele ein grundlegender Umbau des deutschen Stromversorgungssystems zwingend notwendig sein wird. Andernfalls werden neue, emissionsintensive Kondensationskraftwerke die Erzeugungsstruktur für weitere 30-40 Jahre festlegen und die Erreichung der ambitionierten Emissionsziele vor allem nach 2020 erheblich erschweren.

Der Bedarf an neu zu errichtenden (möglichst hocheffizienten) Kraftwerkskapazitäten hängt zum einen von der Entwicklung der (inländischen) Stromnachfrage und dem wachsenden Beitrag der Erneuerbaren Energien, zum anderen von der Stilllegungskurve des gegenwärtigen Kraftwerksbestandes ab. Letztere wird bestimmt durch den erwartbaren Zeitpunkt der Stilllegung heute

[8] Eigene Berechnungen auf Basis der UBA-Kraftwerksliste [14]

bestehender fossiler Großraftwerke[9] sowie durch den Kernenergie-Ausstiegspfad. Aufgrund der Tatsache, dass insbesondere Kohlekraftwerke in der Praxis häufig ertüchtigt und weit über ihre ursprünglich angenommene technische Lebensdauer[10] hinaus betrieben werden, werden für den fossilen Kraftwerksbestand in Anlehnung an die Ausführungen in ([15], Kap. 2.5.1) die folgenden durchschnittlichen Laufzeiten als erwartbar angenommen (s. Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Angenommene durchschnittliche Laufzeiten der Bestandskraftwerke nach [15]

Energieträger	**Angenommene Laufzeiten** *in Jahren*
Steinkohle	45
Braunkohle	50
Erdgas	40
Öl	40

Aufgrund der zahlreichen Risiken, die mit der Kernenergie verbunden sind, fordert Greenpeace einen vorzeitigen Ausstieg aus ihrer Nutzung (Ausstieg bis 2015). Wie bereits in früheren Studien analysiert wurde, ist dies möglich, ohne dass Engpässe bei der Stromerzeugung oder der Bereitstellung der erforderlichen Leistung zu erwarten sind.([1], [12]) Unter diesen Annahmen ergibt sich eine installierte Leistung der fossil-nuklearen *Bestands*kraftwerke im Jahr 2020 von rund 48 GW, die sich bis 2030 auf 32 GW reduziert (s. Tabelle 3-3). In 2040 sind mit noch 5,6 GW nur noch die Gaskraftwerke, die in den letzten Jahren gebaut wurden, in Betrieb, und bis 2050 sind sämtliche heute bestehenden Kraftwerke stillgelegt.

Die Prognose der bis 2020 hinzukommenden *neuen* Kraftwerksleistung ist abhängig von den getroffenen Annahmen. Die Deutsche Energieagentur (dena) unterscheidet hinsichtlich der geplanten Kraftwerksprojekte die drei Kategorien

[9] Für fossile Kraftwerke gibt es grundsätzlich keine genehmigungsrechtliche Einschränkung der Betriebszeiten, vorausgesetzt, dass die Anlagen durch entsprechende Ertüchtigungen den jeweils gültigen gesetzlichen Anforderungen entsprechen.

[10] Für Kohlekraftwerke wird beispielsweise i.d.R. eine technische Lebensdauer von 40 Jahren angesetzt.

„A: in Bau“, „B: hohe Realisierungswahrscheinlichkeit“ und „C: Projektrealisierung ungewiss“ [16]. Bei Realisierung der Projekte der Kategorien A und B ermittelt die dena eine zusätzliche Erzeugungsleistung von knapp 18 GW. Das DLR geht in seiner „Leitstudie 2008“ dagegen von zusätzlichen Kapazitäten bis 2012 in der Größenordnung von 23,4 GW aus [8].

Tabelle 3-3: Verbleibende Leistung des heutigen Kraftwerksbestands in 2020 – 2050 im Greenpeace-Szenario

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
	in GW	*in GW*	*in GW*	*in GW*
Steinkohle	18,5	11,3	0	0
Braunkohle	17,6	10,5	0	0
Erdgas	11,0	9,3	5,6	0
Öl	1,0	0,7	0	0
Kernenergie	0	0	0	0
Summe Bestand	**48,1**	**31,9**	**5,6**	**0**

Auf Basis der Analyse in „Klimaschutz: Plan B“ kann jedoch erwartet werden, dass neue Kapazitäten in dieser Größenordnung zur Deckung des Strombedarfs in 2020 nicht erforderlich sein werden [1]. Deshalb sollen im Greenpeace-Szenario bis 2020 ausschließlich *die* neuen Kraftwerke berücksichtigt werden, die sich bereits heute im Bau befinden. Der Neubau von großen Kohlekraftwerken wird aus Sicht von Greenpeace als nicht notwendig angesehen und aus klimaschutzpolitischen Gründen abgelehnt.

Greenpeace fordert insbesondere den Verzicht auf den Bau neuer Braunkohlekraftwerke. Um deutlich zu machen, dass diese zur Deckung des zukünftigen nationalen Strombedarfs nach Ansicht von Greenpeace nicht erforderlich sein werden, sollen auch die in Bau befindlichen Braunkohlekraftwerke in Neurath und Boxberg im Greenpeace-Szenario nicht berücksichtigt werden. Damit ergibt sich im Zeitraum bis 2015 eine *neue* Kraftwerksleistung in Höhe von knapp 13 GW (s. Tabelle 3-4). Zwischen 2015 und 2020 wird kein weiterer Zubau fossiler Großkraftwerke vorgesehen, da der Ausbau der (fossilen) Stromerzeugungskapazitäten ausschließlich in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erfolgen soll.

Tabelle 3-4: Neue fossile Kraftwerke, die heute bereits in Bau oder seit 2007 in Betrieb sind ([16], [17])

	Neubau-Leistung	**Genutzte Leistung im Greenpeace-Szenario**
	in GW	*in GW*
Steinkohle	7,5	7,5
Braunkohle	2,8	0
Erdgas	5,2	5,2
Summe Bestand	**15,5**	**12,7**

Die Annahmen zum deutlich begrenzten Zubau fossiler Großkraftwerks-kapazitäten (insbesondere von Kohlekraftwerken) werden auch dadurch begründet, dass der Bau weiterer zentraler Kondensationskraftwerke den Neubau hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen verhindern würde.

Die sich unter diesen Annahmen ergebende Leistung von Bestands- und Neukraftwerken in den kommenden Jahrzehnten zeigt Tabelle 3-5.

Tabelle 3-5: Entwicklung des zentralen fossilen Kraftwerksparks in 2020 - 2050

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
	in GW	*in GW*	*in GW*	*in GW*
Steinkohle	26,0	18,8	0	0
Braunkohle	17,6	10,5	0	0
Erdgas	16,2	14,5	10,8	0
Öl	1,0	0,7	0	0
Summe Bestand	**60,8**	**44,5**	**10,8**	**0**

Durch den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien wird bis 2020 zusätzliche Erzeugungsleistung in der Größenordnung von 70-80 GW bereitgestellt werden.[11] Mit den rund 13 GW neuer fossiler Großkraftwerke (s. Tabelle 3-4) steht einer wegfallenden Leistung von 46 GW damit eine etwa doppelt so hohe Zubauleistung von 83-93 GW entgegen.

[11] entsprechend den Ausbauplänen der Bundesregierung bis 2020 (hiervon rund 10 GW als KWK-Anlagen)

3.3 EFFIZIENZERSCHLIEßUNG – ZWISCHENFAZIT

Trotz der angekündigten Effizienzoffensive der Bundesregierung, die eine absolute Senkung des Strom- und Wärmebedarfs zum Ziel hatte, ist der Stromverbrauch in Deutschland in den letzten Jahren konstant angestiegen (vgl. Abbildung 3-1). Dies zeigt auch ein Blick auf den Verbrauch der einzelnen Sektoren (s. Tabelle 3-6). In den letzten drei Jahren konnte in keinem Sektor ein Rückgang des Strombedarfs erreicht werden. Der größte absolute Zuwachs erfolgte im Industriesektor (plus rund 10 TWh/a), gefolgt vom Gewerbesektor (plus knapp 6 TWh/a).

Tabelle 3-6: Entwicklung des Stromeinsatzes nach Sektoren zwischen 2004 und 2007 ([1], [12], [18])

Sektor	**2004**	**2007**
	in TWh	in TWh
Industrie*	233 (243)	243 (256)
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	123	129
Haushalte	138	140
Verkehr	16	17
Summe**	**510**	**529**

**Zahlen in Klammern berücksichtigen den Verbrauch im (Umwandlungs-) Bereich „Bergbau und Mineralwirtschaft“*

Anders als der Stromeinsatz ist der Wärmeeinsatz in allen Sektoren rückläufig. Angesichts der jüngsten Entwicklung scheint es, als sei im Wärmebereich die notwendige Trendwende eingeleitet. Dennoch bieten alle Sektoren weiterhin ein großes Einsparpotenzial, das in den nächsten Jahren und Jahrzehnten fortlaufend weiter erschlossen werden muss (s. Kapitel 5).

4 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR EINE ZUKUNFTSFÄHIGE ENERGIEVERSORGUNG

Der jüngste, im Jahr 2007 veröffentlichte Vierte Sachstandsbericht des IPCC beziffert die Wahrscheinlichkeit auf mehr als 90 Prozent, dass die beobachteten Klimaveränderungen auf menschliche Aktivität zurückgehen – vor allem auf die Verbrennung fossiler Energieträger. Im IPCC-Bericht von 2001 betrug die Wahrscheinlichkeit noch 66 Prozent. Diese hohe Sicherheit leiten die Wissenschaftler aus der sehr guten Übereinstimmung zwischen den Simulationsergebnissen der Klimamodelle und historischen Daten ab, die mittlerweile in einer Vielzahl vorliegen.

4.1 DIE POSITION VON GREENPEACE

Vor diesem Hintergrund fordert Greenpeace für Deutschland neben dem vorgezogenen Kernenergieausstieg[12] bis zum Jahr 2015 den fließenden Ausstieg aus den fossilen Energieträgern, den massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien gekoppelt mit umfassenden Effizienzsteigerungen sowie einen Technologiewechsel im Verkehrssektor. Das übergeordnete Ziel für Industriestaaten wie Deutschland heißt: eine annähernd emissionsfreie Wirtschaft bis zur Mitte des Jahrhunderts. Grundlage für die Wahl dieses ambitionierten Ziels sind die aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnisse, die im Sinne des Vorsorgeprinzips CO_2-Einsparungen über die bislang formulierten politischen Ziele hinaus erforderlich machen ([19], [20]). Demnach müssen die weltweiten Treibhausgase bis zum Jahre 2050 um 80 Prozent statt bisher um 50 Prozent gegenüber 1990 reduziert werden. Dieses Ziel kann nur dann erreicht werden, wenn jetzt die Weichen für eine Energierevolution gestellt werden, wobei mittelfristig eine Minderung der Treibhausgase um über 40 Prozent bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Basisjahr 1990/1995 zu realisieren ist.

4.2 DER GEWÄHLTE MODELLRAHMEN

Aufbauend auf die Ergebnisse der Greenpeace Studie 2007 „Klimaschutz: Plan B – Nationales Energiekonzept bis 2020“ soll eine Aktualisierung und Fortschreibung des nationalen Energieszenarios vorgenommen werden. Gleichzeitig soll die Betrachtung um zusätzliche, z.B. ökonomische Aspekte

[12] Zu den Implikationen einer Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken, insbesondere für den notwendigen Strukturwandel in der Stromversorgung, siehe [1], S. 37 und [8], S.89

ergänzt werden. Für das Rechenmodell wird - analog zu „Plan B“ - eine geschlossene Bilanz von Stromerzeugung und -verbrauch in Deutschland vorausgesetzt, d.h. es ist vorgesehen, dass die Gesamtmenge des in Deutschland verbrauchten Stromes auch in deutschen Kraftwerken erzeugt wird[13] und dass folglich die erforderlichen Emissionsreduktionen in Deutschland geschehen. Dies ist nicht als ein grundsätzliches Ignorieren oder eine Ablehnung des europaweiten Emissionshandels mit seinem zentralen Charakteristikum der grenzüberschreitenden Emissionsminderungsmaßnahmen zu verstehen. Vielmehr definiert die Studie eine deutsche Bilanzgrenze und konzentriert sich auf die ausschließliche Betrachtung und Nutzung nationaler Einspar- und Ausbaupotenziale.

Im Hinblick auf die Ausgestaltung des Modellrahmens werden im Einzelnen die folgenden Grundannahmen getroffen:

- (Neue) nationale Klimaschutzziele: (mindestens) minus 40 Prozent CO_2 bis 2020 und Reduktion der CO_2-Emissionen auf annähernd Null bis 2050 gegenüber dem Basisjahr 1990 (bezogen auf alle Treibhausgase, d.h. CO_2-Äquivalente)
- vorgezogener und vollständiger Ausstieg aus der Kernenergie bis 2015
- Verzicht auf den Neubau von Braun- und Steinkohlekraftwerken
- Ausstieg aus der Verstromung von Kohle bis 2040[14]
- ausschließlicher Bau von hocheffizienten GuD-Kraftwerken oder von Gas-KWK-Anlagen (Gesamtwirkungsgrad >80 Prozent), sofern ein Neubau von Kraftwerken erforderlich ist
- geschlossene Bilanz um Energieerzeugung und -verbrauch in Deutschland (s.o.)
- keine Nutzung von Maßnahmen zur Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (CCS)
- keine Berücksichtigung des Clean Development Mechanism (CDM), d.h. geschlossene Bilanz um emissionsmindernde Maßnahmen

---

[13] Ein grenzüberschreitender Stromhandel ist damit nicht ausgeschlossen, sofern die Import-Export-Bilanz ausgeglichen bleibt. Es wird ferner in der Studie das zusätzliche Potenzial der Solarstromimporte separat ausgewiesen.

[14] Für die Kraftwerke gibt es i.d.R. keine zeitliche Beschränkung der Betriebserlaubnis, und die genehmigten Abbauflächen für Braunkohle sind voraussichtlich erst im Jahr 2050 erschöpft. In der Studie soll aber gezeigt werden, dass ein Ausstieg aus der Kohleverstromung schon 2040 *möglich* ist.

- forcierte Ausschöpfung der vorhandenen Effizienzpotenziale in allen Sektoren
- forcierter Ausbau von Erneuerbaren Energien bei gleichzeitiger Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien, insbesondere im Bereich des Energiepflanzen-Anbaus; kein weiterer Ausbau der Nutzung von Agrokraftstoffen
- CO_2-Obergrenze bei PKW: 3 Liter Durchschnittsverbrauch von Neuwagen bis 2020 bzw. 1,5 Liter (Kraftstoffäquivalent) bis 2050 ; 1 Mio. Elektrofahrzeuge auf Basis Erneuerbarer Energien bis 2020; Reduzierung des durchschnittlichen Fahrzeuggewichtes auf eine Tonne bis 2020
- Wahl des Jahres 2007 als Referenzjahr; in Abhängigkeit von der Datenlage sind in Einzelfällen Abweichungen nach oben (2008) und unten (2006 bzw. 2005) nicht ausgeschlossen.

5 POTENZIALBETRACHTUNG BIS 2050

5.1 EFFIZIENZPOTENZIALE ZUR SENKUNG DES STROM- UND WÄRMEBEDARFS

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie eine Verdopplung der gesamtwirtschaftlichen Energieproduktivität von 1990 bis 2020 zum Ziel gesetzt. Aus technischer Sicht sind die Potenziale zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung in allen Sektoren hinreichend groß, um diese Ziele zu erreichen. Eine „Halbzeitbilanz" für den Zeitraum 1990 – 2005 zeigt jedoch, dass die Erschließung dieser Potenziale in der Vergangenheit bei weitem nicht ausreichend war, um die bis 2020 angestrebte Reduktion beim Energieeinsatz – und damit in direktem Zusammenhang stehend auch die anvisierten Emissionsminderungsziele – zu erreichen.

Seit 1990 ist die Energieproduktivität[15] um rund 40 Prozent gestiegen, woraus sich für die nächsten Jahre eine notwendige weitere Erhöhung von 60 Prozent ableiten lässt. Für die jährliche Entwicklung heißt das, dass die Steigerung der Energieproduktivität von derzeit durchschnittlich 2 Prozent p.a. auf 2,8 Prozent p.a. deutlich erhöht werden muss.

Da die sektorspezifischen Effizienzpotenziale beim Strom- und Wärmeeinsatz unbestritten sehr hoch sind und bereits in zahlreichen Studien analysiert wurden (u.a. Greenpeace, „Klimaschutz: Plan B", 2007), sollen im Folgenden vor allem die Bereiche identifiziert werden, in denen in der Vergangenheit die größten Defizite bei der Effizienzerschließung verzeichnet werden mussten. Hierauf aufbauend soll der Handlungsbedarf abgeleitet werden, der für eine zukünftige „Trendwende" beim Energieeinsatz und für eine stabile, nachhaltige Verbrauchsreduktion über das Jahr 2020 hinaus erforderlich ist.

5.1.1 INDUSTRIE

Die Energieintensität (Strom und Wärme) des Industriesektors hat sich zwischen 1991 und 2007 um knapp 30 Prozent verringert. Auch die Energieeffizienz beim Brennstoffeinsatz konnte deutlich gesteigert werden (um knapp 40 Prozent). Bei ausschließlicher Betrachtung des Stromeinsatzes bleibt dagegen festzustellen, dass die Stromproduktivität bis 1995 annähernd konstant geblieben und

[15] Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt zu Energieeinsatz. Kehrwert der Energieintensität; eine Erhöhung der Energieproduktivität entspricht einer Steigerung der Energieeffizienz.

anschließend bis zum Jahr 2000 leicht angestiegen ist, um dann in den Folgejahren bis 2005 wieder auf das Niveau Anfang der 90er Jahre abzufallen. ([21], S.94)

Ein Blick auf die Strom*effizienz* (Abbildung 5-1) zeigt, dass diese sich von 2005 auf 2006 kurzzeitig deutlich verbessert hat, woraus das BMWi eine durchschnittliche Senkung des spezifischen Stromverbrauchs in der Industrie von 0,4 Prozent p.a. zwischen 1991 und 2007 ableitet [22]. In 2007 hat sich die Stromeffizienz jedoch erneut verschlechtert. Abgesehen davon, dass die Größenordnung der Effizienzsteigerung (0,4 Prozent p.a.) zur Erreichung der Klimaschutzziele bei weitem nicht ausreichend ist, bleibt mit Blick auf die Entwicklung der letzten Jahre im Fazit festzuhalten, dass sich bislang nicht einmal der notwendige „positive“ Trend eingestellt hat.

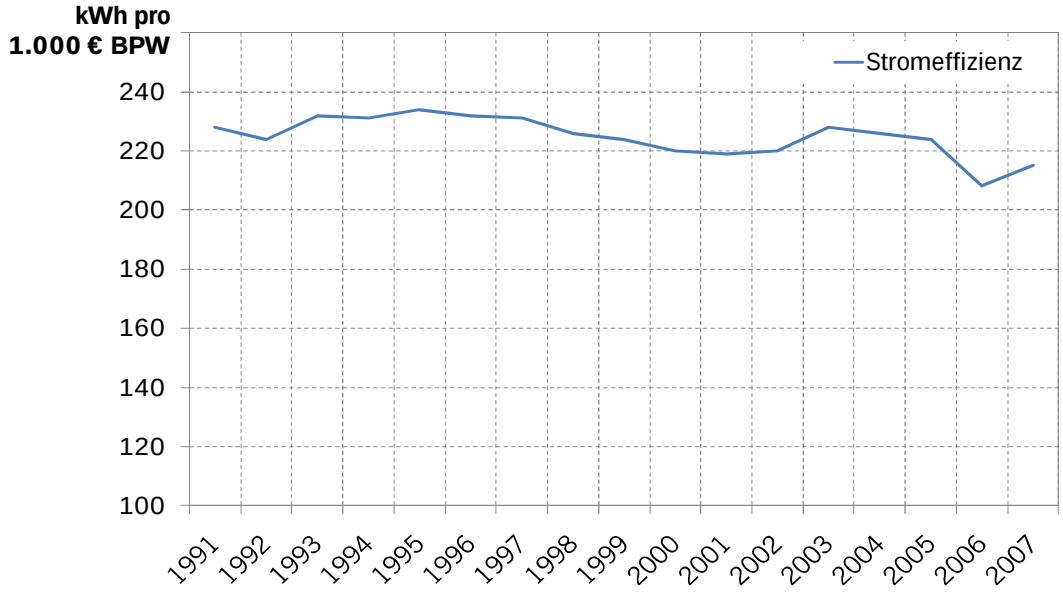


Abbildung 5-1: Entwicklung der Stromeffizienz im Industriesektor, bezogen auf den Bruttoproduktionswert (BPW) [22]

Der *absolute* Stromverbrauch der Industrie ist zuletzt 1999 gesunken (im Vergleich zum Vorjahresverbrauch) und insgesamt zwischen 1991 und 2007 um rund 10 Prozent angestiegen. ([12], [23]) Die „Energieszenarien für den Energiegipfel“ (2007) halten dennoch eine Senkung des industriellen Stromverbrauchs um knapp 8 Prozent bis 2020 für möglich (Basis: 2005) [21]. Das DLR geht in seiner „Leitstudie 2008“ von einer möglichen Reduktion zwischen 6 Prozent („Leitszenario“) und maximal 14 Prozent (Szenario „E2“) aus. In „Plan B“ wurde gezeigt, dass eine Minderung des industriellen Stromeinsatzes um 13,5 Prozent bis 2020 (Basis: 2004) mit bewährten und

branchenübergreifenden Effizienz-Maßnahmen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erreicht werden könnte.

Eine Senkung des absoluten Strombedarfs um 1 Prozent setzt erfahrungsgemäß eine Steigerung der Stromproduktivität um 3-4 Prozent voraus. Eine Reduktion des absoluten Stromverbrauchs der Industrie um 14 Prozent würde damit einer notwendigen Steigerung der Stromproduktivität um rund 50 Prozent entsprechen. Angesichts der Tatsache, dass die Stromproduktivität zwischen 1990 und 2005 annähernd auf gleichem Niveau stagnierte, wird deutlich, dass sich die vorhandenen Effizienzpotenziale nicht „automatisch" erschließen werden, sondern dass gerade bei der Stromeffizienz im Industriesektor ein dringender, sofortiger Handlungsbedarf besteht.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass Effizienzsteigerungen z.T. durch einen Energieträgerwechsel (z.B. Wechsel von Erdgas auf Strom) realisiert wurden. Dieser dient primär der Einsparung von Brennstoffen und geht mit einer gleichzeitigen Erhöhung des Strombedarfs einher. Auch gestiegene Anforderungen an den Umweltschutz sowie der anhaltende Trend zur Automatisierung und elektronischen Steuerung von Produktionsprozessen haben dazu beigetragen, dass die erzielten Stromeinsparungen in der Vergangenheit teilweise durch einen vermehrten Stromeinsatz in neuen Anwendungsfeldern kompensiert wurden. Untermauert wird diese These durch die Tatsache, dass die Intensität des Brennstoffeinsatzes im gleichen Zeitraum (1991-2007) um 3 Prozent p.a. gesenkt werden konnte.

STROMBEDARF DER INDUSTRIE

Im Jahr 2007 belief sich der Strombedarf der Industrie[16] auf 243 TWh und ist somit seit 2004 (225 TWh) und 2005 (233 TWh) deutlich angestiegen. Ursprünglich war in „Plan B" eine Reduktion auf 210 TWh/a bis 2020 anvisiert worden. Bei einer Fortschreibung dieses Trends in den Folge-Jahrzehnten (s. Abbildung 5-2) hätten auch die vergleichsweise niedrigen Zielverbräuche der UBA „Langfristszenarien" [24] erreicht werden können. Die Entwicklung der vergangenen drei Jahre zeigt dagegen klar in die andere Richtung, wobei das in „Plan B" identifizierte Potenzial allerdings nach wie vor vorhanden ist. Es verändert sich prinzipiell im Zeitverlauf, da mit jedem Jahr neue, effizientere Technologien entwickelt werden bzw. auf den Markt kommen, gleichzeitig aber auch ein gewisser Teil des Potenzials erschlossen wird. Letzteres konnte für die

[16] ohne Bergbau und Mineralölwirtschaft (ca. 20 TWh/a)

vergangenen drei Jahre – gemessen an einer Entwicklung, die wie in „Plan B“ vorgeschlagen eine Reduktion des absoluten Verbrauchs um etwa 1 Prozent p.a. bewirkt hätte – nicht in ausreichendem Maße realisiert werden. Durch die viel zu geringe Effizienzerschließung ist der Strombedarf somit weiter angestiegen und das Einsparpotenzial bzw. die notwendige Reduktion ist entsprechend größer geworden.

Die Forderung, dass der Industriesektor seinen Stromverbrauch in den nächsten 15 Jahren auf 210 TWh (Zielgröße nach „Plan B“) senkt, hat folglich ihre Gültigkeit behalten. Sie impliziert für das hier entwickelte Szenario allerdings eine Verschiebung des Zielzeitpunktes um 3 Jahre nach hinten (d.h. Strombedarf von 210 TWh in 2023). Der Erschließungspfad ist deutlich ambitionierter, weil die Entwicklung der letzten drei Jahre zusätzlich kompensiert werden muss.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass alle zugrunde gelegten Studien (UBA, BMU/DLR, Prognos/EWI) einen sehr ähnlichen langfristigen Verlauf des Strombedarfs im Industriesektor erwarten. Für die Entwicklung zwischen 2020 und 2040 gehen die Szenarien von ähnlichen Minderungsraten aus, die an dieser Stelle übernommen werden. So gehen die „Langfristszenarien“ des UBA von 2020 bis 2040 von einer Minderung des Strombedarfs von etwa 8 TWh, die Szenarien der „Leistudie 2008“ von 7 bzw. 12 TWh pro Jahrzehnt aus. Die höhere absolute Minderung im ambitionierten Szenario „E2“ ist dabei u.a. auf den höheren absoluten Stromeinsatz im Vergleich zu den UBA-Szenarien zurückzuführen, der sich auch aus der Berücksichtigung der Entwicklung der letzten Jahre bis einschließlich 2005 ergibt. Ab 2040 bis 2050 flacht die Einsparkurve in allen Szenarien leicht ab, was darauf zurückgeführt werden kann, dass die Effizienzerschließung gegen Ende des Betrachtungszeitraums tendenziell schwieriger wird.[17] ([24], [8])

[17] Dies entspricht dem typischen Verlauf einer Potenzialerschließung: Zunächst werden die größten und vielversprechendsten Maßnahmen umgesetzt. Bei steigenden Energiepreisen folgen dann nach und nach auch die Maßnahmen, die geringere Einspareffekte aufweisen. Ähnlich verhält es sich mit den entwickelten Effizienztechnologien, die im Zeitverlauf immer geringere Einspareffekte erzielen („Feintuning“).

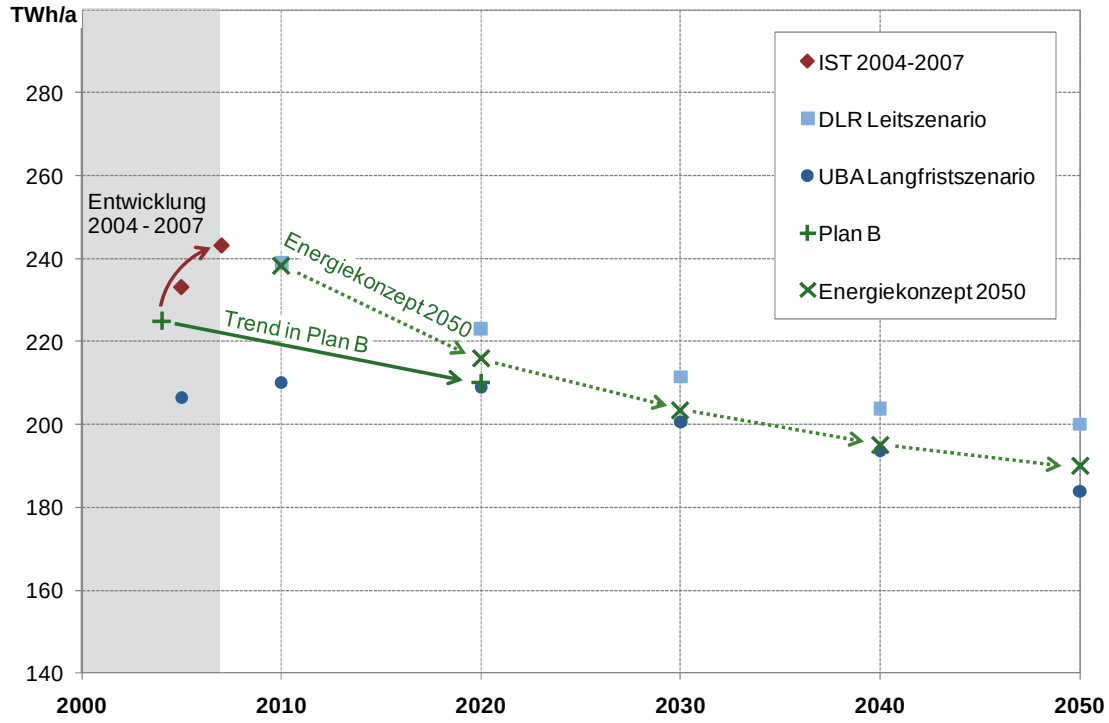


Abbildung 5-2: Strombedarf der Industrie und Entwicklung bis 2050 im Greenpeace-Szenario und anderen Studien ([1], [8], [12], [24], eigene Berechnungen)

Mit 190 TWh in 2050 entspricht die Zielgröße des Greenpeace-Szenarios etwa dem Wert des Szenarios „E3“ der „Leitstudie 2008“[18] und bedeutet eine Minderung von 22 Prozent im Zeitraum 2007 bis 2050 (s. Tabelle 5-1).

[18] Das Szenario E3 hat eine noch etwas ambitioniertere Effizienzerschließung als das Szenario E2. Grundsätzlich müssen aber zu den in der Leitstudie angegebenen Werten (2005) noch rund 20 TWh für den Stromverbrauch im Kohlebergbau und der Mineralölwirtschaft addiert werden, um einen mit dem Greenpeace-Szenario vergleichbaren Wert zu erhalten (in Abbildung 5-2 bereits berücksichtigt). Dieser Wert sinkt bis 2050 auf etwa 10 TWh.

Tabelle 5-1: Entwicklung des Strombedarfs in der Industrie bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Strombedarf in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
Industrie	243	216	204	195	190
Minderung geg. 2007	-	*-11%*	*-16%*	*-20%*	*-22%*

WÄRMEBEDARF DER INDUSTRIE

Der Brennstoff- und Wärmebedarf im Industriesektor hat sich im Zeitraum von 2005 bis 2007 um etwa 9 Prozent von knapp 480 TWh/a auf 435 TWh/a verringert (s. Abbildung 5-3). Damit ist in den letzten Jahren ein deutlich stärkerer Rückgang des industriellen Wärmebedarfs erfolgt, als in den meisten Prognosen erwartet wurde.

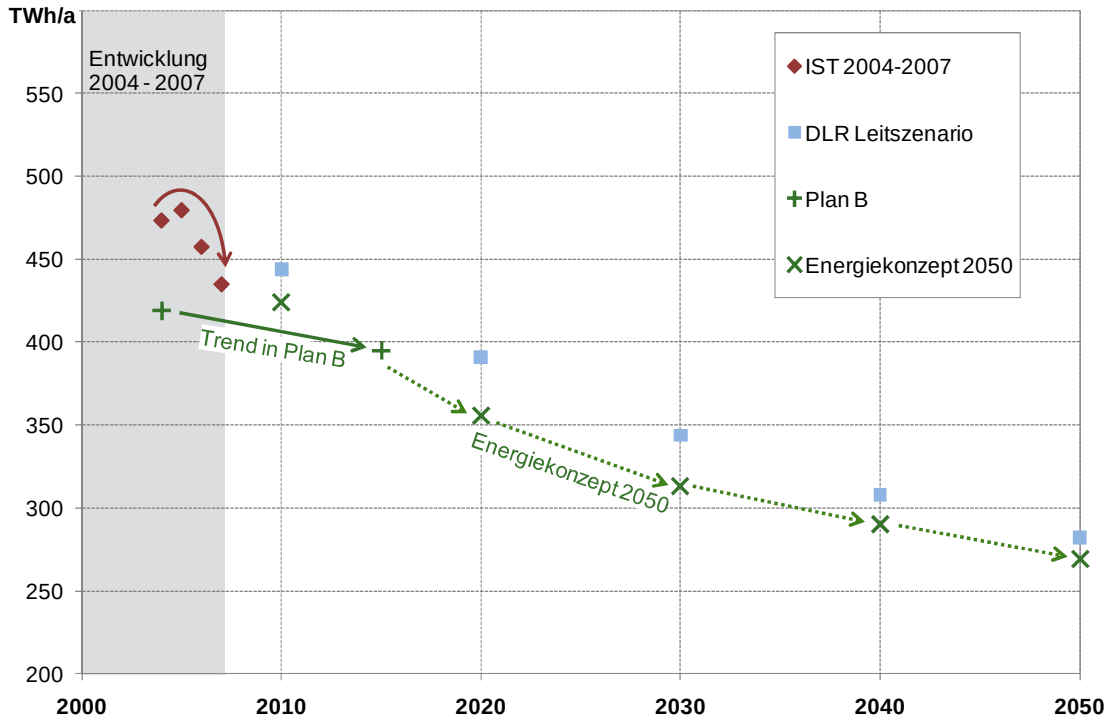


Abbildung 5-3: Wärmebedarf der Industrie und Entwicklung bis 2050 im Greenpeace-Szenario und anderen Studien ([1], [8], [12], eigene Berechnungen)

Die Szenarien der DLR-Studie sehen grundsätzlich gleiche Potenziale bei der Verringerung des Wärmebedarfs bis 2050. Im Szenario E2 werden allerdings die Potenziale deutlich schneller erschlossen. EWI/Prognos nennt mittelfristig (2010 bis 2020) ähnliche Minderungspotenziale (die Kurve liegt höher, weil ein höherer Ausgangswert verwendet wurde bzw. die o.g. Entwicklung der letzten Jahre bis 2007 nicht berücksichtigt oder anders erwartet wurde).

Die Prognose aus „Plan B“ für 2020 entspricht etwa dem Wert des „Leitszenarios“. Aus heutiger Sicht erscheint diese Abschätzung allerdings zu konservativ. Im aktualisierten Greenpeace-Szenario wird daher die Entwicklung der letzten Jahre bis 2007 berücksichtigt und setzt – auch im Hinblick auf die langfristigen Klimaschutzziele – einen deutlich ehrgeizigeren Reduktionspfad an (s. Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2: Entwicklung des Wärmebedarfs in der Industrie bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Wärmebedarf in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
Industrie	435	356	313	290	269
Minderung geg. 2007	*-*	*-18%*	*-28%*	*-33%*	*-38%*

5.1.2 HAUSHALTE, GHD

STROMBEDARF DER HAUSHALTE

Der Strombedarf (rund 141 TWh/a in 2007) hat einen Anteil von etwa 20 Prozent am Endenergiebedarf der privaten Haushalte. Er blieb zwischen 2004 und 2007 nahezu unverändert, zeigt aber eine leicht steigende Tendenz von durchschnittlich etwa 0,5 Prozent p.a.

Im „Leitszenario“ des DLR wird noch bis 2010 – bei insgesamt sinkendem Endenergiebedarf – von einem steigenden Strombedarf der privaten Haushalte ausgegangen (s. Abbildung 5-4). Danach tragen die Haushalte überproportional zur Senkung des Strombedarfs bei (hier werden die höchsten Einsparpotenziale im Vergleich mit den übrigen Sektoren realisiert). In den ambitionierten Szenarien wird von 2005 an mit sinkendem Strombedarf gerechnet.

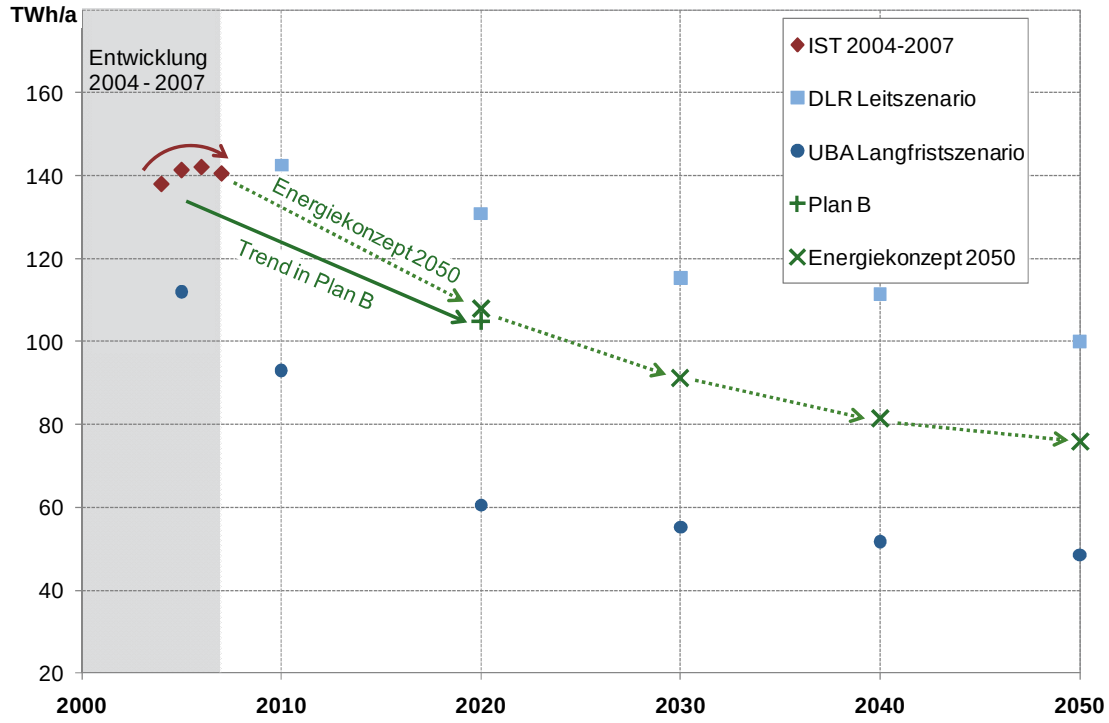


Abbildung 5-4: Strombedarf der Haushalte und Entwicklung bis 2050 im Greenpeace-Szenario und anderen Studien ([1], [8], [12], [24], eigene Berechnungen)

Für die Prognose des Strombedarfs der Haushalte im Greenpeace-Szenario werden eigene Berechnungen zugrunde gelegt. Unter der Annahme, dass bei neuen Haushaltsgeräten jeweils nur noch die beiden höchsten Effizienzklassen am Markt angeboten werden und somit Altgeräte ausschließlich durch den aktuellen Stand der Technik ersetzt werden, ergibt sich der in Tabelle 5-3 dargestellte Entwicklungspfad, der zeigt, dass der Strombedarf der Haushalte durch den Einsatz energieeffizienter Geräte bis 2050 nahezu halbiert werden kann.

Tabelle 5-3: Entwicklung des Strombedarfs der Haushalte bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Strombedarf in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
Haushalte	141	108	91	81	76
Minderung geg. 2007	-	*-23%*	*-35%*	*-42%*	*-46%*

WÄRMEBEDARF DER HAUSHALTE

Der Endenergiebedarf der privaten Haushalte wird zu etwa 65 Prozent durch die Raumwärmebereitstellung bestimmt. Das enorme Energie- und CO_2-Einsparpotenzial im Gebäudebereich wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass letztendlich für alle Wohngebäude, die vor Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung 2002 (EnEV 2002) errichtet wurden, ein abgestufter Sanierungsbedarf besteht [25]. Im Hinblick auf Gebäude, die vor Einführung der zweiten Wärmeschutzverordnung 1984 gebaut wurden, kann sogar festgehalten werden, dass diese bei weitem nicht mehr den heutigen Anforderungen entsprechen und (vollständig) energetisch sanierungsbedürftig sind, sofern sie nicht schon modernisiert wurden. Tatsächlich sind rund 75 Prozent der heute vorhandenen Gebäude vor 1985 gebaut worden ([26], S. 10).[19]

Grundsätzlich gehen sämtliche Studien von einem sinkenden Endenergiebedarf im Haushaltssektor aus. Im Vergleich zum Basisjahr 2007 entspricht der Rückgang des Wärmebedarfs bis 2050 im „Leitszenario“ einer Reduktion von rund 42 Prozent (s. Abbildung 5-5). Im Szenario „E2“ sinkt der Wärmebedarf von 2007 bis 2050 um knapp 44 Prozent.

Die folgende Potenzialabschätzung basiert im Wesentlichen auf einer vergleichenden Analyse des „Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario“ aus den „Politikszenarien IV“, dem „Leitszenario“ und den Szenarien „E2“ bzw. „E3“ der „Leitstudie 2008“ sowie eigenen Berechnungen, die u.a. auf die Ergebnisse aus „Plan B“ aufbauen und insbesondere für den Zeitraum von 2030 bis 2050 aufgrund fehlender detaillierter Abschätzungen erforderlich waren. ([1], [8], [27]) Im Hinblick auf die zentralen, die zukünftige Entwicklung im Gebäudebereich bestimmenden demografischen und ökonomischen Rahmendaten wird auf die entsprechenden Annahmen der „Leitstudie 2008“ zurückgegriffen ([8], S. 44ff). Zugrunde gelegt wurde insbesondere ein leichter Rückgang der Anzahl der Wohneinheiten (WE) bis 2050, gleichzeitig jedoch ein Anstieg der durchschnittlichen Wohnfläche von heute rund 87 m²/WE auf gut 100 m²/WE in 2050 an.

[19] Zu weiterführenden Informationen hinsichtlich der Charakteristika des Gebäudebereichs (z.B. Abgrenzung „reine Wohngebäude“, „gemischt genutzte Gebäude“ und „Nichtwohngebäude“, Ursachen für Schwierigkeiten bei der Quantifizierung der Einsparpotenziale im GHD-Sektor, siehe [1], S.101 f).

Ferner wird eine Neubauquote von 0,6 Prozent p.a. angenommen[20]. Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Rahmendaten auf den Wärmebedarf tendenziell dämpfend wirken und frühere Annahmen bzw. Rechnungen nach unten korrigieren.

Zu den wesentlichen Einflussparametern für die Potenzialerschließung gehören die Sanierungsquote, der Erneuerungszyklus der Heizungsanlagen, die Potenzialausnutzung im Altbaubereich sowie die Senkung des Wärmebedarfs im Neubaubereich ([27], S. 98ff).

Die *Sanierungsquote* beschreibt den Renovierungszyklus der Gebäudehülle und wird von der technischen Lebensdauer der Bauteile bestimmt. Für die gesamte Gebäudehülle wird dabei i.d.R. mit einem Mittelwert von 50 Jahren für die Vollsanierung gerechnet, d.h. die mittlere (theoretische) Sanierungsquote beträgt 2 Prozent p.a. Aufgrund des zu beobachtenden langjährigen bundesweiten Sanierungsstaus ist sie allerdings auf aktuell knapp 1 Prozent p.a. gefallen. Mit dem Ziel eines zeitnahen Abbaus des Sanierungsstaus muss die Sanierungsquote folglich bis 2030 auf 3 Prozent p.a. angehoben werden und kann anschließend bis zum Jahr 2050 wieder mit 2 Prozent p.a. angesetzt werden. Datenanalysen zeigen ferner, dass der mittlere *Erneuerungszyklus für Öl- und Gaskessel* mittlerweile 24 Jahre beträgt. Eine Verkürzung des Erneuerungszyklus auf 18 Jahre ist dringend erforderlich.

Mit der *Potenzialausnutzung* werden die zu geringe Anzahl der Sanierungen (Sanierungsverhältnis von Ist-Sanierungen zu Soll-Sanierungen in einem Jahr) und die unzureichende Qualität (Einsparverhältnis von Ist-Verbrauch zu Sollwert der Energieeinsparverordnung) durch Multiplikation zusammengefasst. Die derzeitige Sanierungspraxis ist durch einen Wert von 32 Prozent gekennzeichnet. Das heißt, dass bei der Sanierung im Altbaubestand im Hinblick auf die Energie- und CO_2-Einsparung dreimal mehr erreicht werden könnte. Eine 100prozentige energetische Potenzialerschließung soll im vorliegenden Szenario daher als Kenngröße unterstellt werden. Ferner wird angenommen, dass sich der durchschnittliche Wärmebedarf nach einer Sanierung ab 2010 alle 10 Jahre halbieren wird und im Jahr 2040 Passivhausniveau erreicht. Im Zusammenhang mit den zukünftigen Anforderungen im *Neubaubereich* wird auf eine aktuelle EU-

[20] Die jährliche Neubaufläche ist nach Erhebungen des Statistischen Bundesamtes von etwa 47 Mio. qm im Jahr 1995 auf fast 28 Mio. qm bis 2003 gesunken ist. Das entspricht einem Rückgang um rund 40 Prozent in acht Jahren. Für die zukünftige Entwicklung der Neubaurate wird ein weiterer sukzessiver Rückgang bis auf 25 Mio. qm unterstellt. [Pol-Szen]

Forderung Bezug genommen [28]. So beabsichtigt das Europäische Parlament, das am 31. März 2009 vom Energieausschuss mit großer Mehrheit verabschiedete "Kompromisspaket zur Neufassung der Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden" zu befürworten und vorzuschreiben, dass sämtliche Neubauten von Ende 2018 an Nullenergiehäuser sein müssen. Dies ist in Großbritannien bereits vorgesehen.

Die Entwicklung des Wärmebedarfs (Raumwärme, Warmwasser) für den Sektor Haushalte ist in Abbildung 5-5 dargestellt.

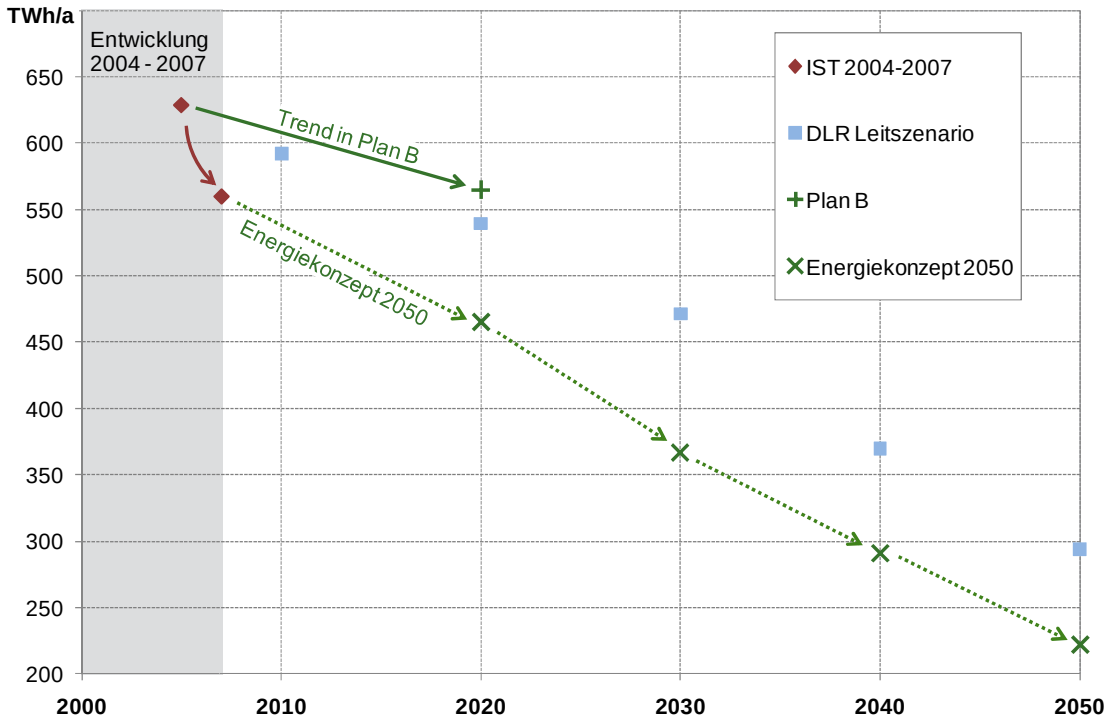


Abbildung 5-5: Wärmebedarf der Haushalte und Entwicklung bis 2050 im Greenpeace-Szenario und anderen Studien ([1], [8], [12], eigene Berechnungen)

In den vergangenen Jahren 2004 bis 2007 ist beim Wärmebedarf ein sehr starker Rückgang von etwa 20 Prozent zu beobachten.[21] Der Wärmebedarf lag im Jahr 2007 mit rund 560 TWh (temperaturbereinigt) bereits knapp unter der Zielgröße von „Plan B“ für das Jahr 2020 (565 TWh). Auch die „Leitstudie 2008“ und die „Politikszenarien“ starten im Jahr 2005 mit einem deutlich

[21] Die witterungsbereinigten Verbräuche ergeben ein ähnliches Bild. Analysen, die zur Erläuterung dieser Entwicklung beitragen könnten, liegen jedoch derzeit noch nicht vor.

höheren Ausgangswert von knapp 600 TWh. Das Minderungspotenzial des aktuellen Greenpeace-Szenarios wird von heute bis zum Jahr 2020 auf rund 17 Prozent (Zielwert: 465 TWh) geschätzt. Es verdoppelt sich im Zeitraum 2008 bis 2030 auf 34 Prozent (Zielwert: 367 TWh), steigt bis 2040 auf 48 Prozent (Zielwert: 291 TWh) und kann im Jahr 2050 auf rund 60 Prozent beziffert werden. Letzteres entspricht einem Verbrauch von 222 TWh gegenüber 561 TWh in 2007.

Eine mit 58,4 Prozent im Jahr 2050 vergleichbare Minderung liefert das Nachhaltigkeitsszenario der UBA „Langfristszenarien“ ([24], Tab. 6-14, S.278, Szenario Nachhaltigkeit, nicht temperaturbereinigt, ohne Strom und mit Fernwärme). Die „Leitstudie 2008“ liegt sowohl mit ihrem „Leitszenario“ als auch dem Szenario „E2“ mit Minderungsraten von 51 Prozent bzw. 52 Prozent darunter. Die Einsparraten der „Politikszenarien IV“ („Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario“) sind mit 12 Prozent (bis 2020) und 27 Prozent (bis 2030) vergleichbar mit den prozentualen Minderungen im Szenario „E2“ der „Leitstudie 2008“ (14 Prozent bzw. 24 Prozent), liegen mit diesen Werten aber ebenfalls unter der berechneten Potenzialerschließung im Greenpeace-Szenario, das in Teilen durch wesentlich ambitioniertere Forderungen gekennzeichnet ist.[22]

Die Entwicklung des Wärmebedarfs im Greenpeace-Szenario ist in Tabelle 5-4 dargestellt.

Tabelle 5-4: Entwicklung des Wärmebedarfs der Gebäude bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Wärmebedarf in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
Industrie	561	465	367	291	222
Minderung geg. 2007	-	*-17%*	*-35%*	*-48%*	*-60%*

[22] Im Gegensatz zu den übrigen Studien wird in den Politikszenarien IV allerdings bis zum Jahr 2010 von einem leicht steigenden Wärmebedarf ausgegangen.

STROMBEDARF DES GHD-SEKTORS

Der Strombedarf des GHD-Sektors betrug etwa 129 TWh in 2007. Die Entwicklung der letzten Jahre verlief entgegengesetzt dem ursprünglich in „Plan B“ erwarteten Trend (s. Abbildung 5-6). Nach den aktuellen Entwicklungen des Sektors ist aufgrund des steigenden Einsatzes von Geräten zur Informations- und Kommunikationstechnik sowie dem verstärkten Einsatz von Klimaanlagen kurzfristig nicht mit einer Reduktion des Strombedarfs zu rechnen. Durch Effizienzverbesserungen der eingesetzten Geräte kann allerdings (unter Voraussetzung der Erschließung der vorhandenen Einsparpotenziale) mittelfristig von einem sinkenden Stromeinsatz ausgegangen werden. Es wird erwartet, dass die in „Plan B“ für 2020 angestrebte Reduktion des Stromverbrauchs auf 110 TWh auf Grund der jüngsten Entwicklungen nun erst im Jahr 2030 erreicht werden kann. Da die in „Plan B“ identifizierten Potenziale grundsätzlich aber noch vorhanden sind, wird zusätzlich auch eine ambitioniertere Minderungskurve als in „Plan B“ für möglich gehalten. Diese Einschätzung wird auch von den „Langfristszenarien“ des UBA und den Szenarien des DLR bestätigt (s. Abbildung 5-6). ([8], [24])

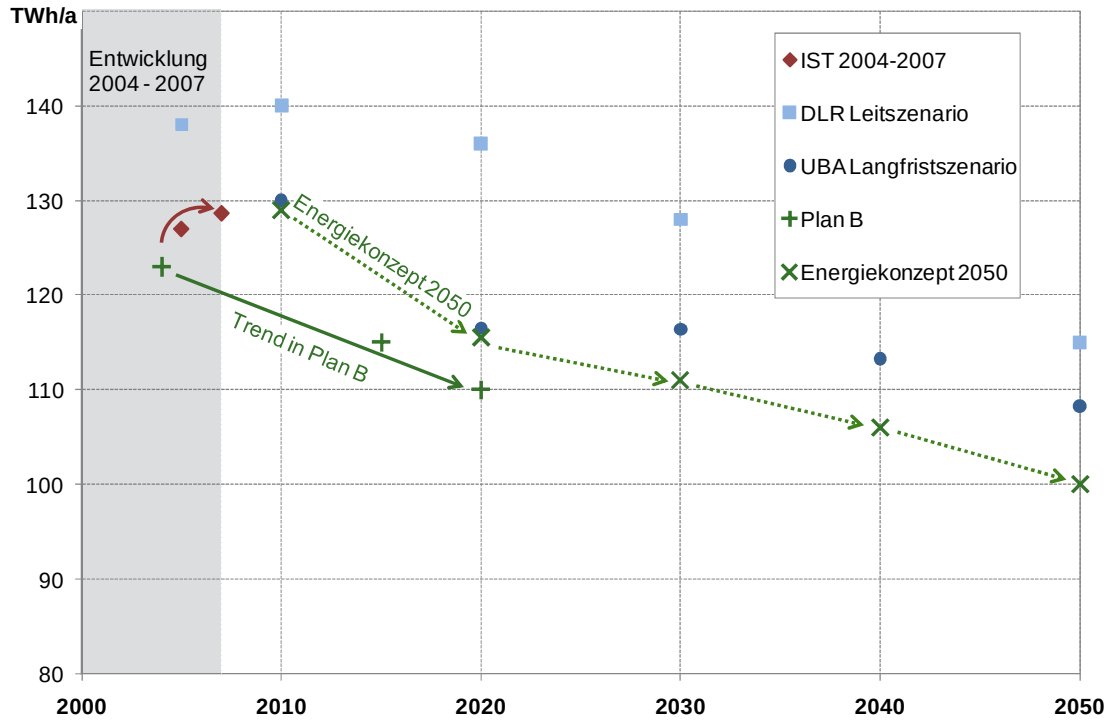


Abbildung 5-6: Strombedarf des GHD-Sektors und Entwicklung bis 2050 im Greenpeace-Szenario und anderen Studien ([1], [8], [12], [24], eigene Berechnungen)

Bei einer ehrgeizigen Potenzialerschließung in den nächsten Jahren und einer konsequenten Fortschreibung des eingeschlagenen Minderungspfades erscheint ein Zielwert von etwa 100 TWh im Jahr 2050 erreichbar, was einer Reduktion des heutigen Stromverbrauchs um 22 Prozent entspricht (s. Tabelle 5-5).

Tabelle 5-5: Entwicklung des Strombedarfs im GHD-Sektor bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Strombedarf in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
Haushalte	129	116	111	106	100
Minderung geg. 2007	-	*-10%*	*-14%*	*-18%*	*-22%*

WÄRMEBEDARF DES GHD-SEKTORS

Der Wärmebedarf des GHD-Sektors ist in den vergangenen Jahren deutlich gesunken (s. Abbildung 5-7) und betrug im Jahr 2007 rund 280 TWh (temperaturbereinigt). Etwa 60 Prozent der Wärme werden als Raumwärme, weitere 12,5 Prozent zur Deckung des Warmwasserbedarfs eingesetzt, dagegen macht Prozesswärme nur etwa gut ein Viertel des Wärmebedarfs aus. Mit jeweils etwa 30 Prozent wird ein Großteil der Prozesswärme ebenfalls zur Warmwassererzeugung (z.B. in Wäschereien) oder als Raumwärme (z.B. in Gärtnereien) eingesetzt. Zukünftige Einsparungen bei der Prozesswärme können damit zum Einen durch klassische gebäudebezogene Maßnahmen (z.B. Wärmedämmung), darüber hinaus aber auch durch eher typisch „industrielle" Maßnahmen (Effizienzsteigerung beim Warmwassereinsatz, Prozesswärmerückgewinnung) erzielt werden.

Zur Berechnung der möglichen Einsparungen beim Raumwärmeanteil werden ähnliche Randbedingungen wie bei den Wohngebäuden (s.o. Kapitel Haushalte - Wärmebedarf) angesetzt, jedoch sind im GHD-Sektor aufgrund der stärkeren Fluktuation in der Regel auch höhere Sanierungs- und Abriss- bzw. Neubauquoten zu verzeichnen als bei der privaten Gebäudenutzung. Neue Technologien erreichen damit prinzipiell eine schnellere Durchdringung. Allerdings sollen für den GHD-Sektor etwas geringere verbindlich vorgeschriebene Wärmedämmstandards gelten, begründet durch die kürzeren Nutzungsdauern und die vergleichsweise hohen Investitionen. Aufgrund der immer besseren Wärmedämmstandards verringern sich in der Folge ab etwa 2030 auch die Sanierungs- und Abrissquoten im GHD-Sektor.

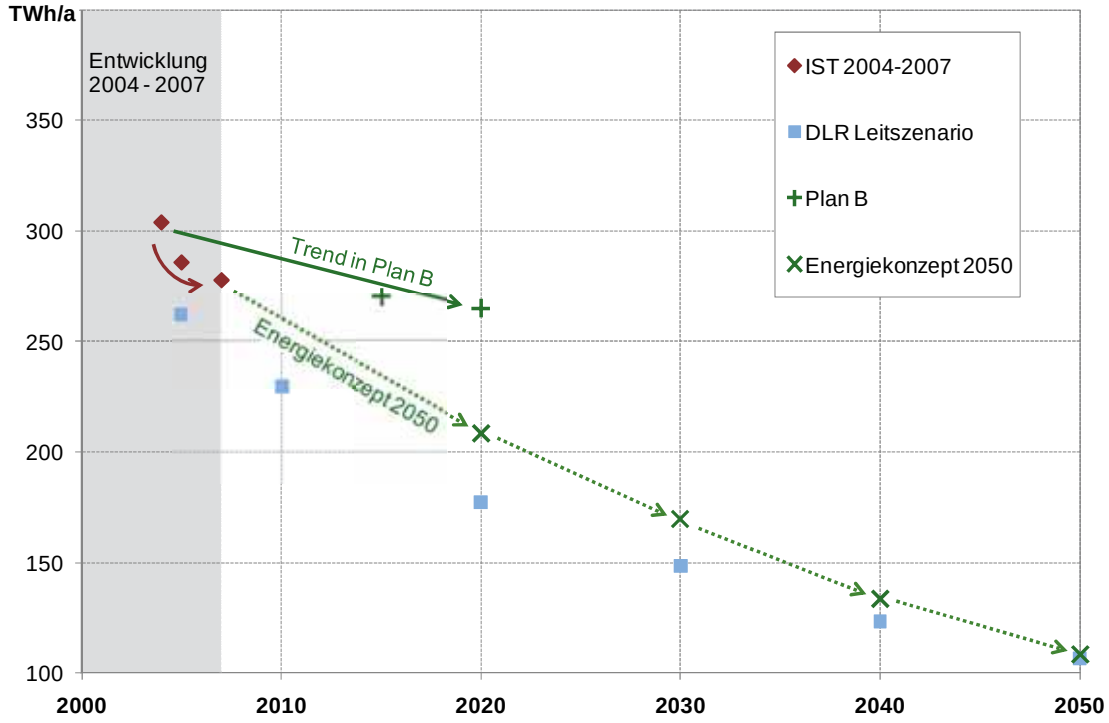


Abbildung 5-7: Wärmebedarf des GHD-Sektors und Entwicklung bis 2050 im Greenpeace-Szenario und anderen Studien ([1], [8], [12], [24], eigene Berechnungen)

Die Minderungspotenziale beim Wärmeeinsatz im GHD-Sektor (s. Tabelle 5-6) ergeben sich als Summe der Einsparpotenziale beim Gebäude- und beim Prozesswärmebedarf, wobei die Potenzialerschließung bei der Prozesswärme ähnlich wie beim industriellen Wärmeeinsatz verläuft. Damit ergibt sich ein Minderungspfad, dessen Endwert in 2050 etwa dem der „Leitstudie 2008“ entspricht.

Tabelle 5-6: Entwicklung des Wärmebedarfs im GHD-Sektor bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Wärmebedarf in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
GHD	278	208	169	133	108
Minderung geg. 2007	-	*-25%*	*-39%*	*-52%*	*-61%*

5.2 EFFIZIENZPOTENZIALE DES VERKEHRSSEKTORS

Die verkehrsbedingten Emissionen waren im Jahr 2007[23] um knapp 18 Prozent niedriger als 1999. Ähnlich stark ging auch der Energieverbrauch im Straßenverkehr zurück, so dass die Emissionen im Verkehr insgesamt wie im Straßenverkehr niedriger waren als 1990 (-6,6 Prozent bzw. -4,2 Prozent) [29].[24] Bislang ist allerdings keine grundlegende Trendwende erkennbar, sodass die Herausforderungen im Verkehrssektor weiterhin in der Emissionsvermeidung, -verlagerung und -verringerung liegen.

Entwicklungsprognosen für den Verkehrssektor gehen davon aus, dass die Personenverkehrsleistung in Deutschland insgesamt steigt [30]. Dabei wird im motorisierten Individualverkehr (MIV) ein leichter Rückgang erwartet, der aber durch eine leichte Zunahme des Personenbahnverkehrs und einen starken Zuwachs im Personenluftverkehr überkompensiert wird. Für die Güterverkehrsleistung in Deutschland wird in allen Bereichen ein Zuwachs erwartet. Einige Prognosen gehen dabei auch von einer Verschiebung der Verkehrsleistung von Lkw auf die Schiene aus [31].

Der Energiebedarf im Verkehrssektor wird dagegen nahezu konstant bleiben. Zwar wird im Luftverkehr ein starker Zuwachs im Energiebedarf erwartet, dieser kann jedoch durch einen geringeren Energiebedarf im MIV ausgeglichen werden. Verbrauchsprognosen erwarten einen Rückgang im Energiebedarf für PKW von 30 Prozent bis 2030. Durch den Einsatz von Agrokraftstoffen sinken die CO_2-Emissionen sogar noch stärker [30].

Der MIV hat somit eine zentrale Bedeutung für den Energieverbrauch und auch für die CO_2-Emissionen des Verkehrssektors. Daher wird der Verkehrssektor im Rahmen dieser Studie schwerpunktmäßig hinsichtlich der Entwicklungsmöglichkeiten des MIV analysiert. Viele der betrachteten Optionen sind auf öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) und den Güterverkehr übertragbar.

Die übergeordnete Zielsetzung dieser Studie, den Verkehrssektor bis 2050 CO_2-emissionsfrei zu gestalten, ist ambitioniert und impliziert bei der Erschließung der Effizienzpotenziale des Verkehrssektors die Entwicklung von Lösungen für verschiedene Herausforderungen, auf die an dieser Stelle kurz eingegangen werden soll.

---

[23] Im Verkehrssektor muss z.T. auf das Jahr 2005 als aktuellste Datenbasis zurückgegriffen werden. Wo möglich, werden jedoch die Zahlen aus 2007 verwendet.

[24] Mehr als ein Viertel der CO_2-Emissionen des gesamten Verkehrs in Deutschland entstehen dabei gegenwärtig durch den innerörtlichen Straßenverkehr.

VERFÜGBARKEIT ERNEUERBARER ENERGIEN

Solange die Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien begrenzt ist, führt eine Verminderung des stationären Deckungsanteils zu Gunsten des Verkehrs indirekt zu einer zusätzlichen Belastung des Klimas. Daher erscheint es sinnvoll, zunächst eine stationäre Nutzung Erneuerbarer Energien anzustreben. Erst danach kann und sollte der Einsatz von regenerativ erzeugtem Strom oder auch Wasserstoff im mobilen Bereich erfolgen. Hierdurch wird jedoch ein unterproportionaler und verspäteter Beitrag des Verkehrssektors zur Treibhausgasreduktion erwartet [32].

EINSATZ VON AGROKRAFTSTOFFEN

Der Einsatz von Agrokraftstoffen zur Emissionsminderung im Verkehrssektor ist ökologisch bedenklich bis kontraproduktiv. Als Mindestvoraussetzungen für ihren Einsatz sollte sichergestellt sein, dass weltweit keine Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelbereitstellung besteht und dass die Produktion aus einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft stammt. Eine Beimischungsquote im zweistelligen Prozentbereich[25] impliziert nicht nur die Notwendigkeit von Biomasseimporten, sondern führt auch zu einer wenig effizienten Nutzung der vorhandenen Potenziale und letztlich zu einer geringeren CO_2-Minderung als potenziell möglich wäre. Hinsichtlich der nationalen CO_2-Minderungsziele ist es daher sinnvoller, die zur Verfügung stehenden Flächen zum Anbau von Energiepflanzen zur Strom- und Wärmeerzeugung zu nutzen und somit zumindest auf einen weiteren Ausbau der Agrokraftstofferzeugung zu verzichten[26]. [33]

Im Rahmen dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die derzeit bestehenden Kapazitäten nicht weiter ausgebaut werden. Es soll und wird aber auch kein Rückbau erfolgen. Bis zum Jahr 2050 wird bei konstanter Fläche eine Erhöhung der Flächeneffizienz erwartet.[27] Hierdurch steigt die derzeitige Agrokraftstoffproduktion (2007: knapp 170 PJ) bis 2050 auf insgesamt ca. 270 PJ/a an.

---

[25] Das nationale Agrokraftstoffziel für 2020 wurde vor diesem Hintergrund bereits 2008 von den ursprünglich geplanten 17 Prozent (energetisch) auf etwa 12–15 Prozent gesenkt. Um diesen (reduzierten) Anteil bereitzustellen, müsste dennoch auf Biomasse-Importe zurückgegriffen werden (vgl. [33]).

[26] Von der Bundesregierung sollten aus den genannten Gründen insbesondere die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz sowie der Ausbau der Nutzung der Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplung an Stelle der Agrokraftstoffproduktion gefördert werden.

[27] Derzeit steht noch nicht fest, in welchem Umfang sogenannte Kraftstoffe der 2. Generation o.ä. Entwicklungen zu einer Effizienzsteigerung und nachhaltigeren Rohstoff-Nutzung beitragen werden. Sicherlich ist in den nächsten 40 Jahren aber ein technischer Fortschritt erwartbar, der hier im Ansatz berücksichtigt werden soll.

Agrokraftstoffe werden zunächst im MIV eingesetzt und verdrängen zunehmend die konventionellen Kraftstoffe Benzin und Diesel.

WECHSEL DER FAHRZEUGTECHNOLOGIE

Es besteht ein wissenschaftlicher Konsens dahingehend, dass ein Technologiewechsel hin zu alternativen, CO_2-emissionsfreien Fahrzeugen erfolgen muss, um signifikante Emissionsminderungen im Verkehrssektor zu erreichen ([32], [30]). In Anbetracht des sehr langen Zeithorizonts bis 2050 und der Tatsache, dass bis jetzt kein alternativer Fahrzeugtyp die volle Marktreife erreicht hat, erfolgt in dieser Studie keine Festlegung auf eine bestimmte Technologie. Es wird allerdings davon ausgegangen, dass bis 2050 rund die Hälfte der Fahrzeugflotte einen alternativen, CO_2-freien Antrieb besitzt. Ziel dieses Vorgehens ist es, zu zeigen, dass der Verkehrssektor prinzipiell einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz leisten kann, hierfür aber bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen.

Im Rahmen der für das Modell notwendigen quantitativen Berechnung wird exemplarisch für den Bereich der alternativen Fahrzeuge ein Wechsel auf Elektrofahrzeuge betrachtet, da eine Quantifizierung für diese Technologie derzeit am besten vorgenommen werden kann[28]. Im Bereich des motorisierten Individualverkehrs sind bereits erste Modelle für Elektroautos am Markt vorhanden, und der weitere Ausblick ist verglichen mit anderen Lösungen konkret. Auch für den öffentlichen Straßenpersonenverkehr sind Elektrofahrzeuge wie etwa elektrisch betriebene Oberleitungsbusse verfügbar und technisch ausgereift. Der (exemplarische) Wechsel auf Elektroantriebe ist jedoch an die Voraussetzung geknüpft, dass diese Fahrzeuge mit regenerativ erzeugtem Strom fahren. Für jedes in den Verkehr gebrachte Elektrofahrzeug ist somit entsprechend zusätzliche regenerative Energie bereitzustellen.

5.2.1 MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR (MIV)

Für den MIV werden an dieser Stelle verschiedene Annahmen getroffen, um das Ziel eines CO_2-emissionsfreien Verkehrssektors zu erreichen.

1. Es wird davon ausgegangen, dass die Flottenstärke im MIV noch bis 2020 ansteigt, danach aber wieder leicht absinkt [30]. Diese grundsätzliche Annahme liegt im Wesentlichen in der erwarteten demografischen

[28] Es handelt sich also lediglich um *ein mögliches Szenario*, die Realität in 2050 wird durchaus weitere alternative, CO_2-freie Fahrzeugtypen beinhalten.

Entwicklung begründet. Gleichzeitig wird die spezifische Fahrleistung eines Fahrzeuges im Betrachtungszeitraum als konstant angesehen.

2. Eine wesentliche Annahme und Forderung ist die signifikante Verlagerung eines Teils des MIV auf den öffentlichen Personennah- und -fernverkehr (ÖPV) in Höhe von ca. 1 Prozent der Gesamtfahrleistung des MIV pro Jahr. Hierfür müssen allerdings die erforderlichen Strukturen geschaffen werden. Es handelt sich um einen schrittweisen Prozess, der durch Gesetze (z.B. Maut und/oder Fahrverbote für Innenstädte) und ein verbessertes Angebot im ÖPV flankiert werden muss. Die speziellen Anforderungen für diese Verlagerung werden im Kapitel 6.4 (Maßnahmen) genauer diskutiert.
3. Die Austauschrate von Alt- gegen Neu-Fahrzeuge wird bis 2050 konstant zu 6 Prozent angesetzt[29]. Insgesamt wird sich die Nutzungsdauer der Fahrzeuge zukünftig voraussichtlich verlängern. Allerdings sind das genaue Ausmaß sowie der Zeitpunkt schwer prognostizierbar. Hier sind zeitweise auch gegenläufige Tendenzen möglich, z.B. falls sich eine neue, effiziente Technik am Markt durchsetzt. Hierfür kann durch spezielle Anreize (z.B. Steuervorteile oder Abwrackprämien) die Einführungsgeschwindigkeit und damit die Austauschrate vorübergehend erhöht werden.
4. Für den spezifischen Verbrauch von Neufahrzeugen werden bereits seit längerer Zeit auf europäischer und nationaler Ebene Obergrenzen kontrovers diskutiert und eine konkrete schrittweise Reduzierung gefordert. In diesem Zusammenhang geht die Studie von der Einhaltung der Obergrenzen für in den Verkehr gebrachte Neuwagen gemäß den Forderungen von Greenpeace aus (s. Tabelle 5-7). Eine Überschreitung der Obergrenzen wird nicht berücksichtigt. Die angesetzten Obergrenzen werden dabei in Anbetracht der zur Verfügung stehenden Effizienzsteigerungstechnologien sowie der bereits am Markt erhältlichen und angekündigten PKW-Modelle grundsätzlich als technisch und zeitlich realisierbar angesehen. Dabei wird allerdings auch betont, dass sich der Trend einer zunehmenden Leistungssteigerung umkehren muss ([1], [34]).
5. Prinzipiell muss das Bestreben auf einen Ersatz der fossil gefeuerten Verbrennungsmotoren (durch alternative, emissionsfreie Antriebe) ausgerichtet sein. Daher wird im Rahmen der Studie die heutige Verteilung

[29] Es wird explizit darauf hingewiesen, dass im Modell als konstant angenommene Entwicklungen in der Realität mit großer Wahrscheinlichkeit nicht konstant verlaufen werden. Da zum heutigen Zeitpunkt bestimmte Entwicklungen nicht absehbar sind, wird jedoch auf das Hilfskonstrukt einer konstanten Entwicklung zurückgegriffen.

zwischen Benzin- und Dieselfahrzeugen als konstant angesetzt (etwa zwei Drittel Benzinkraftstoff und ein Drittel Dieselkraftstoff).

6. Im Hinblick auf den erforderlichen Wechsel der Fahrzeugtechnologie (s.o.) wird exemplarisch ein Wechsel auf Elektrofahrzeuge betrachtet, die ausschließlich mit regenerativ erzeugtem Strom fahren.

Tabelle 5-7: Obergrenze für in den Verkehr gebrachte Neuwagenflotten (Durchschnitt pro Pkw) [17]

Jahr	**CO_2-Emissionen**	**Energiebedarf**	**Fahrzeuggewicht**
	Gramm CO_2/km in Benzinäquivalent	Liter Benzin/100 km	kg
2020	80	3	1.100
2035	50	2	750
2050	35	1,5	500

ENTWICKLUNG VON ENERGIEBEDARF UND CO_2-EMISSIONEN DES MIV

Die aus den o.g. Annahmen resultierende Entwicklung des Energiebedarfs im MIV bis 2050 ist, unterteilt nach Energieträgern, in Tabelle 5-8 dargestellt.

Tabelle 5-8: Entwicklung des Energiebedarfs im MIV bis 2050

Jahr		**2005***	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Energiebedarf	*TWh/a*	*476,7*	*326,0*	*194,5*	*112,4*	*66,8*
davon: Strom	TWh/a	n.b.	2,5	12,1	30,5	59,9
Agrokraftstoffe	TWh/a	22,6	50,0	55,0	60,0	6,8
konv. Kraftstoffe	TWh/a	454,1	273,5	127,4	21,9	0

** Im Verkehrssektor wurde auf das Basisjahr 2005 zurückgegriffen.*

Der sinkende Energiebedarf des MIV ist neben der durch die Verbrauchsobergrenzen vorgegebene Effizienzerschließung auf die zunehmende Umstellung auf alternative, CO_2-freie Technologien zurückzuführen. In 2050 liegt der Bedarf des MIV an regenerativ erzeugtem Strom bei etwa 60 TWh/a. Der Treibstoffbedarf sinkt kontinuierlich und kann bis 2045 vollständig durch Agrokraftstoffe gedeckt werden.

Aufgrund der Verlagerung eines Teil der Fahrleistung im MIV auf den öffentlichen Personenverkehr, des Wechsels hin zu alternativen CO_2-freien Technologien wie beispielsweise dem Elektroauto sowie die vollständige Deckung des Energiebedarfs der wenigen verbleibenden Verbrennungsmotoren über

Agrokraftstoffe können die CO_2-Emissionen im Bereich des MIV bis 2050 gegen Null gehen.

5.2.2 ÖFFENTLICHER PERSONENNAH- UND -FERNVERKEHR (ÖPV)

Auch für den ÖPV werden verschiedene Annahmen getroffen, um das Ziel eines CO_2-emissionsfreien Verkehrssektors zumindest annähernd zu erreichen.

1. Im Bereich des ÖPV wird insgesamt eine Steigerung der Gesamtfahrleistung im Betrachtungszeitraum erwartet. Diese Steigerung entspricht dabei der Verlagerung von Fahrleistung des MIV auf den ÖPV (siehe oben). Weitere Veränderungen in der Gesamtfahrleistung des ÖPV werden nicht berücksichtigt.
2. Hinsichtlich der Verteilung der Fahrleistung auf die Verkehrsträger Schiene und Straße wird die bisherige Verteilung von jeweils ca. 50 Prozent der Gesamtfahrleistung des ÖPV als konstant angesetzt.
3. Im Rahmen dieser Studie wird angenommen, dass sich der spezifische Energiebedarf sowohl im Schienenpersonenverkehr als auch im Straßenpersonenverkehr analog zum spezifischen Energiebedarf des MIV entwickelt. Dies entspricht einer Steigerung der Effizienz nach 2012 von 2-3 Prozent pro Jahr. Da im ÖPV deutlich höhere Fahrleistungen als im MIV erreicht werden, ist die Austauschrate hier auch prinzipiell höher [35]. Parallel bestehen deutliche Potenziale zur Steigerung der Auslastung. So lag in 2005 die Auslastung eines Linienbusses lediglich bei 21 Prozent, die im Schienenfernverkehr bei 44 Prozent [36]. Allerdings sind die technischen Potenziale im ÖPV insgesamt geringer als im MIV. Damit sprechen die ersten beiden Punkte prinzipiell für, der letzte Punkt gegen eine schnellere Effizienzerschließung als im MIV. Eine Quantifizierung ist jedoch nicht möglich, daher erfolgt die Übertragung der Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs im MIV.
4. Bereits in den letzten Jahren hat sich der Anteil der Erdgasbusse im Flottenbestand des Straßenpersonenverkehrs deutlich erhöht. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Fahrleistung bezüglich der Personenkilometer stieg dieser Anteil allein zwischen 2002 und 2007 von zunächst 4 Prozent auf knapp 30 Prozent an. Im Rahmen der Studie wird eine weitere Steigerung erwartet, bis zu einem Anteil von 50 Prozent der Fahrleistung im Straßenpersonenverkehr in 2020. Danach bleibt der Anteil an Erdgasfahrzeugen nahezu konstant.
5. Im Hinblick auf den erforderlichen Wechsel der Fahrzeugtechnologie (s.o.) wird angenommen, dass ab 2020 verstärkt alternative CO_2-freie

Fahrzeugtypen eingesetzt werden. Die Entwicklung erfolgt analog zum MIV. Im Bereich des Straßenpersonenverkehrs bieten sich hier insbesondere Elektro-Busse an. Die Umsetzung ist damit in der Praxis einfacher, da durch Oberleitungen die noch bestehende Batterie-problematik von Elektroautos umgangen werden kann. Bis 2050 steigt die Fahrleistung alternativer CO_2-freier Fahrzeuge auf ca. 50 Prozent der Gesamtfahrleistung im Straßenpersonenverkehr an.

Aus diesen Annahmen ergibt sich, dass ab 2050 im öffentlichen Personenverkehr keine Diesel-Fahrzeuge mehr im Einsatz sind, sondern ausschließlich alternative CO_2-freie Fahrzeuge sowie Erdgas-Fahrzeuge eingesetzt werden.

ENTWICKLUNG VON ENERGIEBEDARF UND CO_2-EMISSIONEN DES ÖPV

Die Entwicklung des Energiebedarfs im ÖPV ist von zwei gegenläufigen Entwicklungen geprägt. Effizienzerschließung und der Wechsel von Kraftstoffen zu elektrischen Antrieben führen zu einer Reduktion des Energiebedarfs, während die Verkehrsverlagerung vom MIV auf den ÖPV tendenziell zu einem Mehrverbrauch führt. Dennoch kann der Energieeinsatz im ÖPV in den nächsten 40 Jahren etwa halbiert werden (s. Tabelle 5-3).

Tabelle 5-9: Entwicklung des Energiebedarfs im ÖPV bis 2050

Jahr		**2005***	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Energiebedarf	*TWh/a*	*27,0*	*34,3*	*32,0*	*26,4*	*18,4*
davon: Strom	TWh/a	6,6	9,0	9,0	8,7	8,1
Erdgas	TWh/a	2,3	12,9	12,8	12,1	10,3**
konv. Kraftstoffe	TWh/a	18,1	12,4	10,2	5,7	0

** Im Verkehrssektor wurde auf das Basisjahr 2005 zurückgegriffen.*

*** davon ca. 4,1 TWh/a Biogas*

Der Energiebedarf im ÖPV wird bereits heute zu einem Großteil durch elektrischen Strom für Eisenbahnen bereitgestellt. Durch die Verlagerung des MIV auf den ÖPV und den ab 2020 steigenden Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen liegt der Bedarf des ÖPV an regenerativ erzeugtem Strom in 2050 bei etwa 8 TWh/a. Daneben wird der Anteil von Erdgas-Fahrzeugen bis 2020 auf rund die Hälfte der im öffentlichen Straßenpersonenverkehr eingesetzten Fahrzeuge steigen. Der Erdgasbedarf erreicht bis 2050 etwa 10,3 TWh/a, davon können in 2050 etwa 40 Prozent durch Biogas gedeckt werden.

Aufgrund des steigenden Einsatzes von Elektro- und Erdgas-Fahrzeugen im öffentlichen Straßenpersonenverkehr werden die CO_2-Emissionen im Bereich ÖPV

trotz der Verlagerung von Fahrleistung des MIV auf den ÖPV bis 2050 auf gut ein Fünftel sinken.

5.2.3 GÜTERVERKEHR

Der Oberbegriff Güterverkehr umfasst den Gütertransport auf der Schiene (Bahn) und auf der Straße (LKW) und ist für rund 30 Prozent der Emissionen im Verkehrssektor verantwortlich. Für die Entwicklung des Güterverkehrs werden folgende Annahmen getroffen.

1. Zukünftig wird eine deutlich ansteigende Fahrleistung des Güterverkehrs prognostiziert [30]. Im vorliegenden Szenario wird von einer Steigerung der Fahrleistung im Güterverkehr von 1 Prozent p.a. ausgegangen.

2. Die Steigerung der Fahrleistung im Bereich Schienengüterverkehr wird mit ca. 4 Prozent p.a. höher angesetzt, da eine Verlagerung von der Straße auf die Schiene angenommen wird. Hierdurch ergibt sich mittelfristig eine höhere Fahrleistung im Schienengüterverkehr als gemäß der Prognose der Bundesregierung im Verkehrswegeplan derzeit vorgesehen ist [31].

3. Hinsichtlich des Effizienzpotenzials für schwere Nutzfahrzeuge können bis zu 10 Prozent Verbrauchseinsparungen kurzfristig realisiert werden[30] [32]. Insgesamt erscheinen jedoch Verbesserungen im mittleren spezifischen Kraftstoffverbrauch der gesamten Fahrzeugflotte im Straßengüterverkehr um 20 Prozent bis 2020 bzw. um 35 Prozent bis 2050 (jeweils bezogen auf 2005) technisch machbar [8]. In dieser Studie wird daher angenommen, dass die spezifischen CO_2-Emissionen des Straßengüterverkehrs bis 2020 um 10 Prozent (gegenüber 2005) sinken. Danach reduzieren sich die spezifischen Emissionen um etwa 1 Prozent p.a. Damit wird im Jahr 2050 eine Reduktion um etwa 33 Prozent (gegenüber 2005) erreicht.

ENTWICKLUNG VON ENERGIEBEDARF UND CO_2-EMISSIONEN DES GÜTERVERKEHRS

Auch im Güterverkehr wirkt sich das prognostizierte Wachstum des Sektors deutlich auf die Entwicklung des Energieverbrauchs aus. Trotz

[30] Allerdings existiert in Europa für schwere Nutzfahrzeuge – im Gegensatz zu Pkw – kein genormter Fahrzyklus, in dem der Kraftstoffverbrauch und damit auch die CO_2-Emissionen vergleichbar erhoben werden. Derzeit werden alle Emissionen nur für den Motor selbst ermittelt, auf das ganze Fahrzeug können keine Rückschlüsse gezogen werden. Das erschwert auch eine Berechnung von Minderungspotenzialen für schwere Nutzfahrzeuge. [32]

Effizienzerschließung und einer als ehrgeizig zu bezeichnenden Verlagerung des Transports von der Straße auf die Schiene (deren Realisierung eine Reihe umfangreicher (bahn)politischer Maßnahmen erfordert) kann der absolute Energiebedarf nur geringfügig gesenkt werden (s. Tabelle 5-4).

Tabelle 5-10: Entwicklung des Energiebedarfs im Güterverkehr bis 2050

Jahr		**2005***	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Energiebedarf	*TWh/a*	*87,5*	*101,0*	*98,8*	*96,8*	*95,3*
davon: Strom	TWh/a	9,0	14,9	19,0	24,4	31,2
Agrokraftstoffe**	TWh/a	0	0	0	5,0	64,1
konv. Kraftstoffe	TWh/a	78,5	86,1	79,7	67,4	0

** Im Verkehrssektor wurde auf das Basisjahr 2005 zurückgegriffen.*

*** Annahme: Einsatz von Agrokraftstoffen vorrangig im MIV.*

Neben der Verlagerung von Straße auf Schiene ist daher mittelfristig ein sukzessiver Ersatz fossiler Treibstoffe im Straßengüterverkehr erforderlich. Dies ist trotz der begrenzten nationalen Potenziale nur deshalb möglich, weil insbesondere im MIV rechtzeitig der notwendige Technologiewechsel eingeleitet werden konnte. Bis 2050 kann so der Treibstoffbedarf im Güterverkehr vollständig durch Agrokraftstoffe gedeckt werden. In der Realität werden zusätzlich sicherlich eine technische Errungenschaften im MIV (alternative CO_2-freie Antriebe) auch auf den Güterverkehr übertragen werden können.

Das vorliegende Szenario zeigt, dass auch der Güterverkehr bis 2050 CO_2-neutral werden könnte, sofern zwei wesentliche Veränderungen frühzeitig in die Wege geleitet werden:

- Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene und
- sukzessiver Wechsel auf alternative Antriebe und Agrokraftstoffe statt fossiler Energieträger.

5.2.4 WEITERE VERKEHRSTRÄGER

Die weiteren Verkehrsträger umfassen insbesondere den Schiffs- und den Luftverkehr. Hierbei ist jeweils noch zwischen dem Binnenverkehr und dem internationalen Verkehr zu unterscheiden. Der internationale Verkehr bleibt bei der Betrachtung der nationalen Emissionen außen vor.

Im Binnenverkehr ist der Anteil des Personenluftverkehrs an den gesamten Personenkilometer mit 5 Prozent in 2007 vergleichsweise gering. Auch der Anteil

des Frachtverkehrs per Schiff und Flugzeug liegt insgesamt nur bei 10 Prozent der Tonnenkilometer in 2007. [12]

Aufgrund des derzeit noch sehr geringen Anteils dieser Verkehrsträger werden die Bereiche (Binnen-)Luftverkehr und (Binnen-)Schiffsverkehr hier nur kurz behandelt. Zudem sind zahlreiche Faktoren für die Bewertung der Emissionsentwicklung dieser Verkehrsträger derzeit unbekannt, sodass eine Quantifizierung der Entwicklung im Rahmen dieser Studie nicht möglich ist.

LUFTVERKEHR

Im Luftverkehr wird bis 2050 sowohl für die Personenverkehrsleistung als auch für die Güterverkehrsleistung ein Zuwachs erwartet. Hinzu kommt, dass Emissionen aus „Lufttreibstoffen" stärker Klima belastend wirken als solche aus „Bodentreibstoffen" [30]. Um zu verhindern, dass die Effizienzsteigerungen im Verkehrssektor insgesamt durch den Zuwachs im (Personen-)Luftverkehr teilweise wieder kompensiert werden, müssen auch für den Luftverkehr entsprechende Überlegungen zur Emissionsminderung angestellt werden. [30]

Ab 2012 wird der Luftverkehr in den europäischen Emissionshandel einbezogen [37]. Bereits jetzt werden die Vorbereitungen für die Erweiterung des Emissionshandelssystems getroffen. Die Emissionen werden dabei nicht anteilig auf die Ausgangs- und Zielländer aufgeteilt (z.B. nach der zurückgelegten Strecke), vielmehr ist geplant, alle europäischen Flüge (d.h. alle Flüge mit Start *oder* Landung innerhalb der EU) vollständig im europäischen Emissionshandelssystem zu erfassen. Die nationalen Emissionen des Luftverkehrs werden den einzelnen Mitgliedsländern dabei nach Fluggesellschaften zugeordnet, für die im jeweiligen Land die Betriebsgenehmigung ausgestellt wurde (für Deutschland sind das zurzeit knapp 290 Fluggesellschaften). Die entsprechende Datenbasis zur Bilanzierung des nationalen Luftverkehrs wird gerade erhoben und soll in 2011 für 2010 verfügbar sein. Abgesehen von vielen Ausnahmeregelungen (Staatsflüge und Militärflüge sind beispielsweise ausgenommen) ließen sich auch auf Grundlage dieser noch zu erarbeitenden Datenbasis keine nationalen Emissionen ableiten, die mit dem hier vorgestellten Modell (nationale Bilanz) vergleichbar wären.

Auch wenn die Emissionen des Luftverkehrs aus den genannten Gründen nicht quantitativ im Modell berücksichtigt werden können, lässt sich aus der Gesamtbetrachtung die Forderung ableiten, dass auch für den Luftverkehr neue und ambitionierte Konzepte zur Emissionsminderung eingeführt werden müssen, um auch in diesem zukünftig weiterhin sehr relevanten Sektor das langfristige Ziel der Nullemissionen erreichen zu können. Neben treibstoffarmen Flugzeugen, Streckenbereinigungen, Effizienzsteigerungen und dem Einsatz von Agro-

kraftstoffen muss auch die Ausgestaltung des Emissionshandels so gestaltet werden, dass die Emissionen im Luftverkehr deutlich reduziert werden[31].

SCHIFFSVERKEHR

Der Schiffsverkehr soll ab 2015 in den europäischen Emissionshandel aufgenommen werden (vgl. Richtlinie für 3. Handelsperiode). Ähnlich wie beim Luftverkehr fehlt auch beim (internationalen) Schiffsverkehr die Datenbasis, so dass dieser nicht quantitativ im nationalen Modell abgebildet wird. IMO-Berechnungen zufolge stoßen die weltweit rund 70.000 größeren Handelsschiffe jedoch jährlich rund 1,1 Milliarden Tonnen CO_2 aus. Das ist etwa doppelt so viel, wie in der weltweiten Luftfahrt entsteht, und mehr als der gesamte CO_2-Ausstoß Deutschlands. Diese Emissionen können beispielsweise mittels Flottenoptimierung, Einsatz CO_2-freier Kraftstoffe oder Antriebe und einer Verringerung des Transportvolumens sukzessive reduziert werden. Auch hier erfordert das langfristige Ziel der Nullemissionen in 2050 eine internationale Zusammenarbeit und ein hohes Maß an politischem Willen. [38]

5.2.5 FAZIT

Die im Rahmen der Studie quantifizierte prognostizierte Entwicklung der CO_2-Emissionen im Verkehrssektor ist in Tabelle 5-11 dargestellt. Die Berechnungen zeigen, dass die übergeordnete Zielsetzung, den Verkehrssektor bis 2050 CO_2-emissionsfrei zu gestalten, mit einer Umstrukturierung des Sektors und dem weitgehenden Ersatz des klassischen Verbrennungsmotors durch neue Konzepte nahezu erreicht werden kann.

Tabelle 5-11: Entwicklung der CO_2-Emissionen im Verkehrssektor bis 2050

Jahr		**2007**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
CO_2-Emissionen	Mio. t/a	151,9	101,5	60,3	27,7	2,1
Reduktion gegenüber 2007	*%*	-	*-33%*	*-60%*	*-82%*	*-99%*

[31] Der Luftfahrtweltverband IATA (International Air Transport Association) hat sich bei seiner Jahrestagung 2009 in Kuala Lumpur verpflichtet, von 2020 an nur noch CO_2-neutral zu wachsen. Er hat in diesem Zusammenhang die internationalen Regierungen um Unterstützung dieser Bemühungen gebeten. [CO2Handel.de: Luftfahrt braucht bei Klimazielen Regierungshilfe (09.06.2009)]

Allerdings müssen hierfür die oben genannten Herausforderungen bewältigt werden. Dazu zählt insbesondere, dass ab 2020 ein signifikanter Wechsel der Fahrzeugtechnologie hin zu alternativen CO_2-emissionsfreien Antrieben erfolgt. Zudem muss eine Verlagerung vom MIV auf den ÖPV sowie im Güterverkehr von Lkw auf Schiene erfolgen. Parallel müssen die erforderlichen Erneuerbaren Energien (regenerativ erzeugter Strom, Biogas und Agrotreibstoffe) in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Auch vor diesem Hintergrund ist es daher sinnvoll und richtig, den mit dem EEG eingeschlagene Ausbaupfad der Erneuerbaren Energien fortzusetzen. Die Potenzialanalyse zeigt, dass bei einem konsequenten, frühzeitigen (und umfangreichen) Handeln auch im Verkehrssektor schon mittelfristig signifikante Emissionsminderungen erreicht werden können (s. Abbildung 5-8).

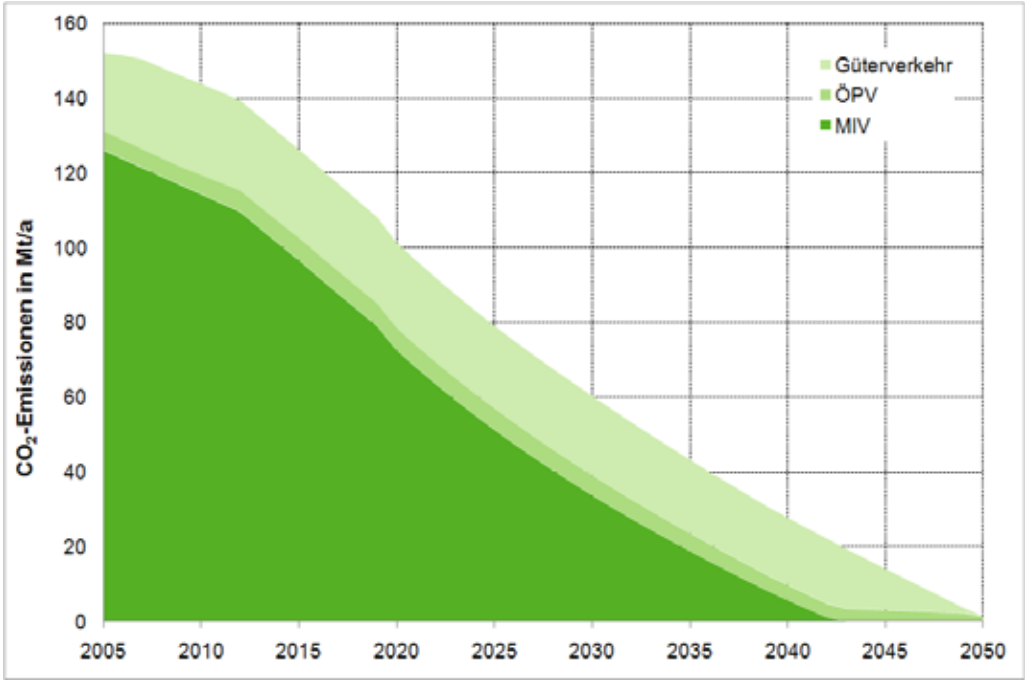


Abbildung 5-8: Entwicklung der CO_2-Emissionen im Verkehrssektor bis 2050

5.3 POTENZIALE DER ERNEUERBAREN ENERGIEN ZUR STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG

Im Jahr 2007 trugen die Erneuerbaren Energien Solar- und Geothermie, Photovoltaik, Wasser- und Windkraft, sowie Biomasse und Biogas bereits 14 Prozent zur Bruttostromerzeugung und 7,5 Prozent zur Wärmebereitstellung bei [39]. Der Beitrag der erneuerbaren Stromerzeugung an der Endenergie in 2008

lag nach Hochrechnungen sogar bereits bei 17,2 Prozent. Hieran ist der schnelle Zuwachs in diesem Bereich ersichtlich. Der zeitliche Verlauf der Potenzialerschließung der erneuerbaren Technologien wurde allerdings in der Vergangenheit vielfach unterschätzt. So übertraf beispielsweise der Ausbau der Windkraft in den letzten Jahren alle Erwartungen und Prognosen. Auch die möglichen Potenziale der anderen Technologien sind zum Teil noch lange nicht ausgereizt. In Abbildung 5-9 ist die bisherige Entwicklung der Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in Deutschland dargestellt. Hier ist insbesondere das rasante Wachstum der letzten Jahre auffallend, das maßgeblich auf die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 zurückzuführen ist.

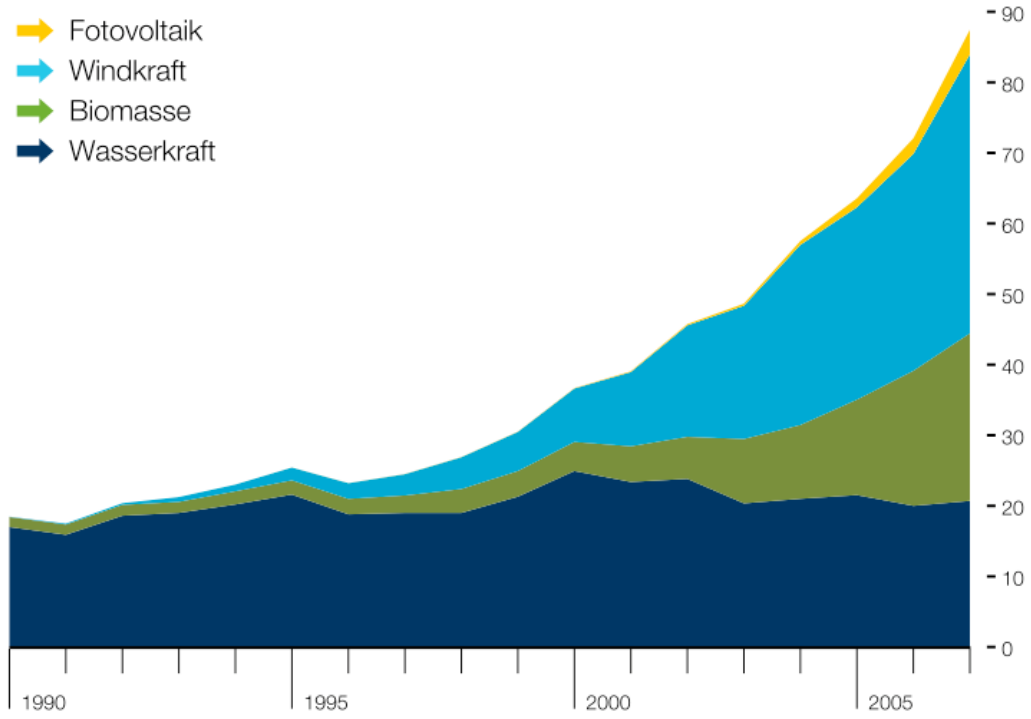


Abbildung 5-9: Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland von 1990 bis 2007 (Endenergie in TWh/a) [39]

Die klimafreundliche Energiebereitstellung durch die Erneuerbaren Energien ist eine der drei Säulen, mit denen die Bundesregierung ihre klimapolitischen Ziele erreichen will. Nichtsdestotrotz bestehen in manchen Bereichen (z.B. der Geothermie-Nutzung) weiterhin Hemmnisse und zusätzliche Möglichkeiten zur umfassenderen Förderung, damit ein möglichst schneller Ausbau mit dem Ziel einer vollständigen Strom- und breiten Wärmeversorgung durch Erneuerbare Energien in 2050 gelingt.

Zusammenfassend betrachtet wird die erneuerbare Energieerzeugung allerdings zunehmend günstiger, was zum einen auf sinkende Anlagenpreise (induziert durch den Technologiefortschritt) und zum anderen auf steigende Preise für Energie aus konventionellen, fossilen Quellen zurückgeführt werden kann. Der Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeversorgung, der in den kommenden Jahrzehnten geleistet werden kann, wird im Folgenden für die unterschiedlichen Technologien auf Basis verschiedener Studien und eigener Berechnungen dargelegt.

5.3.1 WINDKRAFT (OFF-/ONSHORE)

Allein in 2007 verzeichnete die Windenergie einen Zuwachs von 1.667 MW zugebauter Kapazitäten gegenüber 2006 [39]. Das entspricht in etwa der Leistung von zwei großen Steinkohlekraftwerken. Die in „Plan B“ erst für 2020 angenommene Stromerzeugung in Höhe von 41 TWh/a wird damit heute schon erreicht. Daher wurde die Prognose für die Windkraft im vorliegenden aktualisierten Greenpeace-Szenario deutlich nach oben korrigiert. Obwohl die Zubau-Quote leicht rückläufig ist, kann nach wie vor von einem dynamisch wachsenden Markt gesprochen werden. Während die Entwicklung im Onshore-Bereich bereits weit voran geschritten ist, steht die Offshore-Windenergienutzung noch am Anfang, zeigt aber sehr großes Entwicklungspotenzial.

Bei der Nutzung der Windenergie an Land bestehen Ausbaumöglichkeiten vor allem im Repowering vorhandener Anlagen. Aufgrund der bereits in „Plan B“ genannten Hemmnisse werden auch heute noch häufig Anlagen mit lediglich 2 bis 3 MW installiert, obwohl technisch längst 5 bis 6 MW-Anlagen möglich wären. Hier liegt großes, noch ungenutztes Potenzial. Auch die Ausweitung der Flächenverfügbarkeit sowie die Abschaffung pauschaler Abstands- und Höhenregelungen sind für die Ausschöpfung des vollen Potenzials der Windenergie wichtig. Gerade die Verlagerungen der Nabenhöhen nach oben bringt eine Steigerung der jährlichen Benutzungsstunden mit sich und sollte nicht ungenutzt bleiben. Für die nur zeitweise heute schon ohne EEG-Förderung wirtschaftlich zu betreibenden Windkraftanlagen wird eine Netzparität[32] ab etwa Mitte des nächsten Jahrzehnts erwartet.

Für die Offshore-Erzeugung wird eine ähnlich steile Entwicklung angenommen wie sie bei der Onshore-Windkraft zu beobachten war. Im Jahr 2009 sollen die

[32] Das heißt, dass für den Windstrom am freien Markt ohne EEG-Vergütung gleichhohe oder höhere Preise erzielt werden können als mit einer Einspeisung nach EEG.

ersten Offshore Windparks in der deutschen Nordsee entstehen. Beschränkend für die weitere Entwicklung ist jedoch der langsam voranschreitende Netzausbau zu bewerten. Daher bleibt die Prognose der Offshore-Windenergieerzeugung für 2020 mit 35 TWh hinter den Werten aus „Plan B“ zurück. Mittelfristig ist aber auch hier mit einem umfassenden Netzzubau zu rechnen. Der Zeitpunkt der Netzparität der Windkraft auf See wird für etwa 2025 prognostiziert. Dies und die aus den Lernkurven resultierenden sinkenden Anlagenpreise führen nach 2025 zu einem weiteren Anstieg des Ausbaupfades.

Die in „Plan B“ angegebene Stromerzeugung für die gesamte Windkraft deckt sich mit den Angaben des „DLR-Leitszenarios“. Insbesondere aufgrund der sehr positiven Entwicklung der Onshore-Windkraft in den letzten Jahren werden im aktualisierten Greenpeace-Szenario die Werte der Windstromerzeugung nach oben korrigiert und entsprechen etwa der Prognose des Szenarios „E3“ der „Leitstudie 2008“. Der Bundesverband für Erneuerbare Energien (BEE) erwartet prinzipiell eine ähnliche, aber um fünf Jahre vorgezogene Entwicklung der Windkraft. Vor allem die Onshore-Erzeugung liefert im BEE-Szenario früher eine höhere Stromerzeugung. [40]

Die Beiträge der Windenergie zur Bedarfsdeckung im Greenpeace-Szenario sind in Tabelle 5-12 dargestellt. Unter der Annahme, dass die zur Verfügung stehende Technologie auch weiterhin verbessert und die aufgezeigten Hemmnisse überwunden werden, ist der hier aufgezeigte Ausbaupfad eher als Untergrenze zu sehen.

Tabelle 5-12: Prognostizierter Beitrag der Windenergie zur Bedarfsdeckung

Endenergie	**2007**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Nutzungsart	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*
onshore	39,5	65	75	83	90
offshore	0	35	85	130	165
Summe	**39,5**	**100**	**160**	**213**	**255**

5.3.2 BIOMASSE/BIOGAS

Die Potenziale der Biomassenutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie zur Herstellung von Agrokraftstoffen sind heute bereits zu großen Teilen erschlossen. Im Sinne einer nachhaltigen Nutzung wird zwar ein weiterer Ausbau der Biomassenutzung angestrebt, dieser sollte mittelfristig allerdings in erster Linie nicht durch die Erschließung weiterer Flächen zum Anbau von Energiepflanzen

erfolgen, sondern aus Kriterien des Natur- und Umweltschutzes vielmehr durch heute noch ungenutzte Potenziale (z.B. Gülle) bzw. Flächen, z.B. Biotopverbundflächen. Ein weiterer Grund für diesen Ansatz ist das Ziel, die Akzeptanz der Biomassenutzung zur Energiebereitstellung nicht durch Flächenkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung negativ zu beeinflussen.

So fällt der Ausbau der Endenergie aus Biomasse (einschließlich Biogas und Agrokraftstoffen) mit etwa 28 Prozent bis 2030 im Vergleich zu den übrigen Erneuerbaren Energien deutlich geringer aus. Erst ab 2040 stehen neue Anbauflächen zur Verfügung, die zum Anbau von Energiepflanzen genutzt werden können, so dass bis 2050 die Biomassenutzung im Vergleich zu 2007 noch einmal verdoppelt werden kann (s. Tabelle 5-13). Ein weiterer Ausbau ist auf Grund der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen und dem Ziel einer nachhaltigen Nutzung nicht anzustreben. Dabei basiert die vorliegende Abschätzung auf den Ergebnissen der BMU-Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland“ (2004), die „die bei Einhaltung der naturschützerischen Kriterien im Zeitablauf verfügbaren Anbauflächen“ auf „1,1 Mio. ha in 2020 und dann steigend bis auf 4,1 Mio. ha in 2050“ beziffert. Im Szenario Naturschutz Plus II (kurz: NatPlusII) werden auch Ausgleichs- und Naturschutzflächen zum Anbau von Energiepflanzenanbau genutzt [41]. Dies sind im Einzelnen:

- Biotopverbundflächen,
- erosionsgefährdete Flächen,
- Kompensationsflächen zum Ausgleich oder Ersatz von Eingriffen in Natur und Landschaft sowie
- Umnutzung von Anbauflächen für annuelle Kulturen, z.B. für Energiepflanzenanbau.

Bei den Biotopverbundflächen wird in Zukunft ein Zuwachs erwartet bzw. gefordert, denn die Ziele des BNatSchG sind in der Vergangenheit nicht erreicht worden. Daher ist aus Naturschutzaspekten ein Ausbau der Flächen erforderlich. Auf diesen werden u.a. eine Umnutzung (Ackerland zu Grünland) und eine Nutzungsextensivierung angestrebt, d.h. dort kann zum Großteil auch ein Energiepflanzenanbau erfolgen. Für die Kompensationsflächen wird zukünftig ebenfalls ein Zuwachs erwartet. Für viele erosionsgefährdete Flächen sowie Anbauflächen für annuelle Kulturen wird aus Naturschutzaspekten eine Reduktion bzw. Umnutzung gefordert. [41]

Tabelle 5-13: Entwicklung des Biomassepotenzials sowie zu Grunde gelegte Ackerfläche zum Anbau von Energiepflanzen bis 2050 (ohne Energiepflanzen)

Endenergie	**2007**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Nutzungsart	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*
Thermisch	90	120	125	150	210
Elektrisch	19	25	27	35	45
Agrokraftstoffe	46	50	55	65	75
Summe	**155**	**195**	**207**	**250**	**330**
Energiepflanzen [Mio ha]	2,0	2,0	2,0	3,1	4,2

Der moderat wachsende Beitrag der Agrokraftstoffe basiert im Greenpeace-Szenario ausschließlich auf einer Steigerung der Flächeneffizienz, die durch die Weiterentwicklung der heutigen Agrokraftstoffproduktion erwartet wird (z.B. Kraftstoffe der 2. Generation).

5.3.3 PHOTOVOLTAIK

Die Photovoltaik wird in naher Zukunft stark durch ihren technischen Fortschritt geprägt sein. Dies betrifft zum einen die steigende Effizienz der kristallinen Zellen, zum anderen insbesondere die Dünnschichtsolarzellen, die die Nutzung von Fassaden und wenig belastbaren Dächern ermöglichen und so zur Erschließung neuer Anwendungsfelder sowie zur Reduzierung der Anlagenkosten und des Materialverbrauchs beitragen.

Zurzeit gibt das EEG den Wachstumskorridor für die Photovoltaik vor. Der Bundesverband für Solarwirtschaft (BSW-Solar) erwartet die Netzparität für spätestens Mitte des nächsten Jahrzehnts, so dass die Stromerzeugung mittels Photovoltaik dann auch ohne Förderung rentabel wäre [42]. Das Greenpeace-Szenario sieht auf dieser Grundlage die Annahmen aus „Plan B“ hinsichtlich eines stabilen, kontinuierlichen Wachstums sowie einer Stromerzeugung von ca. 20 TWh in 2020 bestätigt. Dies deckt sich mit dem Szenario „E3“ der „Leitstudie 2008“. Hierbei wurden Solarstromimporte nicht berücksichtigt (siehe Exkurs). Die Entwicklung der Stromerzeugung aus Photovoltaik zeigt Tabelle 5-14.

Tabelle 5-14: Beitrag der Photovoltaik zur Bedarfsdeckung im Greenpeace-Szenario

Endenergie	**2007**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
	in TWh	*in TWh*	*in TWh*	*in TWh*	*in TWh*
	3,5	**20**	**30**	**40**	**50**

Exkurs: Solarstromimporte

Die unerschöpfliche Energiequelle Sonne ist Ursprung vieler Erneuerbarer Energieträger (Sonne, Wind, Biomassen). Das breite Angebot Erneuerbarer Energien macht einen ausgewogenen regenerativen Energiemix möglich, dennoch bietet allein die direkte Nutzung der Sonnenenergie ein enormes Potenzial. So würden etwa 2 Prozent der Fläche der Sahara ausreichen, um den Strombedarf der gesamten Weltbevölkerung zu decken. In den letzten Jahren haben zahlreiche technische Fortschritte bei solarthermischen Kraftwerken (CSP - Concentrated Solar Power), Speichern, vor allem aber auch den Übertragungsnetzen[33] zu einem technischen Stand geführt, der bereits mittelfristig Solarstromlieferungen aus sonnenreichen Gegenden wie Spanien oder der Sahara nach Europa in signifikantem Umfang „wirtschaftlich und politisch machbar“ erscheinen lässt. [43]

Bis 2017 könnten allein in Spanien ca. 10.000 MW Leistung ans Netz gehen, in den USA sind derzeit Anlagen mit einer Leistung von rund 7.000 MW geplant. Tatsächlich sind CSP-Kraftwerke eine attraktive Option für die weltweite Energieversorgung, denn sie können auch in den sonnenreichen (Wüsten-) Regionen in Mexiko, Indien, Australien oder dem Westen der USA aufgestellt werden. Insbesondere für heiße, wasserarme Regionen in Küstennähe stellt auch der solare Betrieb von Meerwasserentsalzungsanlagen eine vielversprechende Chance dar. Es ist zu erwarten, dass verschiedene Wärmespeichersysteme in naher Zukunft einen zunehmend kontinuierlichen Betrieb der solaren Kraftwerke[34] ermöglichen werden. Jedoch erweist sich auch die häufig als problematisch wahrgenommene Fluktuation der Sonnenenergie im Falle der Solarstromimporte als großes Plus, da die zur Mittagszeit auftretenden Tagesspitzenlasten zeitgleich

[33] Mit neuen Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzen („HGÜ-Netzen“ oder „supergrids“) kann der Strom über mehrere 1.000 Kilometer mit Verlusten in der Größenordnung von nur 10 Prozent transportiert werden [43].

[34] d.h. eine Ausweitung des Kraftwerksbetriebs auf Zeiten ohne Sonnenschein, z.B. nachts

mit dem maximalen Sonnenangebot anfallen und von Solarstrom optimal gedeckt werden können. [43]

Aus Sicht von Greenpeace stellen internationale Kooperationen und Abkommen eine wesentliche Voraussetzung für eine effiziente, gerechte und nachhaltige Nutzung des sogenannten Wüstenstroms dar. Diese sollen u.a. sicherstellen, dass – entsprechend der Philosophie einer überwiegend dezentralen Energieversorgung – zunächst der Energie- (und Wasser-)Bedarf vor Ort gedeckt wird, bevor in großem Umfang Stromexporte in industrielle Ballungszentren erfolgen. Ein Wüstenstrom-Import wird dabei nicht als Konkurrenz, sondern als „sinnvolle Ergänzung“ dezentraler Lösungen gesehen.

Unter der Voraussetzung, dass lokale Energiebedürfnisse befriedigt sind, also mittelfristig ab etwa 2030, wären auch Solarstromimporte aus Spanien oder Afrika nach Deutschland begrüßenswert. Nach Schätzungen von Greenpeace könnten diese dann bis zu 15 Prozent des deutschen Strombedarfs decken. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein entsprechender Ausbau der Übertragungsnetze. Die möglichen Solarstromimporte bleiben im Greenpeace-Szenario unberücksichtigt und stellen somit ein zusätzliches Potenzial dar!

5.3.4 SOLARTHERMIE

Die Solarthermie ist durch ihren vergleichsweise geringen technischen Aufwand und die möglichen Anlagengrößen in besonderem Maße zum dezentralen Einsatz geeignet. Für die saisonal abhängige Wärmeerzeugung sind jedoch geeignete Speicher notwendig, um die Erzeugung vom Verbrauch zu entkoppeln. Große, saisonale Wärmespeicher für lokale Wärmesysteme sind noch in der Entwicklung. Langfristig sind geringe Speicherkosten für einen flächendeckenden Einsatz der Solarthermie essentiell.

Die Einführung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) lässt trotz dieser (geringen und mittel- bis langfristig relevanten) Ausbauhemmnisse in den nächsten Jahren ein weiteres Wachstum der Solarthermie erwarten. Im Greenpeace-Szenario vervielfacht sich die Wärmeproduktion rasant bis 2020 auf 25 TWh/a. Danach flacht die Wachstumskurve etwas ab, und bis 2050 kann eine weitere Verfünffachung der Wärmeproduktion (auf 115 TWh/a) erreicht werden. Damit liegt das Greenpeace-Szenario geringfügig über den Ausbauerwartungen des Szenarios „E3“ der „Leitstudie 2008“.

Tabelle 5-15: Ausbaupfad der Solarthermie

Endenergie	2007	2020	2030	2040	2050
	in TWh	*in TWh*	*in TWh*	*in TWh*	*in TWh*
	3,7	**25**	**60**	**90**	**115**

5.3.5 (LAUF-)WASSERKRAFT

Die in „Plan B“ vorgenommene Prognose für die Wasserkraft von 23 TWh/a in 2020 wird in Anlehnung an das Ausbauszenario der „Leitstudie 2008“ geringfügig angehoben. Bis zum Jahr 2020 steigt demnach der in Wasserkraft erzeugte Strom um voraussichtlich 16 Prozent auf 24 TWh/a an. Der Ausbau wird hauptsächlich in der durch das EEG besonders geförderten sog. „Kleinen Wasserkraft“ stattfinden, weiterhin bietet die Erneuerung einiger Großanlagen ein lohnendes Potenzial.

Die „Leitstudie 2008“ erwartet eine fast vollständige Potenzialerschließung bis 2020 und sieht danach keinen nennenswerten Ausbau mehr. Dagegen verweist die Stromausbaustudie des BEE auf deutlich höhere Potenziale im Bereich der Wasserkraft und hält eine Steigerung der Stromerzeugung auf bis zu 32 TWh/a im Jahr 2020 für möglich. Dies soll, neben dem Ausbau der sog. Kleinen Wasserkraft, mittels der Nutzung schon vorhandener Querverbauungen, der Wiederinbetriebnahme stillgelegter und dem Repowering bestehender, auch größerer Anlagen geschehen. Als Grund für diese Entwicklung wird u.a. ein steigender Strompreis genannt, der eine höhere Rentabilität der Anlagen mit sich bringt [40]. Das genaue Potenzial dieser Anlagen ist jedoch lt. BEE schwer quantifizierbar, da eine umfassende Bewertung der einzelnen Anlagen bisher noch nicht erfolgt ist. Daher werden im aktualisierten Greenpeace-Szenario die Potenzialbetrachtungen aus „Plan B“ sowie der „Leitstudie 2008“ zugrunde gelegt (s. Tabelle 5-16), ein darüber hinaus gehender Ausbau aber nicht für unmöglich gehalten.

Tabelle 5-16: Beitrag der erneuerbaren Wasserkraft (ohne Pumpspeicherkraftwerke)

Endenergie	2007	2020	2030	2040	2050
	in TWh/a	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*
	20,7	**24**	**25**	**25**	**25**

5.3.6 GEOTHERMIE

Die Geothermie kommt wegen ihres sehr großen Potenzials zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie ihrer prinzipiell kontinuierlichen Verfügbarkeit eine besondere Bedeutung in der zukünftigen Energieversorgung zu. Neben der sogenannten „Grundlastfähigkeit“ könnte die geothermische Stromerzeugung (nach Erreichen der Netzparität) prinzipiell auch zur Bereitstellung von Regelenergie beitragen.

Die laufenden Projekte der Tiefengeothermie haben sich allerdings in den letzten Jahren aus diversen Gründen immer wieder verzögert, was sich in den korrigierten Ausbauprognosen der Institute und Branchenverbände widerspiegelt. Zurzeit sind in Deutschland ca. 170 tiefen-geothermische Heizwerke und drei Heizkraftwerke in Betrieb. Aus den mittlerweile für die Stromerzeugung in Betrieb genommenen Anlagen können wertvolle Schlüsse für die Weiterentwicklung gezogen werden. Zahlreiche weitere Projekte befinden sich in der Planung. Die Technologie wird, basierend auf den nun gesammelten Erfahrungswerten, beständig weiterentwickelt. Es wird erwartet, dass sich das EEG 2009, der darin enthaltene Frühstarterbonus sowie die Förderkredite, positiv auf den Ausbau der tiefengeothermischen Stromerzeugung auswirken. Setzt die Bundesregierung die Empfehlungen des ihr vorliegenden Berichts zur Geothermie um, ist eine weitere Beschleunigung des Ausbaus zu erwarten [44].

Der Bundesverband Geothermie sieht jedoch die Entwicklung der Tiefengeothermie durch das geplante Gesetz zur Speicherung von Kohlendioxid (KSpG) gefährdet, denn der Kohlendioxidablagerung (CCS – Carbon Capture and Storage) sollen lt. Bundesverband „schon im Untersuchungsstadium umfangreichen Privilegien gegenüber anderen Nutzungen wie der Geothermie eingeräumt werden.“ Wenn z.B. Anträge auf Geothermiefelder zugunsten der Untersuchung zur Kohlendioxidablagerung zurückgestellt werden, während umgekehrt die Untersuchung zur Kohlendioxidablagerung in Geothermiefeldern weiterhin möglich bleibt, besteht die Gefahr, dass jegliche Nutzung der erneuerbaren Erdwärme innerhalb eines für CCS interessanten Gebietes ausgeschlossen wird, denn, so der Bundesverband Geothermie, „der Flächenbedarf der CCS-Technologie ist enorm“. Auch, wenn der durch das EEG geförderte Ausbau der Erneuerbaren Energien grundsätzlich keiner weiteren finanziellen Anreize bedarf, so muss die Politik dennoch sicherstellen, dass auch die übrigen notwendigen – in diesem Fall räumlichen – Randbedingungen für einen schnellen Ausbau gegeben sind (vgl. auch Kap. 6).

Der Beitrag der Geothermie zur deutschen Stromerzeugung ist zwar bislang noch unbedeutend, doch eröffnen die oben genannten, deutlich verbesserten Rahmenbedingungen grundsätzlich die Möglichkeit eines sukzessiven Einstiegs in

eine breitere Nutzung. Das Greenpeace-Szenario geht in seinen Annahmen zum Ausbaupfad weit über andere Studien hinaus, gleichwohl der hohe Wert aus „Plan B“ hier aufgrund der Verzögerungen diverser Projekte in den vergangenen drei Jahren nach unten korrigiert wird, und hält eine Stromerzeugung aus Geothermie von 4,9 TWh_{el} in 2020 durchaus für realistisch, trotz der Verzögerungen, die die Branche in ihrer Startphase erfahren hat. Nach den positiv verlaufenen Inbetriebnahmen der ersten beiden größeren Anlagen im Megawatt-Leistungsbereich in den letzten Monaten wird nun von einer Phase des exponentiellen Wachstums ausgegangen, wie sie auch bei anderen erneuerbaren Technologien zu beobachten war, s. Tabelle 5-17.

Für die geothermische Wärmeerzeugung (oberflächennahe und tiefe Geothermie sowie die Wärmeauskopplung aus Anlagen zur geothermischen Stromerzeugung) wird bis 2030 pro Dekade eine Verdreifachung erwartet. Nach 2030 wird der Ausbau mit langsam sinkenden Wachstumsraten fortgesetzt (Tabelle 5-17).

Tabelle 5-17: Beiträge der Geothermie zur Strom- und Wärmeversorgung

Endenergie	**2007**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Nutzungsart	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*	*in TWh/a*
Wärme	2,3	22	60	100	150
Strom	0,0004	4,9	14,8	37	93
Summe	**2,3**	**26,9**	**74,8**	**137**	**243**

5.4 POTENZIALE DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Bei der gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) können wesentlich höhere Brennstoffnutzungsgrade erzielt werden als bei der herkömmlichen Stromerzeugung (in Kondensations-kraftwerken). Die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung können daher durch den verstärkten Einsatz von KWK-Anlagen deutlich reduziert werden. Ohne einen massiven Ausbau der KWK können die klimapolitischen Ziele Deutschlands und der Europäischen Union nicht erreicht werden. Die von der Bundesregierung in Auftrag gegebene Studie zum nationalen KWK-Potenzial[35] belegt das große

[35] „Analyse des Nationalen Potenzials für den Einsatz hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung“ (2005), im Folgenden KWK-Studie genannt [47].

technische und volkswirtschaftliche AusbauPotenzial von KWK-Anlagen in Deutschland.

Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung ist in vielen Bereichen einsetzbar, von der industriellen Wärmeerzeugung über gewerbliche Anwendungsfälle (Gärtnereien, Schwimmbäder, Hotels etc.) bis zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden. Die Versorgung kann über Fern- bzw. Nahwärmenetze oder dezentrale Anlagen in direkter räumlicher Nähe zum Verbraucher erfolgen. Dabei steht praktisch für alle Leistungsbereiche eine ausgereifte KWK-Technik zur Verfügung [46] (siehe auch: [47], S. 21ff und [48], Kapitel 3.1).

Der KWK-Ausbau ist ein wesentlicher Bestandteil des Greenpeace-Szenarios bis 2050. Aufgrund der bereits ausführlich belegten Potenziale (vgl. [45] und [1]) geht das Greenpeace-Szenario bis 2020 über die Pläne der Bundesregierung hinaus, die eine Verdopplung der heutigen KWK-Stromerzeugung vorsieht. Dieses Ziel ist angesichts der vorhandenen Potenziale als „zu schwach“ zu bewerten und die für einen spürbaren KWK-Ausbau notwendigen Maßnahmen sind bislang nur zum Teil durch die Novellierung des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes (KWKG) in 2009 umgesetzt worden. Das KWKG bietet allerdings auch Anlass für einige Kritik (vgl. Kap. 6.4). Es ist daher zweifelhaft, ob das Verdopplungsziel der Bundesregierung durch die derzeit bestehende Förderung erreicht werden kann.

Dabei stehen einer schnellen Erschließung des KWK-Potenzials prinzipiell keine (technischen) Hindernisse im Wege, wie das Beispiel anderer Länder zeigt, in denen mit Abschaffung von Investitionshemmnissen ein klares politisches Signal gesetzt wurde und damit innerhalb eines Jahrzehnts ein deutlicher KWK-Ausbau erreicht wurde. [49]

CHARAKTERISTIK DES WÄRMEBEDARF UND ANNAHMEN IM GREENPEACE-SZENARIO

Im Haushalts- und GHD-Sektor sind nahezu 100 Prozent des Wärmebedarfs Niedertemperaturwärme (< 500°C), die *aus technischer Sicht* zu 100 Prozent über KWK bereitzustellen wäre [45]. Weiterhin gibt es für nahezu jeden Anwendungsfall schon heute bzw. absehbar in naher Zukunft (Klein-KWK) eine geeignete Anlage zur Deckung des Wärmebedarfs. Sinnvoll wird das technische Potenzial daher durch einen (volks-)wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen begrenzt, und damit indirekt durch die jährlichen Betriebszeiten (je höher desto besser). In der Regel werden heute für einen (betriebs-)wirtschaftlichen Anlagenbetrieb rund 5.000-6.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr vorausgesetzt. Unter volkswirtschaftlichen Aspekten (Einflussmöglichkeiten z.B. über KWKG), aber auch bei steigenden Strompreisen und im Fall der Klein-KWK durch zunehmende Marktreife und steigende Anlagenzahl (Kostendegression) reduziert sich diese notwendige Betriebsdauer. Im Szenario wurde mit einer

durchschnittlichen Vollaststundenzahl von 5.000 h/a (2020) gerechnet, die sich bis 2040 auf rund 4.300 h/a reduziert. Bis 2050 steigt die durchschnittliche Vollaststundenzahl wieder auf gut 5.000 h/a. Dies ist auch bedingt durch die Verlagerung von fossil gefeuerter KWK auf regenerative Anlagen, insbesondere durch den Beitrag der grundlastfähigen Geothermie. Prinzipiell können alle KWK-Anlagen auch für die Bereitstellung von Regelenergie eingesetzt werden, insbesondere bei Einsatz geeigneter Wärmespeicher.

Für die Potenzialanalyse wurden darüber hinaus folgende Randbedingungen berücksichtigt bzw. Annahmen getroffen:

- Der Gesamtwärmebedarf lag in 2007 bei etwa 1.275 TWh_{th}.
- Unter Berücksichtigung des Temperaturniveaus („KWK-fähiger" Bedarf unterhalb von 500°C: etwa 970 TWh) und der Abnahmestruktur können langfristig etwa 330 TWh_{th} über KWK bereitgestellt werden.
- Die heutige KWK-Wärmeerzeugung liegt bei etwa 160 TWh_{th}; die durchschnittliche Stromkennzahl der Bestandsanlagen beträgt etwa 0,5.
- Bis 2020 werden etwa 50 Prozent der heutigen Bestandsanlagen erneuert. Durch Einsatz effizienter KWK-Anlagen wird deutliche Erhöhung der Stromkennzahl σ auf durchschnittlich 0,7 bei fossiler KWK erreicht (Biomasse und Geothermie $\sigma \approx 0{,}5$).
- Bis 2030 wird von einer kompletten Erneuerung des heutigen Bestands ausgegangen, was zu einer Erhöhung der Stromkennzahl fossiler KWK-Anlagen auf 0,9 führt (Biomasse, Geothermie $\sigma \approx 0{,}6$).
- Der Anteil der fossilen KWK wird sukzessive durch Geothermie und Biomasse ersetzt, so dass in 2050 praktisch keine fossilen Brennstoffe mehr eingesetzt werden.

ENTWICKLUNG DER STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG IM GREENPEACE-SZENARIO

Aufgrund der zeitlichen Verzögerung und der unzureichenden Fördermaßnahmen wird das stromseitige KWK-Ausbauziel aus „Plan B" für 2020 von 170 TWh/a im aktualisierten Greenpeace-Szenario auf 157 TWh/a nach unten korrigiert. Entsprechend reduziert sich auch der Beitrag der KWK-Wärme von ursprünglich 270 TWh_{th}/a auf 250 TWh_{th}/a. Bei der Analyse des KWK-AusbauPotenzials in den Folgejahrzehnten wurde auch der sukzessive Rückgang des Wärmebedarfs durch die fortschreitende Effizienzerschließung berücksichtigt. So wird der größte Teil der wärmeseitigen KWK-Potenziale bis 2020 bzw. 2030 erschlossen (s. Tabelle 5-18).

Tabelle 5-18: Entwicklung der Wärmebedarfs-Deckung in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bis 2050 im Greenpeace-Szenario

in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
KWK-Wärme	**rd. 170***	**250**	**280**	**290**	**290**
Anteil am Nutzwärmebedarf	*13%*	*24%*	*33%*	*40%*	*48%*

**Abschätzung auf Basis der Werte des Jahres 2003 (nach [45])*

Die durchschnittliche Stromkennzahl[36] kann bis 2020 durch die anstehende Erneuerung der Bestandsanlagen deutlich gesteigert werden (heute rund 0,4 auf dann 0,7). Die erreichbare Stromkennzahl hängt von der eingesetzten Anlagentechnik ab. Beispielsweise können GuD-Heizkraftwerke der Fernwärmeversorgung relativ hohe Stromkennzahlen erreichen, während BHKW im kleinen Leistungsbereich heute noch mehr Wärme als Strom produzieren. Viele Anlagen, die regenerative Brennstoffe (z.B. Altholz- und Biogas-Heizkraftwerke) nutzen, haben ebenfalls heute noch etwas niedrigere Stromkennzahlen. Es ist zu erwarten, dass sich die durchschnittliche Stromkennzahl in den nächsten Jahrzehnten durch eine fortwährende Weiterentwicklung der heutigen KWK-Technologien weiter erhöhen wird. Bei nur geringfügig steigender Wärmebereitstellung kann daher die Stromerzeugung aus KWK zwischen 2020 und 2030 von 157 auf gut 200 TWh zunächst noch deutlich gesteigert werden (auch bedingt durch den Ersatz von Bestandsanlagen). Auf Grund der Umstellung von fossilen auf Erneuerbare Energien sinkt die KWK-Stromerzeugung ab 2030 auf knapp 140 TWh in 2050 (s. Tabelle 5-19).

Abbildung 5-10 zeigt den KWK-Ausbau bis 2050 im Greenpeace-Szenario sowie den Beitrag der KWK zur Deckung des Endenergiebedarfs an Strom.

[36] Verhältnis von Strom- zu Wärmeproduktion der KWK-Anlagen. Angestrebt wird eine möglichst hohe Stromkennzahl, da Strom die hochwertigere Energieform darstellt.

Tabelle 5-19: Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bis 2050 zur Deckung des Strombedarfs im Greenpeace-Szenario

in TWh/a	2007	2020	2030	2040	2050
KWK-Strom	**rd. 70**	**157**	**203**	**192**	**138**
davon fossil	n.b.	127	161	120	0
davon regenerativ	n.b.	30	42	72	138
Biomasse	n.b.	25	27	35	45
Geothermie	n.b.	5	15	37	93
Anteil am Endenergiebedarf	*13%*	*34%*	*46%*	*43%*	*30%*

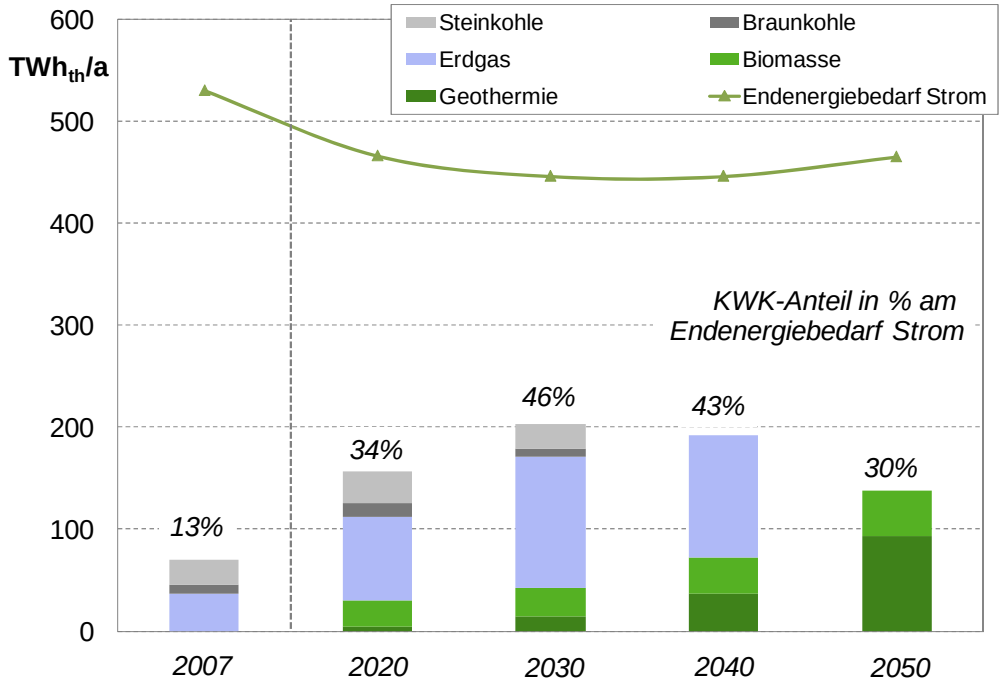


Abbildung 5-10: Entwicklung der Stromerzeugung in KWK nach Energieträgern im Greenpeace-Szenario

Die installierte elektrische KWK-Leistung[37] kann bis 2030 etwa verdoppelt werden (s. Tabelle 5-20). Der spätere Rückgang ist auf die niedrigere Stromkennzahl von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien zurückzuführen.

Tabelle 5-20: Entwicklung der KWK-Leistung zur Stromerzeugung bis 2050 im Greenpeace-Szenario

in GW	2003	2020	2030	2040	2050
Installierte el. KWK-Leistung	**22-38[38]**	**31**	**44**	**45**	**27**
davon fossil	n.b.	25	36	30	0,0
davon regenerativ	n.b.	6	8	15	27
Biomasse	n.b.	5	5	8	10
Geothermie	n.b.	1	3	7	17

5.5 POTENZIALE ZUR MINDERUNG ANDERER TREIBHAUSGASE

Das Kyoto-Protokoll nennt neben Kohlendioxid noch fünf andere Treibhausgase bzw. Treibhausgasgruppen mit z.T. deutlich höherem TreibhausgasPotenzial, deren Emissionen zu reduzieren sind: Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O, auch Lachgas genannt), Schwefelhexafluorid (SF_6), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKWs) und teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (H-FKWs). Letztere drei werden häufig auch unter dem Begriff „F-Gase“ zusammengefasst.

Aufgrund neuerer Berechnungsverfahren bei der Erstellung des Nationalen Inventarberichts 2009 (NIR 2009) wurde u.a. die Emissionsmenge des Jahres 2004 (Basisjahr „Plan B“) korrigiert. Laut NIR 2006, welcher als Grundlage für den „Plan B“ diente, wurden 2004 129,42 Mio. t CO_2-Äquivalente Nicht-CO_2 Treibhausgasemissionen ausgestoßen, gemäß NIR 2009 beträgt die Menge für das Jahr 2004 nur noch 117,29 Mio. t CO_2-Äquivalente ([9], [50]). Für das Jahr

[37] ausgehend von einem (angenommenen) Wert von rund 22 GW in 2007

[38] Die Angaben von Destatis und BAFA zur installierten Leistung des KWK-Bestands weichen erheblich voneinander ab, vgl. [45]. Unbestritten ist jedoch, dass unter den Bestandsanlagen ein großer Erneuerungsbedarf besteht. Dieses Potenzial ist in den Angaben für 2020 bis 2050 enthalten.

2007 (Basisjahr des Energiekonzepts 2050) gibt der NIR 2009 rund 115 Mio. t CO_2-Äquivalente an.[39]

„Plan B“ bezifferte das Reduktionspotenzial der Nicht-CO_2 Treibhausgasemissionen im Zeitraum von 2004 bis 2020 auf etwa 21,8 Mio. t CO_2-Äquivalente. Mit den im Maßnahmenkatalog genannten zusätzlichen Maßnahmen (siehe Kapitel 6) können diese Emissionen im aktualisierten Szenario bis 2020 auf 83,6 Mio. t auf gesenkt werden. Bis 2050 ist, unter Berücksichtigung langfristiger Maßnahmen zur natürlichen Sequestrierung, eine Reduktion auf rund 37,8 Mio. t möglich (s. Tabelle 5-21).

Tabelle 5-21: Rückgang der anderen Treibhausgase bis 2050 im Greenpeace-Szenario

Treibhausgas	***Quelle/Senke***	**2007**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
		in Mio. t CO_2-Äquivalenten				
Methan	*Viehhaltung, Dünger, Abfall, flüchtige Emissionen Erdgas und Kohle u.a.*	42,6	29,5	23,8	19,0	13,5
Distickstoffoxid	*Chem. Industrie, Dünger, Abwassser Verbrennungsprozesse, Histosolen u.a.*	55,2	43,1	37,6	33,2	28,1
F-Gase*	*HFC, PFC, SF_6*	17,2	12,0	7,0	3,0	0
CO_2	*Natürliche Sequestrierung*		-1,0	-2,0	-3,0	-3,8
Summe		**115**	**83,6**	**66,4**	**52,2**	**37,8**

**Angenommener Minderungspfad bis 2050 auf Basis von [51]*

Die aus der Tierhaltung und der damit verbundenen landwirtschaftlichen Nutzung entstehenden Emissionen können auch durch eine Änderung des Lebensstils weiter gesenkt werden. So hält Greenpeace eine Reduzierung des Fleisch- und Milchkonsums um rund 30 Prozent bis 2050 für möglich. Weitere Einsparungen können durch eine natürliche Sequestrierung in Form einer positiven

[39] Die vom UBA in [10] veröffentlichten Zahlen (s. Kapitel 2.2) weichen mit rund 116 Mio. t. unwesentlich davon ab.

Humusbilanz bei der Bodennutzung erzielt werden (also durch eine Ausnutzung des CO_2-Einspeicherungsvermögens des Bodens über Humusaufbau, z.B. durch den verstärkten Anbau humusmehrender Pflanzen). Bezogen auf die Ackerfläche in Deutschland erscheint hier eine langjährige CO_2-Bindung von bis zu knapp 4 Mio. t/a realistisch [17].

Die F-Gas-Emissionen (HFKW, FKW und SF_6) können nach einer Untersuchung der Öko-Recherche GmbH aus heutiger (technischer) Sicht bis 2050 auf knapp 1,0 Mio. t CO_2-Äquivalente gesenkt werden [51]. Greenpeace fordert im Bereich der F-Gase ein ambitioniertes Handeln und Ausschöpfen aller heutigen und zukünftigen Möglichkeiten zur F-Gas-Reduktion mit dem Ziel, die heutigen Emissionen bis 2050 auf nahezu Null zu minimieren.

6 MAßNAHMENKATALOG – UPDATE

Die deutsche Energiepolitik bietet derzeit ein sehr heterogenes Bild ([8], S. 56 ff.). Auf der einen Seite gibt es seitens der Politik, insbesondere abgeleitet von den CO_2-Minderungszielen, relativ klare Zielvorgaben für Effizienzsteigerungen, den Ausbau der KWK und der Erneuerbaren Energien sowie für die zu erreichenden Emissionsminderungen im Individualverkehr. Auf der anderen Seite bedarf die Erfüllung dieser Ziele geeigneter energiepolitischer Rahmenbedingungen, Instrumente und Maßnahmen, über die gegenwärtig kein politischer Konsens herrscht. Neben z.T. erheblichen Meinungsverschiedenheiten über die Wahl und Ausgestaltung von Maßnahmen verfolgen verschiedene Akteure, insbesondere in der Energie- und Automobilwirtschaft, Strategien, die den Zielsetzungen der Bundesregierung klar widersprechen bzw. ihre Erfüllung erschweren (siehe auch Kapitel 11, Stellungnahme zum Thema „Sicherheit der Stromversorgung").

Mit dem IKEP hat die Bundesregierung eine Vielzahl begrüßenswerter Maßnahmen ergriffen. Diese Maßnahmen werden allerdings vielfach unvollständig umgesetzt oder sind im Laufe des Politikprozesses stark verwässert worden. Die aus dem Programm resultierenden Emissionssenkungen werden somit deutlich unter dem ursprünglich angestrebten Zielwert der Bundesregierung von 270 Mio. t CO_2/a[40] (gegenüber 2006) liegen. Da wegen des bisherigen Dauerstreits zwischen BMU und BMWi im Wahljahr 2009 nicht mehr mit einem dritten IKEP-Paket zu rechnen sein dürfte, stellt sich die Frage, welche Verschärfung bestehender Maßnahmen und welche neuen Maßnahmen notwendig sind, um die in dieser Untersuchung zugrunde gelegten ambitionierten Emissionsminderungsziele zu erreichen.

Im Verlauf der Erarbeitung, Umsetzung und Verabschiedung der zwei IKEP-Pakete hat der Bundesumweltminister selbst mehrmals eingestanden, dass mit den bisher verabschiedeten und den anstehenden IKEP-Maßnahmen die erforderliche Reduktion der CO_2-Emissionen nicht zu erreichen sein wird. EUtech bezifferte im November 2007 im Auftrag von Greenpeace die mögliche CO_2-Emissionsminderung bis 2020 durch das IKEP auf max. 160 Mio. t CO_2/a (EUtech, 2007). Diese Annahme muss nach heutigem Stand um nochmals 15 - 30 Mio. t CO_2/a nach unten korrigiert werden (vgl. [48]). Demnach ist lediglich die Hälfte der von der Bundesregierung in Aussicht gestellten CO_2-Emissionsminderungen bis 2020 tatsächlich zu erwarten. Das entspricht einem

[40] CO_2-Äquivalente

CO_2-Reduktionsziel von knapp unter 30 Prozent gegenüber 1990, wobei knapp 20 Prozent bereits im Zeitraum bis 2006 realisiert worden sind. Als Ursache festgestellt werden können u.a. erhebliche Defizite in der Verbindlichkeit der eingeleiteten Maßnahmen und damit große Zweifel an der Wirksamkeit. Große Handlungsdefizite konnten schwerpunktpunktmäßig in den folgenden Bereichen identifiziert werden:

- Rationeller Stromeinsatz (Industrie, HH, GHD)
- Energieerzeugung (Neubau von Kohlekraftwerken)
- Wärmebedarf im Gebäudebereich
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Verkehr (Schwerpunkt: motorisierter Individualverkehr)
- Nicht-CO_2-Treibhausgase.

Gutachter des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (FhG ISI) und des Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) haben in ihrer Studie „Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland“ (2008) im Auftrag des BMU u.a. berechnet, welche Treibhausgasminderungen, induzierte Investitionen und spezifische Vermeidungskosten mit den Maßnahmen des Meseberg Programms vom August 2007 bis 2020 verbunden sind (siehe [7], Tabelle 2, S. 18 bzw. [52], Tabelle 4-3, S.140).

Die Berechnungen liefern konkrete Hinweise auf Handlungsschwerpunkte, die durch hohe Emissionsreduktionen in Verbindung mit negativen bzw. gering positiven Vermeidungskosten charakterisiert sein sollten. Hierzu gehören demnach: energieeffiziente Produkte, Energiemanagement in der Industrie, Maßnahmen im Gebäudebereich, die CO_2-Strategie PKW, die KWK sowie die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, wobei nur der Ausbau der KWK und der Erneuerbaren Energien keine negativen Vermeidungskosten aufweisen. Es ist erkennbar, dass hier eine weitgehende Deckungsgleichheit mit den o.g. Handlungsfeldern existiert.

Im Folgenden wird – basierend auf „Plan B“ – ein Update des Maßnahmenkatalogs durchgeführt. Die ausgewählten Maßnahmen werden als zentrale Bausteine eines zukünftigen Klimaschutzprogramms betrachtet und werden jeweils einem der fünf genannten übergeordneten Einsparbereiche zugeordnet.

6.1 RATIONELLER STROMEINSATZ

Im Kabinettsbeschluss der Bundesregierung vom 5.12.2007 werden die CO_2-Einsparungen im Strombereich – in Anlehnung an die Berechnungen des UBA [53]– nur noch auf rund 25 Mio. t CO_2 beziffert. Das Einsparziel von 11 Prozent Stromeinsparung (d.h. 72 TWh in 2020, siehe Umweltbundesamt, Klimaschutz in Deutschland: 40 Prozent-Senkung der CO_2-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990, Mai 2007) wird nicht mehr erwähnt. Tatsächlich entspräche eine Einsparung von 25 Mio. t CO_2 nur einer Stromeinsparung von 45 TWh oder 7,4 Prozent [48]. Zur Erschließung der weiterhin bestehenden umfangreichen Effizienzpotenziale in den Sektoren Industrie sowie Private Haushalte und GHD werden daher die folgenden Maßnahmenschwerpunkte vorgeschlagen.

6.1.1 INDUSTRIE

Trotz eines großen Angebots technisch ausgereifter, sehr effizienter Anlagen ist die in der Industrie eingesetzte Technik oft veraltet, und viele wirtschaftliche Einsparpotenziale werden aus Unkenntnis nicht erschlossen. Selbst bei Neuanschaffungen werden häufig die EffizienzPotenziale nicht oder nicht vollständig ausgeschöpft, da auch angebotsseitig tendenziell die günstigere Investition mit den langfristig höheren Betriebskosten der effizienteren Technologie vorgezogen wird. Im Hinblick auf die Einführung moderner Energiemanagementsysteme wurden bislang ebenfalls noch keine unterstützenden (verbindlichen) Maßnahmen von der Bundesregierung umgesetzt. Eine Vereinbarung mit der deutschen Wirtschaft über die Kopplung von Steuererleichterungen und die Einführung solcher Systeme ist in der Diskussion, ein entsprechendes Gesetz wird jedoch nicht mehr in der laufenden Legislaturperiode verabschiedet werden. Neben einem noch offenen Verhandlungsergebnis wird allerdings bereits jetzt klargestellt, dass es den Unternehmen selbst überlassen bleibt, über die Umsetzung der ermittelten Potenziale zu entscheiden.

Maßnahme 1: *Mindest-Effizienz-Standards* für elektrische Antriebe, Kompressoren, Beleuchtungsanlagen etc. zur weitgehenden Erschließung des Effizienzpotenzials bei den Querschnittstechniken mit dem Ziel einer absoluten Reduktion des Strombedarfs der Industrie um 11 Prozent bis 2020. Innerhalb einer festzulegenden Übergangszeit müssten alle betroffenen Bestandsanlagen in der Industrie diese Benchmarks (nachprüfbar) einhalten. Stichprobenartige Prüfungen durch Sachverständige müssten vorgesehen bzw. in bereits bestehende Prüfungen eingebettet werden.

Maßnahme 2: *Einführung von Verbrauchsgrenzwerten für neue elektrische Anlagen.* Dies verlangt die Erstellung eines umfangreichen Anlagenkatalogs, der Kompressoren, Kältemaschinen, Motoren, Leuchtmittel u.v.a. erfasst und in Effizienzklassen einteilt, sowie ein Verbot des Verkaufs von Geräten und Anlagen, die nicht in die zwei jeweils höchsten Effizienzklassen fallen (Top-Runner-Prinzip). Die Maßnahme schließt auch den Wärmebereich ein, z.B. durch die Verpflichtung zum Einbau einer Wärmerückgewinnung bei neuen Lüftungsanlagen ab einer gewissen Größe und Betriebsdauer oder die Standard-ausrüstung von neuen Dampf- und Heißwasserkesseln mit einem Economizer.

Maßnahme 3: *Bindung von Steuererleichterungen für Unternehmen an die Einführung moderner Energiemanagementsysteme.* Energietransparenz ist eine unbedingte Grundlage für die Identifizierung von Energieeinsparpotenzialen. Die Einführung eines gut funktionierenden, übersichtlichen Energiemanagementsystems führt erfahrungsgemäß – neben einer Sensibilisierung der Mitarbeiter für die Thematik – zu direkten Energie(kosten)einsparungen im einstelligen Prozentbereich. Darüber hinaus ermöglicht Energietransparenz auch die Quantifizierung bekannter Einsparpotenziale und damit den Nachweis der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme, was i.d.R. das ausschlaggebende Argument für eine Umsetzung ist. Bei vielen Unternehmen machen die Energiekosten auch heute nur einen unteren einstelligen Anteil der Produktionskosten aus, so dass mit der Kopplung eines zertifizierten[41] Energiemanagementsystems an die Gewährung von Steuererleichterungen auch ein zusätzlicher Anreiz für die

[41] Die Einführung eines Energiemanagementsystems allein ist nicht ausreichend zur Erzielung nennenswerter Vorteile (hinsichtlich Energietransparenz und Energie-(kosten)einsparung). Entscheidend ist vielmehr die Qualität des installierten Systems, die Anpassung an die Bedingungen des jeweiligen Produktionsstandortes und die Schulung der verantwortlichen Mitarbeiter. Zur Qualitätssicherung, die eng mit der gewünschten Einsparwirkung verknüpft ist, erscheint eine Zertifizierung daher unerlässlich. Dennoch sollte bei der Umsetzung eines entsprechenden Gesetzes darauf geachtet werden, dass sich der administrative Aufwand in Grenzen hält und die Kosten für das Unternehmen in einem vertretbaren Verhältnis zum erwartbaren Nutzen stehen.

intensivere Beschäftigung von Unternehmensleitung und Mitarbeitern mit der Thematik geschaffen werden kann.

6.1.2 PRIVATE HAUSHALTE UND GHD

Mit der sog. *Ökodesign-Richtlinie*[42] hat die EU im Jahr 2005 die gesetzlichen Grundlagen für europaweite Energieeffizienzstandards für energieverbrauchende Produkte geschaffen. Die Richtlinie wurde in Deutschland mit dem Inkrafttreten des Gesetzes über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EBPG) am 7. März 2008 in nationales Recht umgesetzt. Mit den Verordnungen der EU-Kommission zu Standby-Verbrauch[43] und zu Set-Top-Boxen[44] wurden erste sog. Durchführungsmaßnahmen realisiert, für weitere Gerätegruppen sind diese in Vorbereitung.

Bezüglich der *Verbesserung der Gerätekennzeichnung* (sogenanntes Labeling) enthalten die Meseberg-Beschlüsse nur noch das Bekenntnis, bei der EU-Kommission die Aktualisierung und Ausweitung der Pflichtkennzeichnung in der Labeling-Richtlinie einfordern zu wollen [2]. Sehr kritisch ist die Verwässerung des ursprünglich diskutierten Ziels einer verpflichtenden Effizienzkennzeichnung von elektrischen Geräten durch eine freiwillige Vereinbarung mit Herstellern, Importeuren und Händlern zu beurteilen, da bei fehlender bindender Ausgestaltung und Kontrolle nur mit einer beschränkten Wirkung zu rechnen ist [54].

Maßnahme 1: *Umsetzung der EU-Energieeffizienz-Dienstleistung-Richtlinie:* Verabschiedung eines wirksamen nationalen Energieeffizienzgesetzes (EnEfG).

Maßnahme 2: *Einführung einer verbindlichen und aussagekräftigen Energieverbrauchskennzeichnung*. Regelmäßige Anpassung der Kennzeichnung alle zwei Jahre (Einführung einer Top-Runner-Dynamisierung).

---

[42] Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Anforderung an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates [55]

[43] Nr. 1275/2008 vom 17.12.2008

[44] Nr. 107/2009 vom 04.02.2009

6.2 WÄRMEBEDARF IM GEBÄUDESEKTOR

Es besteht weitgehender Konsens über einen großen Handlungsbedarf im Gebäudesektor. Dabei haben die Erfahrungen der Vergangenheit gezeigt, dass Einzelmaßnahmen in einen entsprechenden Rahmen übergreifender Maßnahmen eingebettet sein sollten, um eine systematische, umfassende und möglichst schnelle Erschließung der Einsparpotenziale sicherzustellen. Das Forschungszentrum Jülich (siehe [56], S.129 f.) nennt in diesem Zusammenhang die folgenden übergreifenden Maßnahmen:

- Definition klarer Zielvorgaben für die Reduktion der CO_2-Emissionen im Gebäudesektor bis 2020 bzw. 2030
- Ausrichtung der Instrumente und Maßnahmen an diesen Reduktionszielen zur Aufhebung der Verunsicherung
- Sichere Aussagen zur mittelfristigen Förderung der energetischen Sanierungen und der Erneuerbaren Energien (mindestens 5 Jahre)
- Erhöhung der Nachfrage nach energetischen Sanierungsmaßnahmen durch eine verbesserte Förderung
- Einführung eines Zertifikats für nachhaltiges Bauen unter Berücksichtigung der Energieausweise für Neu-und Altbauten
- Beschleunigung der Sanierungen im Mietwohnungsbau
- Sicherstellung der Realisierung der Ziele bzgl. des Anteils der Erneuerbaren Energien sowie der Energieeffizienz und der Emissionseinsparungen durch regelmäßige Monitoringberichte.

Das Bundeskabinett hat am 18. März 2009 die Novelle der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) mit den Maßgaben des Bundesrates vom 6. März 2009 beschlossen. Sie soll im Herbst 2009 in Kraft treten. Dann gilt u.a.: Bei der Errichtung neuer Wohn- und Nichtwohngebäude wird die Obergrenze für den zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf um etwa 30 Prozent gesenkt. Bei größeren Umbaumaßnahmen (umfassende Modernisierung) an Bestandsgebäuden kann der Bauherr zwischen zwei Alternativen wählen (Verbesserung der Anforderungen an einzelne Bauteile um durchschnittlich 30 Prozent oder Senkung des Jahres-Primärenergiebedarfs des Gebäudes um insgesamt 30 Prozent). Bis Ende 2011 müssen ferner begehbare Geschossdecken gedämmt werden, wenn das Dach ungedämmt ist. Nachtstromspeicherheizungen müssen ab dem Jahr 2020 schrittweise außer Betrieb genommen werden, und die Einhaltung der Vorschriften bei der Modernisierung von Gebäuden muss von Seiten der Unternehmen bestätigt werden (sogenannte Unternehmererklärungen). Die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen bei heizungstechnischen Anlagen wird durch Sichtkontrollen der

Bezirksschornsteinfegermeister überwacht. Schließlich sind Verstöße gegen bestimmte Anforderungen der EnEV zukünftig eine Ordnungswidrigkeit. Abgelehnt hat der Bundesrat ein Verbot von Durchlauferhitzern (siehe [57]).

Insgesamt kann durch die EnEV 2009 das enorme Einsparpotenzial im Gebäudebestand nicht erschlossen werden. Als wesentliche Gründe sind in diesem Zusammenhang die Beschränkung auf „umfassende Modernisierungen“ sowie die nicht ausgeschöpften Möglichkeiten im Vollzug (Rückgriff auf private Nachweispflichten statt der Einführung stichprobenartiger Kontrollen) zu nennen. Auch der Ersatz von Nachtspeicherheizungen wird durch die lange Fristenregelung der EnEV 2009, das CO_2-Gebäudesanierungsprogramm und die Selbstverpflichtung der Industrie (siehe [54], s. 9 f.) nicht ausreichend gefördert.

Außerdem ist festzuhalten, dass das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), das eine Baupflicht für erneuerbare Wärmeanlagen vorsieht, nur noch für Neubauten und nicht mehr für die grundlegende Modernisierung von Gebäuden gilt. Mit dem Nutzungspflichtmodell (Pflichtanteil von 15 Prozent Erneuerbare Energien im Neubau) statt des sog. Bonusmodells wurde ferner nur der zweitbeste Ansatz gewählt [54].

Um den Wärmebedarf im Gebäudesektor substantiell zu senken, wird der Umsetzung der folgenden drei Einzelmaßnahmen eine zentrale Bedeutung beigemessen:

Maßnahme 1: *Verbesserung der Vollzugsvorschriften im Rahmen der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009)* im Sinne verschärfter Vollzugskontrollen und einer Verstärkung der Gebäudeaufsicht

Maßnahme 2: *Verschärfung der Energieeinsparverordnung 2009 im Bereich der Nachtstromspeicherheizungen*. Es werden eine deutlich kürzere Fristenregelung für die Außerbetriebnahme von Nachtspeicherheizungen (maximal 10 Jahre) sowie die Aufstockung des CO_2-Gebäudesanierungsprogramms (in Höhe von mindestens 500 Mio. €/a) gefordert. Ergänzend sollte eine Ausweitung auf alle elektrischen Heizungen sowie die elektrische Warmwasserbereitung erfolgen. [58]

Maßnahme 3: *Einführung eines Bonusmodells im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz unter Einbeziehung von Bestandsgebäuden* (siehe [1], S. B viii). Dieses verspricht die größte Wirksamkeit, sieht eine spezifische Förderung aller regenerativen Wärmetechnologien vor, unterstützt den Ausbau

von Wärmenetzen und stellt die Einhaltung notwendiger Umweltstandards beim Ausbau Erneuerbarer Energien sicher.

6.3 AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEN (STROM)

Um den Ausbau der geothermischen Stromerzeugung gemäß den vorhandenen, großen Potenzialen voranzutreiben, ist eine zukünftige Nutzungskonkurrenz zwischen Geothermievorhaben und der Einlagerung von CO_2-Emissionen aus fossilen Kraftwerken (CCS – Carbon Capture and Storage) auszuschließen. Dies entspricht auch den Forderungen des Bundesverband Geothermie e.V. [59]. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) fordert in seiner Stellungnahme zum Kohlendioxid-Speicher-Gesetz (KSpG) darüber hinaus einen volkswirtschaftlich optimalen Einsatz der begrenzten Ressource „Speicherkapazität". Weiterhin verweist der SRU darauf, dass es nach den neuesten Erkenntnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) notwendig sein wird, in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts weltweit negative Nettoemissionen zu erreichen. Dies ist z.B. durch die Kombination von Biomasse-Nutzung mit CCS erreichbar, während die Kombination von Kohlekraftwerken mit CCS zwar zu einer Emissionsminderung führt[45], prinzipiell aber dennoch positive Nettoemissionen aufweist. [60]

Maßnahme: *Vorrang der Geothermienutzung gegenüber CCS-Vorhaben sicherstellen - Änderung des Kohlendioxid-Speicher-Gesetz (KSpG)* :

Keine Erteilung von Untersuchungsgenehmigungen für CCS-Vorhaben auf Flächen, für die bereits eine bergrechtliche Berechtigung (Aufsuchung/Gewinnung) für eine Geothermienutzung besteht. Desweiteren sollte eine Geothermie-Vorrang-Regelung vorgesehen werden für die Bereiche, in denen bislang weder eine CCS- noch eine Geothermienutzung gegeben ist.

Prinzipiell ist die CCS-Nutzung in Verbindung mit Kohle-Kondensationskraftwerken aus o.g. Gründen aus Sicht von Greenpeace abzulehnen.

---

[45] Dies geschieht auf Kosten des Wirkungsgrades, d.h. zur Erzeugung der gleichen Menge an Strom ist dann ein deutlich größerer fossiler Brennstoffeinsatz erforderlich. Es muss dann also über CCS auch erheblich mehr CO_2 eingelagert werden, als bereits heute bei der Stromerzeugung in Kohlekraftwerken entsteht.

6.4 AUSBAU KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Für einen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung wie im Greenpeace-Szenario vorgesehen sind finanzielle Anreize notwendig, die deutlich über die Förderung des novellierten KWK-Gesetzes (2009) hinausgehen. Diverse Studien und Analysen bestätigen, dass auch das von der Bundesregierung geplante Ausbauziel, welches deutlich hinter den Potenzialen (BEI) und den Ausbau-Forderungen von Greenpeace zurückbleibt, mit der derzeitigen Ausgestaltung des KWK-Gesetzes (2009) aller Voraussicht nach nicht erreicht werden wird. (vgl. [61]; [62] u.v.a.)

Maßnahme 1: *Verbesserung des KWK-Fördergesetzes:* Anpassung der Fördersätze des KWK-Gesetzes, so dass die hocheffiziente und nachhaltige gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung (auch in größeren KWK-Anlagen) für die potenziellen Betreiber grundsätzlich wirtschaftlicher ist als der (Weiter-)Betrieb von reinen Anlagen zur Strom- oder Wärmeerzeugung. Die heutige Deckelung des gesamten Fördervolumens ist in diesem Zusammenhang nicht zielführend und muss gestrichen werden. Vielmehr sind im Sinne des Klimaschutzes sowohl der Wärmenetzausbau wie auch der Ausbau der Erzeugungsanlagen den Potenzialen entsprechend voranzutreiben.

Maßnahme 2: Um den Ausbau der KWK in der Industrie voranzutreiben, sollte zudem eine schnelle *Änderung des neuen KWK-Gesetzes* hinsichtlich der (derzeit reduzierten) Vergütungsdauer bei betrieblicher Wärmenutzung vorgesehen werden. Die zentrale Anforderung muss auch hier sein, dass die KWK-Eigenerzeugung für Unternehmen wieder grundsätzlich wirtschaftlicher wird als der getrennte Bezug von Wärme und Strom. Dieses muss durch Marktinterventionsmechanismen wie dem KWK-Gesetz sichergestellt werden.

Maßnahme 3: Unterstützend wird der *verstärkte Anschluss öffentlicher Liegenschaften an Fernwärmenetze* als wichtiges öffentliches Signal gefordert, sowie eine *umfassende Festlegung von verpflichtenden Fernwärmeanschlussgebieten in den Satzungen von Städten und Kommunen* (soweit verfassungsrechtlich zulässig). Dies setzt eine (ebenfalls verpflichtend durchzuführende) detaillierte Analyse des Fern- bzw. Nahwärmepotenzials auf kommunaler Ebene voraus.

6.5 VERKEHRSSEKTOR

Im Bereich des motorisierten Individualverkehrs (MIV) werden mit der sukzessiven Verlagerung von Fahrleistung auf den Öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) sowie den Technologiewechsel hin zu alternativen CO_2-freien Fahrzeugen zwei entscheidende Forderungen gestellt. Um diese zu erfüllen, müssen durch die Politik geeignete Voraussetzungen und Anreize geschaffen werden. Die meisten Maßnahmen für den MIV können dabei auf den ÖPV übertragen werden.

6.5.1 MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR

Die verkehrsbedingten Emissionen sind zwar seit 1990 um rund 6,6 Prozent zurückgegangen, Entwicklungsprognosen gehen jedoch davon aus, dass die Personenverkehrsleistung insgesamt wieder ansteigen wird. Bislang ist folglich keine grundlegende Trendwende erkennbar, um mittelfristig signifikante Emissionsminderungen im Verkehrssektor zu erreichen.

Maßnahme 1: *Ausbauplan öffentliche Infrastruktur-Maßnahmen:* Der notwendige Ausbau des ÖPV bzw. die Entwicklung emissionsfreier Städte (s.u.) stellt hohe Anforderungen an die Politik bezüglich der Schaffung geeigneter Voraussetzungen und Anreize. Umfangreiche Infrastruktur-Maßnahmen zur Verlagerung von Fahrleistung des MIV auf den ÖPV müssen jetzt geplant und die Finanzmittel dafür sichergestellt werden.

Maßnahme 2: *Maßnahmenplan für emissionsfreie Städte:* Bereits heute bestehen in Deutschland autofreie Zonen. Beispiele hierfür sind die ostfriesische Inseln, Hiddensee sowie Stadtteile, die ganz oder zeitweise autofrei sind wie z.B. in Freiburg, Erlangen, Hamburg, München, Köln. Zunehmend mehr Stadtteile werden für ein „autofreies Wohnen“ konzipiert. Viele autofreie Zonen können durch Fahrbeschränkungen und den parallelen Ausbau des ÖPV erweitert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Entwicklung emissionsfreier Städte ist neben einem (Ein-)Fahrverbot auch die Einführung einer Maut in Innenstädten nach dem Vorbild von London [63]. Die dort eingeführte „Congestion charge“ umfasst eine Maut für Autoverkehr in der Innenstadt von Montag bis Freitag zwischen 7 h und 18 h. Hierdurch wurde ein Rückgang des Pkw-Verkehrs um 20 Prozent erreicht. Parallel konnten die Staus um 30 Prozent reduziert werden. Die Maut wurde dabei von einem Ausbau des ÖPNV begleitet. Die in vielen deutschen Städten bereits

bestehenden Umweltzonen können durch eine Maut und den parallelen Ausbau des ÖPV entsprechend erweitert werden.

Maßnahme 3: Der erforderliche *Technologiewechsel hin zu alternativen CO_2-freien Fahrzeugen* muss durch konsequente Förderung sowie steuerliche Anreize für CO_2-arme Fahrzeuge unterstützt werden. Da der Technologiewechsel jedoch erst mittelfristig erfolgen kann, müssen bereits heute kurzfristige Maßnahmen an der bestehenden Technologie ansetzen. Hierfür sind gesetzlich vorgegebene Obergrenzen für den CO_2-Ausstoß sowie für das Gewicht von Neufahrzeugen erforderlich. Bei einer Überschreitung der Obergrenzen sind entsprechende Strafzahlungen durch die Hersteller vorzusehen (derzeit 150 €/(g CO_2 a)). Auch die Einführung eines Tempolimits in Deutschland (auf 120 km/h begrenzt) muss durchgesetzt werden. [1]

Maßnahme 4: *Ökologische Reform der Dienstwagenbesteuerung*

Betriebsausgaben für Firmenwagen können vollständig steuermindernd geltend gemacht werden, und privat genutzte Dienstwagen werden nur gering (pauschal) besteuert. Etwa die Hälfte aller Neuwagen, bei sog. Oberklassewagen sowie bei Geländewagen sogar über 70 Prozent, werden als Dienstwagen angemeldet, von denen über 60 Prozent anteilig oder ausschließlich privat genutzt werden. Ein Anreiz, einen verbrauchsarmen Pkw als Dienstwagen zu kaufen, oder die stärkere Förderung umweltverträglicherer Verkehrsmittel seitens der Unternehmen (z.B. Mitfahrgemeinschaften oder Firmentickets für den ÖPNV) kann nur durch eine ökologische Reform der Dienstwagenbesteuerung erzielt werden.

6.5.2 ÖFFENTLICHER PERSONENVERKEHR (ÖPV)

Die Anforderungen für den ÖPV entsprechen den bereits oben genannten Punkten.

6.5.3 GÜTERVERKEHR

Für den Güterverkehr wird in den nächsten Jahren ein deutlicher Zuwachs erwartet. Bislang gibt es zwar zahlreiche Überlegungen und Konzepte, allerdings keine ausgereiften und erprobten Lösungen, die eine umfangreiche Verlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Schiene ermöglichen würden.

Maßnahme 1: *Pilotphase für alternative Konzepte:* Auch im Bereich des Güterverkehrs ist eine signifikante Verlagerung insbesondere von Lkw auf Schiene notwendig. Neue, vielversprechende Konzepte für den Schienengüterverkehr müssen in den nächsten Jahren in Pilotphasen getestet werden, um in 2020 als einsatzfähige Alternativen zur Verfügung zu stehen. Entsprechende Finanzmittel hierfür müssen bereitgestellt werden. In diesem Zusammenhang kann das erfolgreiche Schweizer Modell der Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene als Vorbild dienen. Erforderlich sind dazu eine entsprechende Infrastruktur, der intensive Wettbewerb im Bahnmarkt sowie verursachergerechte Schwerverkehrs-abgaben. Daher enthält das Schweizer Modell seit 2002 eine leistungsabhängige Schwerlastverkehrsabgabe (LSVA), die deutlich höher ausfällt als die deutsche Autobahnmaut und auf allen Straßen sowie für alle Lastwagen gilt. Deren Berechnungsgrundlage folgt dabei der Frage, welche Kosten der Lkw-Verkehr für Mensch und Natur nach sich zieht. ([64], [65])

Maßnahme 2: *Verpflichtender Transport über die Schiene ab einer bestimmten Entfernung*: Nach dem Schweizer Vorbild (LKW-Transit-Verkehr erfolgt über die Schiene) bietet sich auch in Deutschland die Festlegung eine Grenzentfernung an, ab der ein Gütertransport über die Schiene erfolgen muss (z.B. ab 500 km).

Maßnahme 3: *Einsatz von Agrokraftstoffen:* Dieser muss im Güterverkehr auch durch die Motorenhersteller mitgetragen werden. Eine Anpassung der Motoren an Agrokraftstoffe ist technisch kurzfristig umsetzbar, da bereits umfassende Erfahrungen mit Agrokraftstoffen bei Pkw-Motoren bestehen.

6.6 UMSTRUKTURIERUNG UND ERNEUERUNG DES KRAFTWERKSPARKS

Maßnahme 1: Zur Realisierung des langfristigen Ziels einer Absenkung der Emissionen auf nahezu Null ist eine Steigerung der kurz- und mittelfristigen Bemühungen und die Anpassung des „Zwischenziels“ für 2020 erforderlich. Dieses muss noch ehrgeiziger sein als bislang vorgesehen (vgl. Kapitel 7). Im Rahmen des europäischen Emissionshandels wird daher eine

Reduktion des EU-weiten CAPs für 2020 gefordert, welche eine Verschärfung der Ziele Deutschlands impliziert.

Maßnahme 2: *Fortführung der sogenannten Doppelzuteilung von Emissionszertifikaten für emissionshandelspflichtige KWK-Anlagen auch nach 2012* (Zuteilung für die Strom- *und* Wärmeproduktion). Die Einbeziehung der KWK-Anlagen in den Emissionshandel soll den Ausbau der hocheffizienten Technik, die in direkter Konkurrenz zu den Kondensationskraftwerken steht, tendenziell fördern, indem ihr Beitrag zum Klimaschutz in angemessenem Maße berücksichtigt wird. Keinesfalls darf der Emissionshandel das ausschlaggebende Argument gegen die Erschließung weiterer Versorgungsgebiete sein.

Maßnahme 3: *Aufhebung der Nicht- oder geringen Besteuerung von Kohle und sukzessiver Ausstieg aus der Kohlenutzung bis 2040 (Kohle-Ausstiegsgesetz*[46]*)*

Die Nichtbesteuerung bzw. deutlich geringere Besteuerung von Kohle verletzt aus Sicht von Greenpeace die Gleichbehandlung von Öl, Erdgas und Kohle auf dem Wärmemarkt. Greenpeace fordert daher eine schrittweise Erhöhung der Steuer auf Kohle zur Wärmeerzeugung. Weiterhin müssen die energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen für einen schrittweisen Ausstieg aus der Kohlenutzung geschaffen werden.

Maßnahme 4: *Einführung einer Kernbrennstoffsteuer und Besteuerung der Rückstellungen für die Stillegung*

Mit Inkrafttreten des Energiesteuergesetzes (2006) entfiel die Besteuerung von Brennstoffen zur Stromerzeugung und damit auch die Besteuerung der Kernenergie. Ähnlich der in Schweden erhobenen Steuer auf die installierte thermische Leistung von Kernkraftwerken fordert Greenpeace die Einführung einer Kernbrennstoffsteuer, die dem Äquivalent von zunächst 1 Cent/kWh entspricht.

[46] Greenpeace hat im November 2008 einen Vorschlag für ein „Gesetz über die geordnete Beendigung der CO_2-intensiven Steinkohle- und Braunkohleverstromung“ vorgelegt.

Weiterhin sollte die Ansparzeit der Rückstellungen entsprechend der durchschnittlichen Laufzeit eines Kernkraftwerkes gemäß Kernenergieausstiegsgesetz von 26 auf 32 Jahre verlängert werden, um den Zinsvorteil der Betreiber zwischen Ansparphase und Stilllegungsjahr, der sich nur grob auf 175-800 Mio. €/a schätzen lässt, zu minimieren. Alternativ könnte eine Überführung der Rückstellungen für die Entsorgung in einen öffentlich verwalteten Fonds vorgenommen werden.

Maßnahme 5: *Beendigung der Subvensionierung des Braunkohletagebaus*

Unternehmen des Braunkohletagebaus sind von der Zahlung von Wasserentnahmeentgelten sowie den Abgaben für die Förderung von Bodenschätzen freigestellt. Die monetären Vorteile dieser verbilligten Ressourcen-Nutzung belaufen sich auf schätzungsweise 200 Mio. €/a [66] Aus Gründen des Klimaschutzes sind diese Vorteile nicht zielführend, daher wird die Einführung des Wasserentnahmeentgeltes und der Förderabgabe Bodenschätze für Unternehmen des Braunkohletagebaus gefordert.

6.7 ANDERE TREIBHAUSGASE

Zu den Eckpunkten des IKEP gehört auch die "Reduktion der Emissionen fluorierter Treibhausgase (sog. F-Gase)" mit vier Maßnahmenvorschlägen [67]:

- Erlass einer Chemikalien-Klimaschutzverordnung
- Maßnahmen, die zu einem vorzeitigen Wechsel von F-Gas-Klimaanlagen zu Klimaanlagen mit einem GWP-Wert deutlich unter 150 bei neuen Pkw führen
- Förderung der Entwicklung und Markteinführung von besonders energieeffizienten und klimafreundlichen Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln
- Fortschreibung der EG-Regelungen zu den F-Gasen.

Am 1. August 2008 ist die Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluorierter Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung – ChemKlimaschutzV) in Kraft getreten.[47]

Mit dieser Verordnung können allerdings maximal 1 Mio. t $CO_{2äq}$ eingespart werden [48]. Zur „Förderung der Entwicklung und Markteinführung von besonders energieeffizienten und klimafreundlichen Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln“ hat das BMU ferner das Klimaschutz-Impulsprogramm für gewerbliche Kälteanlagen innerhalb der Klimaschutzinitiative aufgelegt. Für besonders klimafreundliche und energieeffiziente Neuanlagen mit natürlichen Kältemitteln beträgt der Fördersatz 25 Prozent der Nettoinvestitionen plus Bonusförderung; die energetische Verbesserung bestehender Anlagen wird mit 15-25 Prozent der Nettoinvestitionen gefördert. Die angekündigten Maßnahmen, die zu einem vorzeitigen Wechsel von F-Gas-Klimaanlagen bei neuen PKW führen sollen, wurden dagegen bis heute nicht realisiert.

Insgesamt besteht sowohl bei den fluorierten Treibhausgasen als auch bei den zahlenmäßig wesentlich bedeutsameren nicht-fluorierten Nicht-CO_2-Treibhausgasen (Methan, Lachgas) noch ein erhebliches Minderungspotenzial, das mit einer Vielzahl ergänzender Maßnahmen in verschiedenen Sektoren (u.a. Industrie, Verkehr, Landwirtschaft) erschlossen werden müsste (siehe „Plan B“, 2007 sowie Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland, 2008 (Kapitel 4.2)). Differenziert nach den einzelnen Nicht-CO_2-Treibhausgasen werden im Folgenden Maßnahmenvorschläge unterbreitet.

Übergreifende Maßnahmen:

Maßnahme 1: *Natürliche Sequestierung*

Einhalten einer positiven Humusbilanz bei der Ackerbewirtschaftung, z.B. durch den verstärkten Anbau humusmehrender Pflanzen, sukzessive Ausdehnung auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Ackerfläche, wodurch über viele Jahrzehnte bis zu 4 Mio. t CO_2/a gebunden werden können.

Maßnahme 2: *Umstellung der GWP-Wert-Berechnung auf 20 Jahre*

Der Global-Warming-Potential-Wert (GWP-Wert) quantifiziert die Klimawirksamkeit von Nicht-CO_2-Gasen (gemessen an CO_2

[47] Sie gilt ergänzend zur Verordnung (EG) Nr. 842/2006 und den weiteren EU-Regelungen zu fluorierten Treibhausgasen.

und angegeben in CO_2-Äquivalenten) bezogen auf 100 Jahre. Eine Umstellung des Bezugs auf einen kürzeren Zeitraum von 20 Jahren würde zu einer Verfünffachung des heutigen Wertes führen und die Dringlichkeit auf bestimmten Handlungsfeldern (s.u.) stärker verdeutlichen.

Maßnahme 3: *Zero Carbon Action Plan*

Die Industrieländer sollten sich als Gruppe zu einem Emissionspfad verpflichten, der beinhaltet, dass die industriellen Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 40 Prozent unter das Niveau von 1990 und bis 2050 um mindestens 95 Prozent unter das Niveau von 1990 sinken. Dies würde bedeuten, dass die gesamten Industrieländer-Emissionen im Jahr 2020 11,7 Gt CO_2-Äquivalente nicht überschreiten dürfen und die Obergrenze 2050 bei weniger als 1,0 Gt CO_2-Äquivalenten liegt. Die Emissionen aus dem Schiffs- und Flugverkehr sollten in den Reduktionszielen berücksichtigt werden.

Dies setzt voraus, dass eine schnelle Umstellung von einem Wirtschaftswachstumsmodell mit hohem Emissionswachstum hin zu einer emissionsfreien, nachhaltigen Wirtschaft erfolgt. Um die für eine solche Transformation notwendigen Institutionen schaffen und politischen Maßnahmenergreifen zu können, sollten alle Industrieländer einen Aktionsplan für eine emissionsfreie Wirtschaft ausarbeiten (Zero Carbon Action Plan, ZCAP) [68].

Maßnahmen zur Reduktion der Methan-Emissionen:

Maßnahme 1: Die *Umstellung auf eine ökologische Viehwirtschaft*, wodurch die Methanemissionen der Pansenfermentation aufgrund eines geringeren Viehbestands bis 2050 um 30 Prozent reduziert werden können. Auch trägt der geringere Viehbestand im selben Umfang zur Senkung der Methanemissionen aus dem Güllemanagement bei.

Maßnahme 2: Die *Reduzierung des Fleisch und Milchkonsums um rund 30 Prozent bis 2050* zur Senkung der Methan-Emissionen von Nutztieren.

Maßnahme 3: Der *höhere Einsatz von Gülle für die Erzeugung von Biogas*, wodurch die Methanemissionen um weitere 20 Prozent gesenkt werden können.

Maßnahme 4: Die *Einstellung des deutschen Steinkohlebergbaus bis 2020*, wodurch die flüchtigen Emissionen des heimischen Steinkohleabbaus vermieden werden.

Maßnahme 5: Die *Reduktion des Erdgasbedarfs*, wodurch flüchtige Emissionen aus der Erdgasproduktion, dem –transport, der -übertragung und der –verteilung verringert werden. Dadurch können die Methanemissionen in diesem Bereich bis 2050 um 87,2 Prozent gesenkt werden.

Maßnahme 6: Die *Umstrukturierung der Abfallbeseitigung*, welche die Deponierung von organischem Material deutlich verringert hat. Laut „Politikszenarien für den Klimaschutz IV" werden dadurch die Methanemissionen bei der Abfalldeponierung bis 2030 auf etwa 2 Mio. t CO_2-Äquivalente gesenkt, was einer Reduktion um 76,2 Prozent entspricht [27]. Bis 2050 können die Emissionen in diesem Bereich auf 0,5 Mio. t bzw. um 93,2 Prozent reduziert werden.

Maßnahmen zur Reduktion der N_2O-Emissionen:

Maßnahme 1: *Die Umstellung auf eine ökologische Viehwirtschaft und einen höheren Einsatz von Gülle für die Erzeugung von Biogas*, wodurch die N_2O-Emissionen beim Güllemanagement bis 2050 um 50 Prozent gesenkt werden können.

Maßnahme 2: *Die Umstellung auf eine ökologische Landwirtschaft und eine effizientere Düngernutzung*, wodurch die N_2O-Emissionen bei der Nutzung von Dünger auf Landwirtschaftlichen Böden bis 2050 um 47 Prozent gesenkt werden können.

Maßnahme 3: *Die Reduzierung des Kohlebedarfs bei Verbrennungsprozessen sowie des Einsatzes fossiler Kraftstoffe bei Kraftfahrzeugen*, wodurch die N_2O-Emissionen in diesem Bereich bis 2050 um 100 Prozent gesenkt werden können.

Maßnahme 4: *Eine Aufnahme der Adipinsäure- und Salpetersäureherstellung in den europäischen Emissionshandel ab 2013*, wodurch die N_2O-Emissionen bis 2020 um 21 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent gesenkt werden können. Auch wenn im Emissionshandelssektor selbst keine Emissionssenkungen realisiert werden sollten, würde die entsprechende Menge CO2-Äquivalente durch die Knappheit an Zertifikaten in anderen Sektoren reduziert werden. Diese Minderungen können prinzipiell in jedem EU Mitgliedstaat

erfolgen, jedoch wird hier die Einsparung der deutschen Emissionsbilanz zugerechnet.

Maßnahmen zur Reduktion der F-Gas-Emissionen:

Maßnahme 1: *Eine Verschärfung der EU-Richtlinie zu Treibhausgasen in mobilen Klimaanlagen und der Verordnung zu F-Gasen*. Erweiterung der Verordnungen gemäß den Empfehlungen von Dr. W. Schwarz [69] und des IIASA Interim Reports [70]

Maßnahme 2: *Ein Verbot der Substitution von FKW durch NF_3 in der Halbleiterindustrie*

Maßnahme 3: *Die Erweiterung der Liste der klimawirksamen Kyoto-Gase um NF_3 und weitere Gase*, die zwar die Treibhausgasbilanz niedrig halten, aber dennoch in großem Maße klimaschädigend wirken, um „kontraproduktiven" Maßnahmen entgegenzuwirken[48]

[48] Eine derartige Regelung sollte zwar im Rahmen der UNFCCC getroffen werden, im Vorfeld ist aber eine Selbstverpflichtung Deutschlands bzw. Europas – ggf. im Alleingang – in Betracht zu ziehen.

7 GREENPEACE-ENERGIEKONZEPT BIS 2050

Das von Greenpeace angesichts der den neuesten klimawissenschaftlichen Erkenntnisse formulierte Ziel einer Reduzierung von Treibhausgasen auf nahe Null im Jahr 2050 hat nur dann eine Chance auf Realisierung, wenn bereits heute die entsprechenden klimapolitischen Weichen dafür gestellt werden. Das auf der Basis von „Klimaschutz: Plan B“ aktualisierte Energiekonzept soll daher bis 2050 – mit weiteren Meilensteinen in 2030 und 2040 - fortgeschrieben werden.

7.1 BESCHREIBUNG DER VORGEHENSWEISE UND DES MODELLS

Ein zentrales Element zur langfristigen Senkung der Treibhausgasemissionen ist in diesem Zusammenhang die grundlegende Umstrukturierung der heutigen Energieversorgung in Richtung

- einer bestmöglichen Brennstoffausnutzung (d.h. Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung mit Mindest-Wirkungsgraden von 80 Prozent statt einer reinen Kondensations-Stromerzeugung[49] mit Wirkungsgraden von nur 40 Prozent bis 45 Prozent),
- einer weitgehend dezentralen Erzeugung (d.h. die Endenergie wird dort produziert, wo sie auch benötigt wird – dies reduziert die Verteilverluste) sowie
- eines Energieträgerwechsels, d.h. vor allem ein sukzessiver Wechsel von fossilen hin zu Erneuerbaren Energien. Für die nächsten beiden Jahrzehnte, die noch durch den Einsatz fossiler Energieträger geprägt sein werden, schließt dies auch einen Wechsel von Braun- und Steinkohle zum deutlich emissionsärmeren Erdgas ein.

Um in den nächsten Jahren diese notwendige Umstrukturierung im Kraftwerkspark zu erreichen, ist eine rasche Erschließung der Effizienzpotenziale erforderlich. Diese erlaubt eine Senkung des Energiebedarfs ohne Einschränkung des Komforts[50] und eine gleichzeitige Erhöhung der Versorgungssicherheit (vgl.

---

[49] Großkraftwerke sind i.d.R. sogenannte Kondensationskraftwerke, d.h. die Abwärme kann nicht oder nur zu sehr geringen Anteilen genutzt werden. Aus dieser Betriebsweise resultiert die o.g. geringe Brennstoffausnutzung von nur max. 40-45 Prozent bei Kohle- und maximal 60 Prozent bei Gaskraftwerken.

[50] In der Regel ist eine Effizienzsteigerung, also der Einsatz einer neuen Technologie oder eines neuen Gerätes, häufig sogar mit einer Steigerung des Komforts verbunden.

Kapitel 11). Gleichzeitig impliziert ein sinkender Energiebedarf einen steigenden Anteil der emissionsarmen bzw. –freien regenerativen Energien an der Energiebereitstellung. In gleichem Maße verringert sich damit auch die Importabhängigkeit (vgl. Kapitel 10).

7.2 ENTWICKLUNG DES STROM- UND WÄRMEBEDARFS BIS 2050

Die Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs wurde anhand der in „Klimaschutz: Plan B“ berechneten Effizienz- und Einsparpotenziale sowie der Auswertung anderer Studien (im Wesentlichen der „Leitstudie 2008“ [8]) ermittelt. Weiterhin wurden die „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“ (UBA, 2002) in die Betrachtung mit einbezogen [24]. Beide Studien beinhalten den Zeithorizont bis 2050. Ergänzend wurden die „Politikszenarien für den Klimaschutz IV“ (UBA, 2008) sowie die „Energieszenarien für den Energiegipfel 2007“ ausgewertet ([27], [21]). Letztere betrachten die Entwicklung bis zum Jahr 2030 bzw. 2020. Die in den genannten Studien ermittelten Potenziale zur Bedarfssenkung wurden zunächst mit denen aus „Klimaschutz: Plan B“ abgeglichen und bewertet. In Anlehnung an die vorhandenen Potenziale wurden mögliche[51] Entwicklungspfade der Bedarfsseite bestimmt. Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, dass nach dem Anstoß einer Entwicklung, z.B. initiiert durch politische Rahmenbedingungen, die Erschließung vorhandener Potenziale zunächst schnell vorangeht. Nähert sich der Verbrauch dem nach der Analyse möglichen Minimalbedarf, flacht die Kurve der Emissionsminderung entsprechend ab.

Die Potenzialbetrachtungen in Kapitel 5 ergeben für jeden Sektor große Einsparmöglichkeiten beim Strom- und Wärmeeinsatz. Diese sind in Tabelle 7-1 zusammenfassend dargestellt.

[51] d.h. technisch machbare und bei erklärtem politischen Willen und entsprechenden Rahmenbedingungen auch erreichbare Entwicklungspfade

Tabelle 7-1: Entwicklung des Endenergiebedarfs bis 2050 der einzelnen Sektoren

in TWh/a	2007		2020		2030		2040		2050	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
**Endenergie-bedarf*, ** **	**529**	**1.980**	**466**	**1.464**	**446**	**1.134**	**446**	**886**	**465**	**681**
davon										
Haushalte	141	561	108	465	91	367	81	291	76	222
GHD	129	278	116	208	111	169	106	133	100	108
Industrie	243	435	216	356	204	313	195	290	190	269
*Zwischen-summe GHD, Haushalte, Industrie**	*513*	*1.274*	*440*	*1.029*	*406*	*849*	*382*	*714*	*366*	*599*
Verkehr	16	706	26	435	40	285	64	172	99	81

* *Wärme: Fernwärme und Brennstoffe zur Wärmeerzeugung, Verkehr: Kraftstoffe*
** *Abweichungen in der Summe auf Grund von Rundung möglich*

Im Verkehrssektor muss im Hinblick auf die Erreichung des langfristigen Ziels baldmöglichst ein Technologiewechsel eingeleitet werden. Auch die Reduzierung des Flottenverbrauchs von Neufahrzeugen mit Verbrennungsmotor muss kurz- und mittelfristig deutlich schneller erfolgen als derzeit vorgesehen, wenn trotz steigender Mobilitätsanforderungen spürbare Emissionsminderungen im Verkehrssektor erreicht werden sollen. Dies kann in ausreichendem Umfang nur durch eine deutliche Reduzierung des mittleren Fahrzeuggewichts erreicht werden. Die Randbedingungen und die eingeforderten Maßnahmen im Verkehrs-sektor sind daher in der vorliegenden Studie verglichen mit „Klimaschutz: Plan B“ noch einmal verschärft worden, was bereits in 2020 zu einer spürbaren Reduktion des Endenergiebedarfs des Sektors führt.

Tabelle 7-2: Vergleich des Strom- und Wärmebedarfs in 2020 nach „Plan B“ und „Energiekonzept 2050“ ([1], [12], eigene Berechnungen)

Endenergie-bedarf*, **	BMWi/Plan B 2004 *(Stand 2007)*		BMWi 2007 *(Stand 2009)*		Plan B 2020 *(Prognose 2007)*		Energiekonzept 2050 2020 *(Prognose 2009)*	
in TWh/a	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
	520	**2.071**	**529**	**1.980**	**441**	**1.840**	**466**	**1.464**
davon								
Haushalte	138	637	141	561	105	565	108	465
GHD	123	304	129	278	110	265	116	208
Industrie	233	419	243	435	210	390	216	356
Zwischensumme Haushalte, GHD, Industrie	*494*	*1.360*	*513*	*1.274*	*425*	*1.220*	*440*	*1.029*
Verkehr	16	711	16	706	16	620	26	435

** Wärme: Fernwärme und Brennstoffe zur Wärmeerzeugung, Verkehr: Kraftstoffe*
*** Abweichungen in der Summe auf Grund von Rundung möglich*

7.3 DECKUNG DES STROM- UND WÄRMEBEDARFS

Der nationale Strom- und Wärmebedarf wird bereits heute zu Teilen aus Erneuerbaren Energien und hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bereitgestellt. Der Großteil des Stromes wird jedoch noch in großen Kondensationskraftwerken erzeugt. Viele (dezentrale) reine Wärmeanwendungen sind dagegen aus technischer Sicht auch für eine gleichzeitige Stromerzeugung (in KWK) geeignet, was den gesamten Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung deutlich verringern könnte. Von den Erneuerbaren Energien kann ebenfalls ein jährlich wachsender Beitrag zur Energieerzeugung erwartet werden (vgl. Entwicklung der letzten Jahre, Kapitel 5.3).

Im Greenpeace-Szenario wird dargestellt, wie die Strom- und Wärmeerzeugung in den nächsten Jahrzehnten zunehmend auf dezentrale, verbrauchernahe Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung und der Erneuerbaren Energien umgestellt und somit der Einsatz fossiler Energieträger bereits mittelfristig deutlich gesenkt werden kann.

Bis 2020 kann die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen von derzeit rund 70 TWh/a auf 157 TWh/a gesteigert werden. Dies entspricht mit 34 Prozent etwa einem Drittel des Endenergiebedarfs an Strom in 2020. Die Erneuerbaren Energien stellen dann mit 30 TWh/a einen Anteil von knapp 20 Prozent des KWK-Stroms und erzeugen rund 96 TWh/a KWK-Wärme.

Die KWK-Stromerzeugung kann bis 2030 auf über 200 TWh/a ausgebaut werden (s. Abbildung 7-1). Dies entspricht unter Berücksichtigung der erfolgten Effizienzerschließung in den einzelnen Sektoren einem Anteil von 46 Prozent des nationalen Strombedarfs. Mit einer Wärmeerzeugung von 280 TWh ist das langfristig vorhandene technisch-strukturelle Potenzial von rund 300 TWh/a, das sich aus dem erforderlichen Temperaturniveau und der Gleichzeitigkeit von Erzeugung und Bedarf ergibt, bereits nahezu ausgeschöpft. Daher steigt die Wärmeerzeugung aus KWK auch in den Jahren bis 2050 nur noch auf 290 TWh/a an.

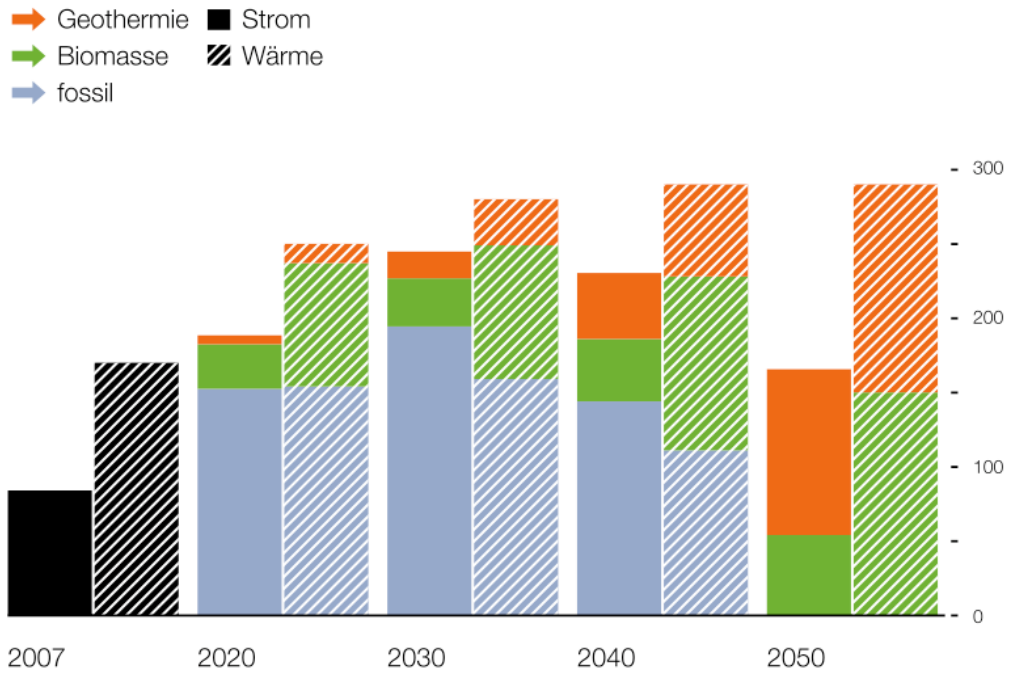


Abbildung 7-1: Entwicklung der Strom- und Wärmeerzeugung in KWK im Greenpeace-Szenario (in TWh/a)

KWK-Strom und -Wärme werden im Betrachtungszeitraum zu einem immer größeren Anteil über regenerative Energien bereitgestellt, und im Jahr 2050 werden ausschließlich Erneuerbare Energien in KWK-Anlagen eingesetzt werden. Im Vergleich zur Kraft-Wärme-Kopplung mit fossilen Energieträgern ist hiermit technologiebedingt ein Absinken der Stromkennzahl verbunden, die das

Verhältnis der Strom- zur Wärmeerzeugung bestimmt. Die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen sinkt daher bei konstanter Wärmeerzeugung bis 2050 auf knapp 140 TWh. (Durch den Wegfall der fossilen KWK ändert sich allerdings nicht zwingend die vor Ort eingesetzte Technik. So ist durchaus denkbar, dass in der Industrie bestehende Anlagen nach einem Brennstoffwechsel weiter betrieben werden. Bei Gas- oder Dampfturbinen ist beispielsweise ein Brennstoffwechsel auf Biogas oder Biomasse möglich.) Prinzipiell ist anzumerken, dass der große Vorteil der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme, nämlich der deutlich geringere Brennstoffeinsatz gegenüber der getrennten Erzeugung, insbesondere beim Einsatz von *begrenzt verfügbaren* Brennstoffe zum Tragen kommt. Dies gilt z.B. für den Einsatz fossiler Energieträger, aber auch für die limitierte Biomasse. Wenn dagegen mehr und mehr regenerative Quellen zur Strom- und Wärmeerzeugung erschlossen werden und langfristig nahezu eine Vollversorgung erreicht wird, so verringert sich dieser Vorteil, und andere Randbedingungen (z.B. die jeweils betriebswirtschaftlichere regenerative Erzeugung) spielen wieder eine entscheidende Rolle für die Wahl von Energieträger und Anlagentyp. Die KWK kann damit vor allem als dringend notwendige Übergangstechnologie für die nächsten Jahrzehnte bis zum Erreichen der Vollversorgung mit regenerativen Energien bezeichnet werden.

Der Beitrag der Biomasse zur Kraft-Wärme-Kopplung wird im Wesentlichen durch die nachhaltige Nutzung der potenziellen Anbauflächen begrenzt. So stehen ab 2040 zwar wieder neue Anbauflächen zur Verfügung, womit die genutzte Fläche für den Anbau von Energiepflanzen von 2,0 ha in 2030 auf 3,1 ha in 2040 und 4,2 ha in 2050 steigt. Allerdings ist selbst unter der Berücksichtigung einer gesteigerten Flächeneffizienz lediglich ein Potenzial von 45 TWh_{el}/a nachhaltig erschließbar. Damit stellt die Biomasse in 2050 einen Anteil von knapp 33 Prozent der KWK-Stromerzeugung.

Der Beitrag der Geothermie wächst im Betrachtungszeitraum bis 2050 auf einen Wert von 93 TWh_{el}/a. Aus heutiger Sicht wird davon ausgegangen, dass die Nutzung der Erdwärme zur Stromerzeugung in der überwiegenden Anzahl der Fälle, d.h. wo möglich, aus wirtschaftlichen Gründen auch mit einer Wärmenutzung verbunden sein wird. Der Umfang der Wärmenutzung hängt dabei stark vom jeweiligen Standort der Anlagen und den dort angesiedelten Wärmeabnehmern ab und kann somit unterschiedlich hoch ausfallen. Geothermie-Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung unterscheiden sich folglich von klassischen KWK-Anlagen.

Da sich insbesondere die Stromerzeugung aus Geothermie heute noch in der Anfangsphase befindet, wird eine mit den Jahren stark anwachsende Erschließung des Potenzials erwartet. In 2020 werden zunächst knapp 5 TWh_{el}/a

Strom aus Geothermie erzeugt. Nach Überwindung der Anfangsschwierigkeiten steigt die Stromerzeugung aus Geothermie zwischen 2030 und 2050 von 15 auf über 90 TWh_{el}/a an. Langfristig werden auf diese Weise nennenswerte grundlastfähige und auch regelbare Erzeugungskapazitäten über Geothermie-Anlagen bereitgestellt werden können.

ERNEUERBARE ENERGIEN

Die Potenziale der einzelnen Erneuerbaren Energien zur Bedarfsdeckung sind ausführlich in Kapitel 5.3 erläutert. In der folgenden Tabelle 7-3 sind die Beiträge der einzelnen Technologien sowie deren Entwicklungen im Betrachtungszeitraum dargestellt.

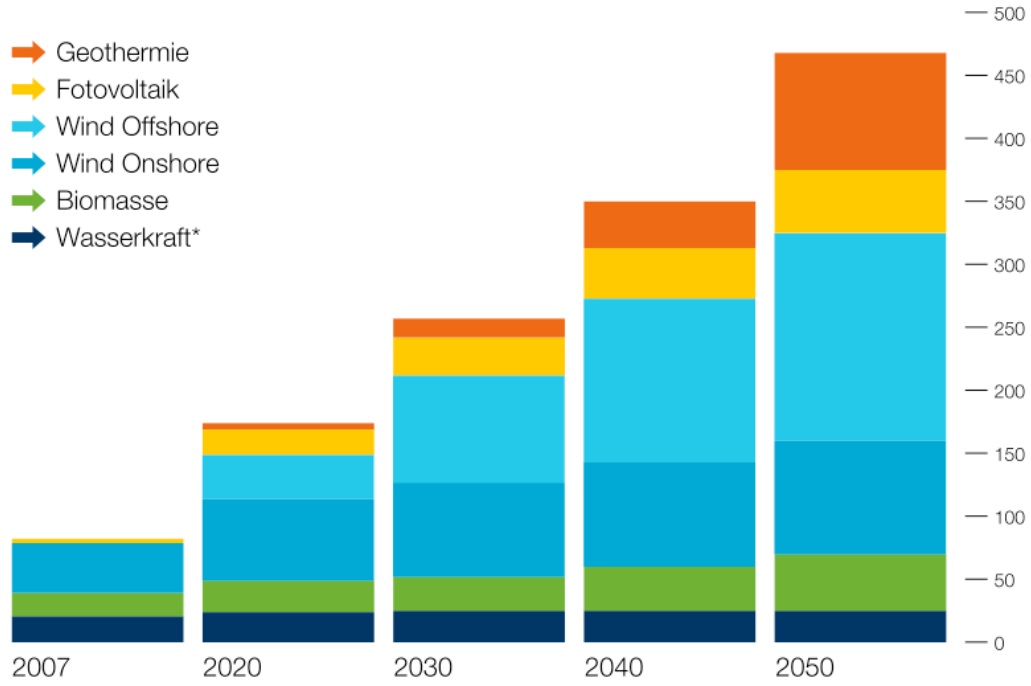


Abbildung 7-2: Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien bis 2050 im Greenpeace-Szenario (in TWh/a)

Tabelle 7-3: Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Wärme- und Stromerzeugung

	2020			2030			2040			2050		
	Strom* [TWh/a]	Wärme* [TWh/a]	Kraftstoff [TWh/a]	Strom* [TWh/a]	Wärme* [TWh/a]	Kraftstoff [TWh/a]	Strom* [TWh/a]	Wärme* [TWh/a]	Kraftstoff [TWh/a]	Strom* [TWh/a]	Wärme* [TWh/a]	Kraftstoff [TWh/a]
Wind	100	-	-	160	-	-	213	-	-	255	-	-
davon Onshore	65	-	-	75	-	-	83	-	-	90	-	-
davon Offshore	35	-	-	85	-	-	130	-	-	165	-	-
Biomasse	25	120	46,5	27	125	46,5	35	150	65	45	210	75
Geothermie	5	22	-	15	60	-	37	100	-	93	150	-
Photovoltaik	20	-	-	30	-	-	40		-	50	-	-
Solarthermie		25	-	-	60	-		90	-		115	-
Laufwasser	24	-	-	25	-	-	25	-	-	25	-	-
Summe	174	167	46,5	257	245	46,5	350	340	65	468	475	75

** einschießlich KWK*

Bereits im Jahr 2020 decken die Erneuerbaren Energien etwa 37 Prozent des nationalen Strombedarfs. (Weitere 27 Prozent werden in fossil-gefeuerten KWK-Anlagen erzeugt.) Ab 2040 kann die gesamte Stromerzeugung über Erneuerbare Energien und fossil betriebene KWK-Anlagen realisiert werden. Bei der betrachteten Entwicklung ergibt sich in 2040 eine Stromerzeugung aus dezentralen Anlagen, die den nationalen Bedarf bereits um etwa 40 TWh_{el}/a übersteigt. Dies resultiert aus dem Betrieb der KWK-Anlagen und dem verstärkten Ausbau der Erneuerbaren Energien, die nur teilweise zur Deckung des in KWK erzeugten Wärmebedarfs beitragen[52]. Mit dem sukzessiven Ersatz der fossil-gefeuerten KWK-Anlagen durch Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien, die z.T. bei gleicher Wärmebereitstellung durch eine geringere Stromerzeugung gekennzeichnet sind, sowie aufgrund eines leicht steigenden Strombedarfs, ausgelöst durch den verstärkten Einsatz von Strom im Verkehrssektor, reduziert sich die Überproduktion bis zum Jahr 2050 auf etwa 25 TWh_{el}/a. In 2050 kann der Strombedarf ausschließlich über Erneuerbare Energien gedeckt werden (s. Abbildung 7-3).

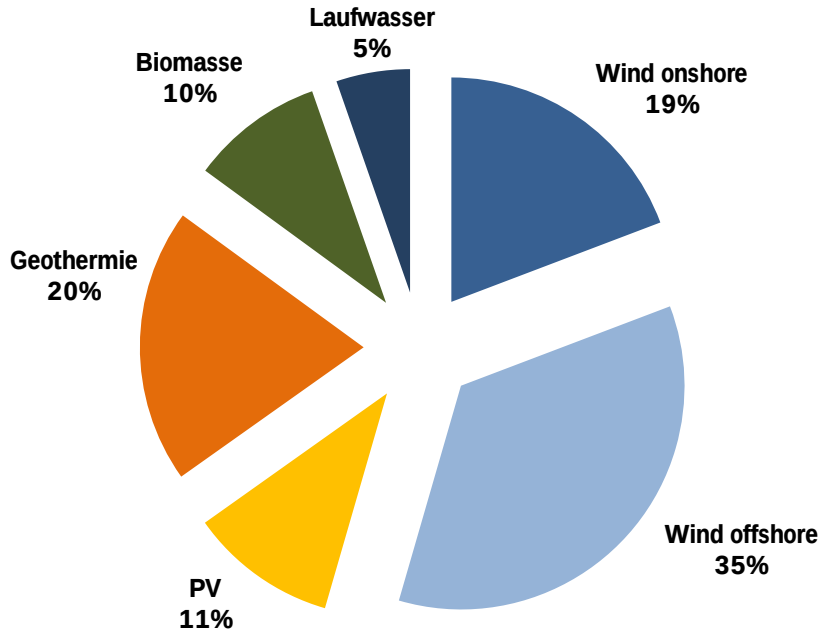


Abbildung 7-3: Strommix im Jahr 2050 im Greenpeace-Szenario

Im Wärmebereich halbiert sich der Bedarf im Betrachtungszeitraum von knapp 1.465 TWh/a in 2020 bis auf 681 TWh/a in 2050. Der Beitrag der

[52] Dieser Strom kann entweder exportiert werden oder zur Substitution fossiler Energieträger zur Wärmebereitstellung genutzt werden.

regenerativen Energien liegt 2020 bei etwa 11,5 Prozent,[53] einschließlich der in KWK erzeugten Wärme. Weitere 10 Prozent entfallen auf fossil-gefeuerte KWK-Anlagen. Der übrige Anteil wird in zentralen Heizwerken und in zu Industriebetrieben gehörenden Heizzentralen oder Hausfeuerungen erzeugt. Der mit Solarthermie erzeugte Anteil wird, ebenso wie die oberflächennahe Geothermie, dezentral, weitestgehend im Haushalts- und GHD-Sektor genutzt, wohingegen die tiefe Geothermie-Wärme und die Biomasse-Anlagen in der Nähe der räumlich festgelegten Potenziale angesiedelt sind.

Auch im Haushaltssektor findet eine Verlagerung von fossilen Energieträgern, in erster Linie Erdgas und Öl, hin zu Erneuerbaren Energien, z.B. Holzpellets oder Solarthermie, statt. Der Anteil der in KWK-Anlagen und über Erneuerbare Energien erzeugten Wärme steigt bis 2030 auf 22 Prozent, bis 2040 auf 38 Prozent und beträgt im Jahr 2050 mit 475 TWh/a bereits 70 Prozent. Diese prozentuale Erhöhung ergibt sich ebenfalls durch die deutliche Reduzierung des Bedarfs. Der übrige Wärmebedarf wird im Jahr 2050 ausschließlich über Mineralöl und Erdgas bereitgestellt. Er wird neben den geringen Anteilen von Verkehrs- und Haushaltssektor vor allem durch den Hochtemperaturwärmebedarf im Industriesektor verursacht, der nicht über KWK bereitgestellt werden kann.

ZENTRALER FOSSILER KRAFTWERKSPARK

In 2020 werden mit knapp 160 TWh nur noch rund 35 Prozent des nationalen Strombedarfs über den fossilen Großkraftwerkspark bereitgestellt. Die Bruttostromerzeugung beträgt etwa 185 TWh. Tabelle 7-4 zeigt die Entwicklung des Strombedarfs sowie die Deckung durch den zentralen Kraftwerkspark, KWK- und Erneuerbare-Energien-Anlagen.

Es ist zu erkennen, dass schon 2020 mit knapp 200 TWh ein deutlicher kleinerer Anteil als heute durch zentrale Kondensationskraftwerke erzeugt werden muss. Ab 2040 kann der Bedarf vollständig über KWK-Anlagen (mit sowohl fossilen als auch regenerativen Energieträgern) und über Erneuerbare Energien gedeckt werden.

[53] Die Bundesregierung strebt einen Beitrag von 14 Prozent bis zum Jahr 2020 an. Im Greenpeace-Szenario erfolgt der Wärmeausbau nur durch Solarthermie und Geothermie. Der Ausbau der Biomasse ist dagegen marginal und begründet im Wesentlichen den geringeren Prozentsatz.

Tabelle 7-4: Entwicklung der (anteiligen) Deckung des Strombedarfs über Erneuerbare Energien, Kraft-Wärme-Kopplung und Kondensationskraftwerke von 2020 bis 2050 im Greenpeace-Szenario

	2020 [TWh/a]	2030 [TWh/a]	2040 [TWh/a]	2050 [TWh/a]
Endenergiebedarf	466	446	446*	465*
Beitrag der Erneuerbaren Energien	174 *(37%)*	257 *(58%)*	350 *(78%)*	468 *(101%)*
Beitrag der *fossilen* Kraft-Wärme-Kopplung	127 *(27%)*	161 *(36%)*	120 *(27%)*	0 *(0%)*
Endenergie aus dem zentralen fossilen Kraftwerkspark	166 *(36%)*	28 *(6%)*	0 *(0%)*	0 *(0%)*

** leichtes Überangebot an Erneuerbarem und KWK-Strom ab 2040*

In Tabelle 7-5 ist die Entwicklung des Kraftwerksparks bis 2020 dargestellt. Gemäß den Greenpeace-Vorgaben (vorzeitiger Kernenergieausstieg bis 2015) leistet die Kernenergie in 2020 keinen Beitrag mehr zur Stromerzeugung. Unter Berücksichtigung des jetzigen Bestandes und der derzeit im Bau befindlichen Kraftwerke ergibt sich bereits zu diesem Zeitpunkt eine Kapazität, die den tatsächlich erforderlichen Bedarf zur Stromdeckung um etwa das Doppelte übersteigt. Demzufolge wird auch nur ein Teil der Kraftwerksleistung zur Bedarfsdeckung genutzt. Hieraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass weitere Kraftwerksneubauten nicht erforderlich sind. Weiterhin wird auch ein (vorzeitiger) Ausstieg aus der Kernenergienutzung nicht zu einer Versorgungslücke, weder im Hinblick auf die Leistung noch auf die Arbeit, führen.

Tabelle 7-5: Entwicklung des Kraftwerksparks bis 2020

	Kraft-werks-park 2007 [GW]	Prognosen für den bestehenden Kraftwerks-park in 2020 [GW]	Berück-sichtigte Zusatz-kapazitäten * [GW]	Kraft-werks-park 2020 *BAU* [GW]	Genutzte Leistung 2020 [GW]	Volllast-stunden ** [h/a]	Strom-erzeugung 2020 [TWh/a]
Steinkohlen	29,3	18,5	7,5	26,0	14,0	6.000	84
Braunkohlen	22,5	17,6		17,6	7,0	8.000	56
Heizöl	5,4	1,0		1,0			
Gase	21,3	11,0	5,2	16,2	13,0	4.200	55
Kernenergie	21,3	0					
Summe	**99,8**	**48,1**	**12,7**	**60,7**	**34,0**		**194**

** nur Kraftwerke, die nach 2005 in Betrieb gegangen sind oder sich bereits im Bau befinden*

*** durchschnittliche Volllaststunden des gesamten Kraftwerksparks*

In 2030 beträgt die Bruttostromerzeugung zuzüglich der Netz- und Erzeugungsverluste nur noch gut 30 TWh. Der Kraftwerkspark in 2030 ist in Tabelle 7-6 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass (heutige Betriebsweisen vorausgesetzt) von den insgesamt vorhandenen Kapazitäten (rund 45 GW) nur noch etwa 8 GW tatsächlich genutzt werden. Ab dem Jahr 2040 wird zur Bedarfsdeckung kein zentraler Kraftwerkspark mehr benötigt.

Tabelle 7-6: Entwicklung des Kraftwerksparks bis 2030

	Kraft-werks-park 2007 [GW]	Prognosen für den bestehenden Kraftwerks-park in 2030 [GW]	Berück-sichtigte Zusatz-kapazitäten * [GW]	Kraft-werks-park 2030 [GW]	Genutzte Leistung 2030 [GW]	Volllast-stunden ** [h/a]	Strom-erzeugung 2030 [TWh/a]
Steinkohlen	29,3	11,3	7,5	18,8	0		
Braunkohlen	22,5	10,5		10,5	0		
Heizöl	5,4	0,7		0,7	0		
Gase	21,3	9,3	5,2	14,5	7,8	4.200	33
Kernenergie	21,3	0		0	0		
Summe	**99,8**	**31,8**	**12,7**	**44,5**	**7,8**		**33**

** nur Kraftwerke, die nach 2005 in Betrieb gegangen sind oder sich bereits im Bau befinden*

*** durchschnittliche Volllaststunden des gesamten Kraftwerksparks*

7.4 ENTWICKLUNG DES BRENNSTOFFEINSATZES UND EMISSIONSBILANZ

Im zentralen Kraftwerkspark werden bereits in 2030 keine Stein- und Braunkohle mehr verstromt. Etwa 135 $TWh_{Brennstoffe}$ werden noch zur Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und zur Wärmebereitstellung in der Industrie eingesetzt. Dies entspricht einem Anteil von 12 Prozent am gesamten fossilen Brennstoffeinsatz, der darüber hinaus zum größten Teil mit Erdgas (57 Prozent) und Mineralöl (31 Prozent) bereitgestellt wird. Bis 2040 findet, bedingt durch den Ausstieg aus der Kohlenutzung, eine weitere (prozentuale) Verlagerung hin zum Erdgaseinsatz statt, der dann 72 Prozent des fossilen Brennstoffeinsatzes ausmacht. In KWK-Anlagen werden nur noch Erdgas und Erneuerbare Energien eingesetzt, so dass kein Kohleeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung mehr erforderlich ist. Der übrige Anteil von 28 Prozent entfällt auf Mineralöl, das noch zur reinen Wärmebereitstellung bzw. im Verkehrssektor benötigt wird. Die Entwicklung des Primärenergieeinsatzes ist in Abbildung 7-4 dargestellt.

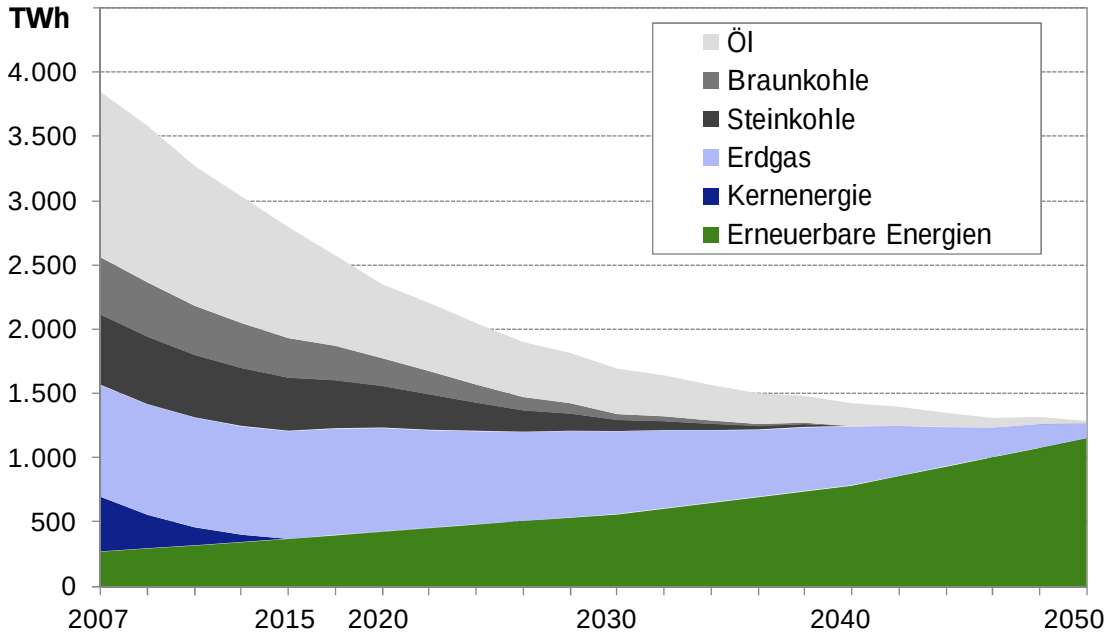


Abbildung 7-4: Entwicklung des Primärenergieeinsatzes im Greenpeace-Szenario bis 2050

Aus den Energieverbräuchen der einzelnen Sektoren, der Strom- und Wärmeerzeugung in KWK und der Stromerzeugung im zentralen Kraftwerkspark ergibt sich folgende Emissionsbilanz.

Tabelle 7-7: Emissionsbilanz nach Sektoren

	Ist 2007* Mio. t/a	**2020** Mio. t/a	**2030** Mio. t/a	**2040** Mio. t/a	**2050** Mio. t/a
Emissionen der Energiewirtschaft**	386	211	57	29	0
Emissionen des Industriesektors	175	151	133	102	76
davon energiebedingt	-	74	61	40	23
Prozessemissionen	-	77	73	62	53
Summe GHD und HH***	129	115	92	44	4
Emissionen des Verkehrssektors	152	102	60	28	2
Emissionen anderer THG (CO_2-Äquivalente)	115	84	66	52	38
Gesamtemissionen CO_2	**841**	**579**	**343**	**203**	**82**
Gesamtemissionen CO_2 und andere THG	**956**	**663**	**410**	**255**	**119**
*Minderung in %**	*-22%*	*-46%*	*-67%*	*-79%*	*-90%*

* *nach NIR 2009*

** *ab 2020: Emissionen der Stromerzeugung; in 2020 noch einschließlich Wärmeemissionen aus zentraler Wärmeerzeugung*

*** *einschl. Militär, übrige Feuerungsanlagen*

Im Greenpeace-Szenario ist eine Reduktion der Emissionen bis 2050 um etwa 90 Prozent (Basis 1990) erreichbar. Eine weitere Emissionsminderung ist nur in sehr begrenztem Umfang möglich. So treten die prozessbedingten Emissionen abhängig von der Produktionsmenge auf und können nur durch eine Reduzierung der Produktion verringert werden. Ein Großteil der Nicht-CO_2-Treibhausgase ist durch die Landwirtschaft bedingt, diese Emissionen können (auch bei Umstellung auf 100 Prozent ökologischen Landbau) ebenfalls nicht vollständig vermieden werden.

7.5 FAZIT

Im Gegensatz zu der in 2007 veröffentlichten Studie „Klimaschutz: Plan B – Nationales Energiekonzept bis 2020“, die sich mit der Fragestellung auseinandersetzte, wie bis zum Jahr 2020 eine Emissionsminderung von 40 Prozent bei gleichzeitigem (vorgezogenem) Ausstieg aus der Kernenergie zu erreichen ist, steht im Vordergrund der vorliegenden Studie die Frage, ob und wie Deutschland bis zum Jahr 2050 seine CO_2-Emissionen auf nahe Null absenken kann.

Aufbauend auf eine sektorspezifische Potenzialanalyse (Kapitel 5) konnte gezeigt werden, dass eine Emissionsminderung um etwa 90 Prozent bis 2050 im Vergleich zum Basisjahr 1990 technisch möglich und bei entsprechendem politischem Willen machbar wäre. Um dieses Ziel zu erreichen, ist allerdings bis 2020 eine deutlich höhere Emissionsminderung von 46 Prozent erforderlich. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass im Zeitverlauf die Potenzialerschließung immer aufwendiger wird, da in einem sich verkürzenden Zeitraum mehr geleistet werden muss. Das heißt in anderen Worten, dass ein Großteil der Potenziale zu Beginn einer Entwicklung erschlossen werden muss und somit die Kurve der Emissionsminderung nach und nach abflacht. Aufbauend auf „Plan B“ und unter Berücksichtigung der Entwicklung des Energiebedarfs der vergangenen Jahre in den einzelnen Sektoren sowie der neuen politischen Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 2) und der Weiterentwicklung einiger Technologien (Klein-KWK, Elektromobilität etc.) muss das von der Bundesregierung festgelegte Emissionsminderungsziel für 2020 in Höhe von -40 Prozent vor diesem Hintergrund entsprechend angepasst werden.

In Abbildung 7-5 sind der Entwicklungspfad der Emissionen der vergangenen Jahre 2004 bis 2007 sowie der weitere Verlauf nach den Empfehlungen der Enquête Kommission für *Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung* des Deutschen Bundestags (2002) dargestellt, die eine Emissionsminderung von 80 Prozent bis 2050 vorsah.

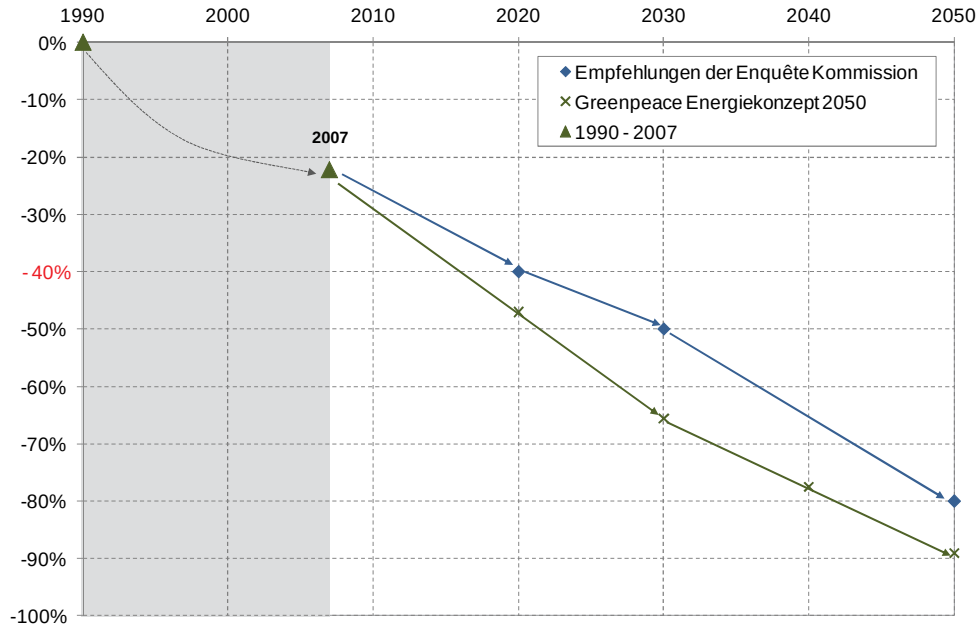


Abbildung 7-5: Entwicklung der THG-Emissionen nach Empfehlungen der Enquête-Kommission und im Greenpeace-Szenario

Um eine stärkere Minderung in 2050 erreichen zu können, müsste der Entwicklungspfad zwischen 2030 und 2050 entsprechend steiler verlaufen als in den Vorjahren. Da diese Entwicklung, wie oben erläutert, bedeuten würde, dass die für den Klimaschutz notwendigen Anstrengungen wissentlich und gezielt in zukünftige Jahrzehnte verlagert würden, werden statt dessen ein frühzeitiges Handeln und vor allem eine Anpassung (Erhöhung) der Minderungsziele der Jahre 2020 und 2030 gefordert.

Zusammenfassend kann ferner festgehalten werden, dass das Greenpeace-Szenario die eingangs genannten Anforderungen an die notwendige Umstrukturierung der Energieversorgung erfüllt. Verbunden mit einer Erschließung der vorhandenen Effizienzpotenziale, einem massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien und der KWK ist ein stetig sinkender Beitrag des zentralen fossilen Kraftwerkspark, der bereits im Jahr 2040 nicht mehr benötigt wird. Ein auf das Jahr 2015 vorgezogener Ausstieg aus der Kernenergienutzung gefährdet weder die Versorgungssicherheit noch die Umstrukturierung des Versorgungssektors, sondern liefert vielmehr die notwendigen Anreize und Planungssicherheiten im Hinblick auf die zukünftig erforderlichen Investitionen in dezentrale Erzeugungsanlagen.

8 SZENARIO: BUSINESS AS USUAL BIS 2050

Die Fortschreibung des Energiekonzepts bis 2050 in Kapitel 7 ist unter der Zielsetzung erfolgt, bis zum Jahr 2050 möglichst nahe an „Nullemissionen“ in Deutschland zu kommen. In diesem Kontext wurden die Entwicklung des Energiebedarfs und der Energiebereitstellung so konzipiert, dass unter der Annahme eines entschlossenen politischen Handelns dieses Ziel (annähernd) erreicht werden kann. Vorgehensweise sowie Ergebnisse der Analyse sind ausführlich in Kapitel 7 beschrieben und resultieren im Jahr 2050 in einer Emissionsminderung aller Treibhausgase von etwa 90 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 1990.

Werden andere politische Rahmenbedingungen als in dem in dieser Studie beschriebenen Greenpeace-Szenario gesetzt, so ergibt sich grundsätzlich auch ein anderer Emissionsminderungspfad. Welche Entwicklung zu erwarten ist, wenn eine Nutzung von Braun- und Steinkohle in bisherigem Umfang (bzw. sogar ein Ausbau) über 2040 hinaus erfolgt, eine weitere Nutzung der Kernenergie beschlossen wird, die angestrebten Effizienzziele verfehlt werden und sich der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung verzögert, soll an dieser Stelle anhand eines Business As Usual-Szenarios (BAU-Szenario) bis 2050 veranschaulicht werden.

Die Entwicklung des gesamten nationalen Energiebedarfs für das BAU-Szenario orientiert sich an dem Szenario „D2“ der „Leitstudie 2008“ [8]. In allen Sektoren wurde eine deutlich geringere Effizienzerschließung als im Greenpeace-Szenario unterstellt. Die Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs der einzelnen Sektoren im BAU-Szenario für den Zeitraum bis 2050 zeigt Tabelle 8-1.

Im Vergleich zum Greenpeace-Szenario ergibt sich in 2050 insbesondere in den Sektoren private Haushalte und Industrie ein deutlich höherer Strombedarf. Dies ist dadurch zu erklären, dass die privaten Haushalte prozentual das größte Einsparpotenzial aufweisen, das jedoch im Gegensatz zum Greenpeace-Szenario im BAU-Szenario deutlich langsamer erschlossen wird.

Der höhere Wärmebedarf ergibt sich aus veränderten Randbedingungen wie z.B. einer niedrigeren Sanierungsquote im Haushalts- und GHD-Sektor bzw. deutlich geringeren Anstrengungen der Industrie zur Reduzierung des Wärmebedarfs. Auch im Verkehrssektor werden die notwendigen Verbrauchsminderungen nicht erzielt, da kein Wechsel hin zu kleineren und leichteren Fahrzeugen sowie alternativen Antrieben erfolgt.

Tabelle 8-1: Entwicklung des Endenergiebedarfs bis 2050 der einzelnen Sektoren im BAU-Szenario

Endenergie-bedarf* *in TWh/a*	2007		2020		2030		2040		2050	
	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme	Strom	Wärme
Gesamt	**529**	**1.980**	**530**	**1.924**	**512**	**1.842**	**497**	**1.730**	**488**	**1.631**
davon										
Haushalte	141	561	130	533	122	501	115	461	108	424
GHD	129	278	125	270	120	256	115	236	110	217
Industrie	243	435	255	431	245	426	235	420	230	414
*Zwischen-summe GHD, Haushalte, Industrie***	*513*	*1.274*	*510*	*1.234*	*487*	*1.183*	*465*	*1.117*	*448*	*1.055*
Verkehr	16	706	20	690	25	659	32	613	40	576

** Wärme: Fernwärme und Brennstoffe zur Wärmeerzeugung, Verkehr: Kraftstoffe*
*** Abweichungen in der Summe auf Grund von Rundung möglich*

Der Strombedarf im BAU-Szenario wird – vergleichbar mit dem Greenpeace-Szenario - vorrangig über Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt, der hierüber hinausgehende Bedarf wird vom zentralen fossil-nuklearen Kraftwerkspark bereitgestellt. Sämtliche vorhandenen Kraftwerkskapazitäten[54] können im BAU-Szenario zur Stromerzeugung genutzt werden. Hinsichtlich des Einsatzes der Erneuerbaren Energien werden nur Abweichungen bezüglich des Ausbaus der Geothermie angenommen. Dieser fällt aufgrund fehlender finanzieller Anreize bzw. Risikoabdeckung und durch den konkurrierenden Einsatz von CCS (Carbon Capture and Storage) deutlich geringer aus. In allen anderen Fällen führen die sehr wahrscheinliche Fortschreibung des EEG sowie die zu erwartende Netzparität zahlreicher Anlagen der Erneuerbaren Energien nach 2020[55] zu einem mit dem Greenpeace-Szenario vergleichbaren Ausbau.

[54] Das heißt, die Stilllegung erfolgt am Ende der technischen Lebensdauer.

[55] In diesen Fällen ist ein weiterer Ausbau auch ohne die Förderung durch das EEG zu erwarten.

Explizit darauf hingewiesen werden muss, dass selbst unter der Annahme eines verzögerten Ausbaus der dezentralen KWK-Stromerzeugung und trotz der schleppenden Effizienzerschließung die Kondensationsstromerzeugung in zentralen Großkraftwerken in den nächsten Jahrzehnten deutlich abnehmen wird. Dies ist vor allem auf den stetig wachsenden Beitrag der Erneuerbaren Energien zurückzuführen, der mit Geothermie- und Biomasse-Anlagen auch grundlastfähige bzw. regelbare Erzeugungskapazitäten vorhält.

Dezentrale fossile und regenerative Anlagen erzeugen in 2050 einen Stromüberschuss von etwa 17 TWh_{el} (s. Tabelle 8-2). Damit wird auch im BAU-Szenario der Wechsel zu einer dezentralen Stromerzeugung vollzogen, allerdings erst zwischen 2040 und 2050 und damit deutlich später als im Greenpeace-Szenario.

Tabelle 8-2: Bedarfsdeckung Strom von 2020 bis 2050 im BAU-Szenario

Strom	2020 [TWh/a]	2030 [TWh/a]	2040 [TWh/a]	2050 [TWh/a]
Endenergie	530	512	467	488
Beitrag der Erneuerbaren Energien*	171	250	331	420
Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung*	200	210	220	230
Endenergie, die über den zentralen fossil-nuklearen Kraftwerkspark bereitgestellt wird	270	161	66	0

** teilweise Überschneidung, da ein Teil der KWK-Anlagen mit Erneuerbaren Energien betrieben wird (Geothermie, Biomasse)*

Die Deckung des Wärmebedarfs erfolgt analog zum Strombedarf. Lücken in der Bereitstellung über Erneuerbare Energien und KWK werden über einen fossilen Brennstoffmix gedeckt, dessen Aufteilung der des Jahres 2007 entspricht und als konstant angenommen wird.

Im Verkehrssektor erfolgt im Gegensatz zum Greenpeace-Szenario kein Technologiewechsel. Das heißt, dass nur ein geringer Zuwachs an alternativen Antriebskonzepten zu verzeichnen ist und der spezifische Verbrauch an Kraftstoffen der gesamten Fahrzeugflotte demzufolge nur geringfügig zurückgeht. Durch den ausbleibenden Technologiewechsel (im Szenario beispielhaft als

Wechsel zur Elektromobilität dargestellt) fällt der Anstieg des Strombedarfs im Verkehrssektor allerdings deutlich geringer aus.

Die verminderte Effizienzerschließung in den einzelnen Sektoren, die deutlich geringere Senkung der anderen Treibhausgase und die veränderte Deckung des Strom- und Wärmebedarfs resultieren in einem im Vergleich zum Greenpeace-Szenario abweichenden Pfad der Emissionsminderung bis 2050, dargestellt in Tabelle 8-3.

Tabelle 8-3: Emissionsbilanz nach Sektoren im BAU-Szenario

	Ist 2007* Mio. t/a	**2020** Mio. t/a	**2030** Mio. t/a	**2040** Mio. t/a	**2050** Mio. t/a
Emissionen der Energiewirtschaft**	386	292	200	92	23
Emissionen des Industriesektors	175	173	163	145	125
davon energiebedingt		96	90	83	72
Prozessemissionen		77	73	62	53
Summe GHD und HH***	129	123	116	108	77
Emissionen des Verkehrssektors	152	148	139	127	117
Emissionen anderer THG (CO_2-Äquivalente)	115	99	90	83	74
Gesamtemissionen CO_2	**841**	**736**	**619**	**472**	**342**
Gesamtemissionen CO_2 und andere THG	**956**	**835**	**709**	**555**	**416**
*Minderung in %***	*-22%*	*-32%*	*-42%*	*-55%*	*-66%*

* *nach NIR 2009*

** *ab 2020: Emissionen der Stromerzeugung; in 2020 noch einschließlich Wärme-emissionen aus zentraler Wärmeerzeugung*

*** *einschl. Militär, übrige Feuerungsanlagen*

Die angestrebte Minderung von 40 Prozent bis 2020 wird im BAU-Szenario deutlich verfehlt. Die Minderung im Zeitraum 2007 bis 2020 beträgt vielmehr lediglich 10 Prozentpunkte. Dies deckt sich weitgehend mit den einleitenden Ausführungen in Kapitel 6 (Maßnahmenkatalog - Update). Hier findet sich der Hinweis, dass bereits im November 2007 in einer von EUtech erstellten Studie die mögliche CO_2-Emissionsminderung bis 2020 durch das IKEP auf max. 160 Mio. t CO_2/a beziffert wurde (EUtech, 2007). Diese Aussage wurde von Ecofys im Jahr 2008 nochmals um 15 - 30 Mio. t CO_2/a nach unten korrigiert (vgl. [48]), sodass lediglich die Hälfte der von der Bundesregierung in Aussicht gestellten

CO_2-Emissionsminderungen bis 2020 tatsächlich zu erwarten sind. Das entspricht – wie erwähnt - einem CO_2-Reduktionsziel von knapp unter 30 Prozent gegenüber 1990, wobei knapp 20 Prozent bereits im Zeitraum bis 2006 realisiert worden sind. Bis zum Jahr 2050 ergibt sich im BAU-Szenario eine Emissionsminderung von 66 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 1990. Damit wird auch das bisherige Enquête-Ziel (-80 Prozent) substantiell verfehlt.

Der Primärenergieeinsatz kann im BAU-Szenario bis 2050 um gut 40 Prozent gesenkt werden (s. Abbildung 8-1).

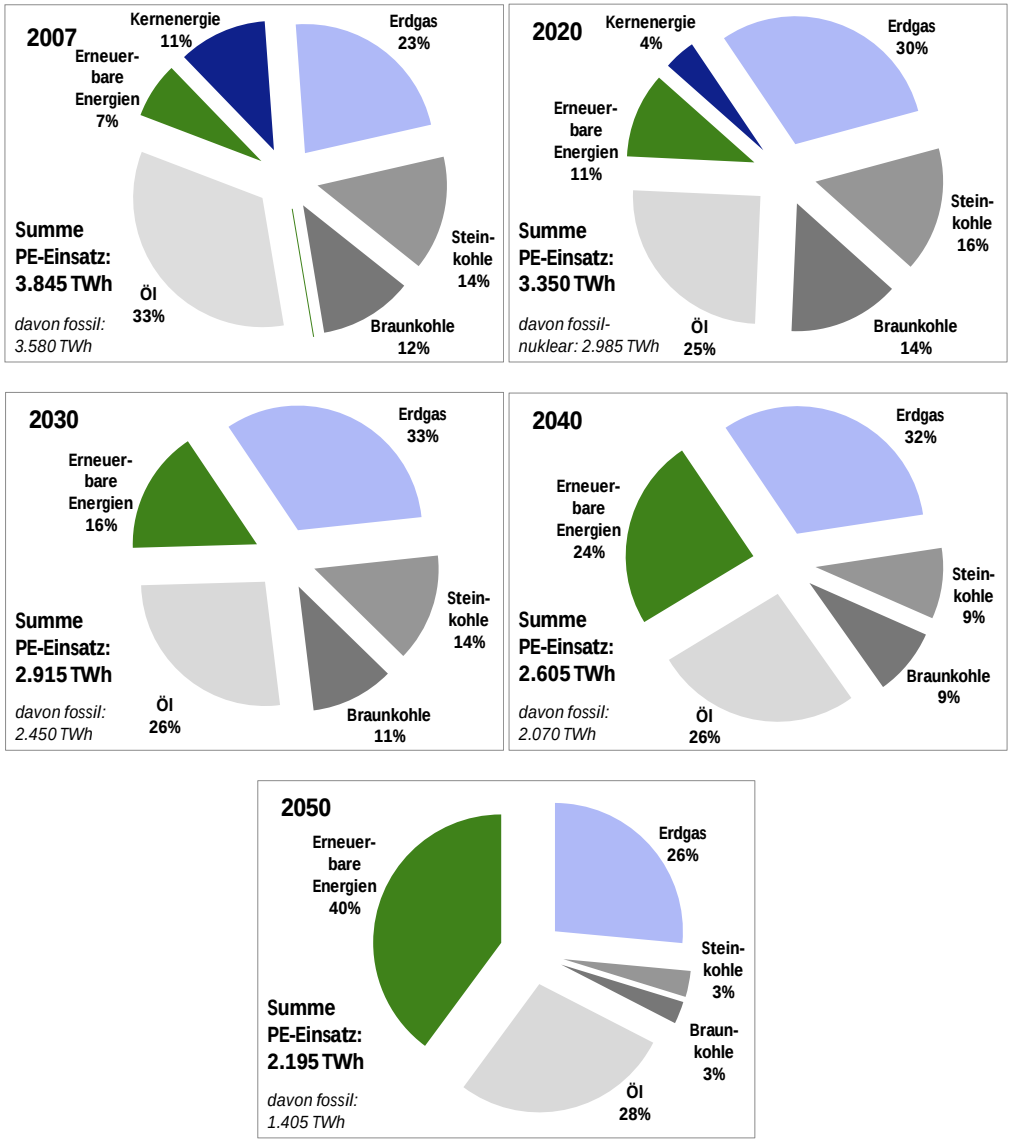


Abbildung 8-1: Entwicklung von Primärenergieeinsatz nach Energieträgern im BAU-Szenario

Auch in 2050 werden jedoch noch rund zwei Drittel des Energiebedarfs über fossile Energieträger gedeckt. Obwohl die Erneuerbaren Energien einen vergleichbaren absoluten Beitrag zur Energieversorgung leisten wie im Greenpeace-Szenario, liegt ihr Anteil am Primärenergieeinsatz im BAU-Szenario nur bei rund 40 Prozent (statt bei knapp 90 Prozent im Greenpeace-Szenario). Dies resultiert aus den Defiziten bei der Effizienzerschließung in allen Sektoren. Die Abhängigkeit von importierten Energieträgern bleibt im BAU-Szenario damit auch langfristig in einem wesentlichen Umfang (>50 Prozent) bestehen.

9 PROGNOSE DER STROMPREISENTWICKLUNG IM GREENPEACE-SZENARIO

Um eine Aussage darüber treffen zu können, wie sich das Greenpeace-Szenario auf die Strompreise in Deutschland auswirkt, wurde das arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik (separat) beauftragt, die Marktpreise für Strom im Greenpeace-Szenario und im BAU-Szenario (siehe Kapitel 8) miteinander zu vergleichen.

Autor der Kapitel 9.1 und 9.2 ist die arrhenius consult GmbH, Hamburg.

9.1 VORGEHENSWEISE

Um die oben genannten Marktpreise zu ermitteln, wurden die in den Szenarien jeweils zugrunde gelegten installierten Kraftwerkskapazitäten in das Strommarkt-Modell *deeco-s* eingegeben, das vom arrhenius Institut zusammen mit dem Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement der Universität Leipzig betrieben wird. Mit dem Modell wurden für jede Stunde eines Stützjahres die Einsatzreihenfolge der verfügbaren Kraftwerke, die Stromerzeugung der Kraftwerke sowie der Spotmarktpreis bestimmt.

Bei der Auswertung der Modellergebnisse wurde festgestellt, dass die erzeugten Strommengen der einzelnen Kraftwerkstypen sehr stark von den im Greenpeace-Szenario vorgegebenen Mengen abweichen. Für einige Kraftwerkstypen sind die Einsatzzeiten so gering, dass sie nicht wirtschaftlich betrieben werden können. Aus diesem Ergebnis ist der Schluss zu ziehen, dass das Greenpeace-Szenario sich am Markt so nicht einstellen würde. Die Ermittlung von Marktpreisen für Strom nach dem Greenpeace Szenario ist daher nicht sinnvoll. Der Strommarkt bietet in seiner jetzigen Form aber ohnehin wenig bis keine Anreize für Investitionen in neue konventionelle Kraftwerke ([71], [72], [73], [74]). Auch die Integration von Strom aus erneuerbaren Energiequellen ist problematisch [75]. Letztlich kommen alle diese Studien zu dem Ergebnis, dass die Erlöse in einem rein nach dem Grenzkostenprinzip organisierten Markt nicht ausreichen, um die Investition zu finanzieren. Diese Problematik wird verschärft durch die steigende Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien, dessen Grenzkosten nahe Null liegen, sowie durch die Klimaschutzziele. Es erscheint somit durchaus angebracht, über eine andere Organisation der Stromerzeugung nachzudenken.

Vor dem genannten Hintergrund wird für den wirtschaftlichen Vergleich der beiden Szenarien dieser Studie daher wie folgt vorgegangen: Als Vergleichsgröße werden die Stromerzeugungskosten herangezogen. Es wird angenommen, dass die Stromerzeugung im Jahr 2020 und danach durch einen deutschen (oder europäischen) Systemoperator koordiniert wird. Dieser legt fest, welche

Kapazitäten installiert werden sollen und bestimmt auch den Einsatz der Kraftwerke. Insoweit handelt es sich um eine Rückkehr zur Organisation der Stromerzeugung vor Beginn der Liberalisierung. Allerdings ist es nicht erforderlich, dass dem Systemoperator die Kraftwerke auch selbst gehören. Diese können von unabhängigen Betreiberfirmen errichtet und betrieben werden, die dann vom Systemoperator entsprechende langfristige Lieferverträge bekommen. Die Verträge können ausgeschrieben werden, so dass auf diese Weise Wettbewerbselemente in der Stromerzeugung erhalten bleiben.

In einem solchen Setting gibt es dann keinen Marktpreis mehr, der sich aus den Grenzkosten der Kraftwerke bestimmt. Deshalb wird hier – wie vor der Liberalisierung – auf die durchschnittlichen Stromgestehungskosten zurückgegriffen, wenn es darum geht zu beurteilen, welche Kosten den Nutzern bzw. der Gesellschaft aus der Stromerzeugung erwachsen. Auf dieser Basis wurden Gesamtkosten der Stromerzeugung sowie die mittleren spezifischen Stromgestehungskosten der beiden Szenarien für die Jahre 2020 und 2030 miteinander verglichen. Es wurden folgende Kosten einbezogen:

- Kapitalkosten für nach 2007 errichtete Kraftwerke
- Kapitalkosten für Mehrinvestitionen in Stromeinsparungen im Greenpeace-Szenario gegenüber dem BAU-Szenario
- Brennstoffkosten
- CO_2-Kosten.

Andere Kosten wurden vernachlässigt, da sie in der Regel deutlich geringer sind als die genannten Kostenarten. Die Kapitalkosten wurden mit Hilfe der Annuitätenmethode auf die jeweilige Amortisationszeit verteilt. Dabei wurde durchgängig ein Zinssatz von 10 Prozent unterstellt. Für die Brennstoff- und CO_2-Kosten wurden als erste Annahme die Werte aus der Studie „Globale Energie-[r]evolution“ angenommen [76]. Diese Werte wurden anschließend im Rahmen von Sensitivitätsanalysen über weite Bereiche variiert.

9.2 ERGEBNISSE

Abbildung 9-1 vergleicht die absoluten jährlichen sowie die spezifischen Stromgestehungskosten des BAU-Szenarios und des Greenpeace-Szenarios für 2020 und 2030. Aufgrund der großen Unsicherheit einer solchen Abschätzung werden nur die prozentualen Unterschiede dargestellt und auf die Verwendung absoluter Werte verzichtet. Die ermittelten Unterschiede können als belastbar eingestuft werden, da sich viele absolute Unsicherheiten aufheben, weil sie in beiden Szenarien gleichermaßen auftreten.

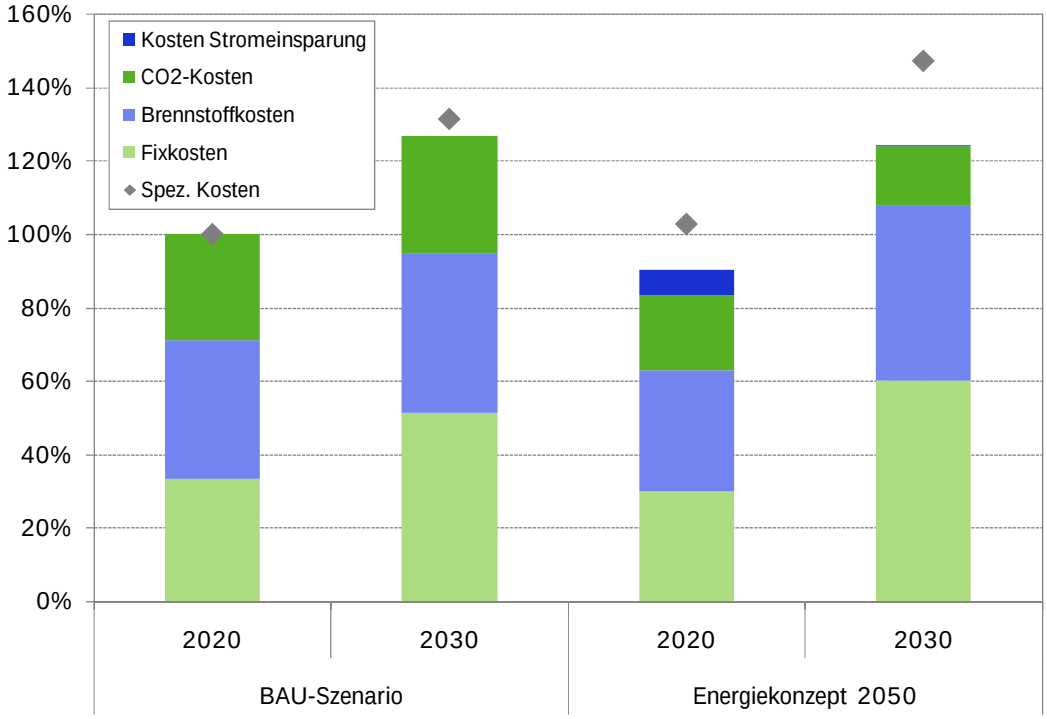


Abbildung 9-1: Vergleich der absoluten jährlichen und der spezifischen Stromgestehungskosten im BAU-Szenario und im Greenpeace-Szenario für 2020 und 2030 (eigene Berechnung).

Es ist insbesondere festzuhalten, dass sich das Greenpeace-Szenario nur in zwei Punkten vom BAU-Szenario unterscheidet:

- Einsparung von rund 60 TWh Strom pro Jahr in 2030 sowie die
- Verschiebung der Produktion von weiteren 60 TWh Strom pro Jahr aus verschiedenen konventionellen Kondensationskraftwerken hin zu dezentralen gasgefeuerten KWK-Anlagen.

Der Einsatz Erneuerbarer Energien ist in beiden Szenarien dagegen nahezu identisch und kann daher nicht die Ursache der Kostenunterschiede sein.

Damit die beiden Szenarien vergleichbar werden, sind für die Einsparung von Strom entsprechende Investitionen angesetzt worden. Diese wurden unter Berücksichtigung typischer (sektorspezifischer) Amortisationszeiten und durchschnittlicher Strompreise (2007) für die einzelnen Sektoren ermittelt (s. Tabelle 9-1) und fließen als Summe notwendiger Investitionen zur Realisierung der Stromeinsparungen in die Berechnung ein.

Tabelle 9-1: Annahmen für die Investitionsabschätzung zur Realisierung der Stromeinsparungen

	Industrie	GHD	Haushalte
Ø Strompreis	80 €/MWh	180 €/MWh	200 €/MWh
Ø Payback	3 Jahre	3,5 Jahre	3,5 Jahre

Folgende Ergebnisse lassen sich aus Abbildung 9-1 ablesen:

- Die absoluten jährlichen Kosten der Stromerzeugung steigen im BAU-Szenario von 2020 bis 2030 aufgrund höherer Brennstoff- und CO_2-Preise um rund 25 Prozent, die spezifischen Kosten steigen um rund 30 Prozent.
- Für 2020 liegen die absoluten Kosten der Stromerzeugung – auch bei Einbeziehung der Kosten für die Stromeinsparung – im Greenpeace-Szenario um etwa 10 Prozent niedriger als im BAU-Szenario. Die spezifischen Kosten sind etwa 3 Prozent höher.
- Für 2030 sind die absoluten Kosten etwa gleich hoch, die spezifischen Kosten liegen im Greenpeace-Szenario 12 Prozent höher als im BAU-Szenario.

Die höheren spezifischen Kosten für die erzeugte Kilowattstunde Strom im Greenpeace-Szenario werden im Mittel kompensiert durch den gleichzeitig zurückgehenden Strombedarf. Dennoch kann es natürlich in einzelnen Bereichen zu einer höheren Belastung kommen, in denen die Einsparungen geringer als im Durchschnitt ausfallen. Insgesamt bewegen sich die mittleren spezifischen Stromgestehungskosten zwischen 60 und 90 €/MWh und somit in dem Rahmen, der auch in anderen Studien erwartet wird.

Da sich die beiden Szenarien nur in den beiden oben genannten Punkten unterscheiden, sind die wesentlichen Treiber der Kostenunterschiede der Kohle- und der Gaspreis sowie der Preis für die CO_2-Emissionsrechte. Deren Wirkung wurde daher einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Die Ergebnisse sind im Anhang B dargestellt. Insgesamt kommt die Sensitivitätsanalyse zu dem Ergebnis, dass die Kostenunterschiede nie größer als 20 Prozent werden und nicht mehr als +/- 10 Prozent von den in Abbildung 9-1 mit den Preisen aus Tabelle 9-1 gezeigten Werten abweichen.

10 ENTWICKLUNG DER IMPORTABHÄNGIGKEIT IM GREENPEACE-SZENARIO

Deutschland ist seit Jahrzehnten durch eine große Abhängigkeit von Energieimporten gekennzeichnet, die ab Mitte der 1990er Jahre einen relativ stabilen Wert von etwas über 70 Prozent, gemessen als sog. Nettoimporte[56], aufweist und im hier relevanten Ausgangsjahr 2007 71,2 Prozent betrug [12]. Die höchste Importquote besteht bei Uran mit 100 Prozent, gefolgt von Mineralöl (94,3 Prozent) und den sogenannten Naturgasen[57] (83,1 Prozent). Der Steinkohleverbrauch wird zu 67,2 Prozent durch Lieferungen aus dem Ausland gedeckt, und nur bei der Braunkohle lag 2007 ein leichter Exportüberschuss in Höhe von 1 Prozent vor. Die Nettoimporte der einzelnen (fossil-nuklearen) Energieträger zeigen im Zeitverlauf ebenfalls relativ stabile Werte. Eine Ausnahme bildet jedoch die Steinkohle; hier stieg, auch bedingt durch den Rückgang der heimischen Steinkohleförderung, die Importquote von knapp 45 Prozent im Jahr 2000 auf 67,2 Prozent in 2007. Anfang 2007 wurde in Deutschland noch in acht Bergwerken Steinkohle gefördert, wobei bis etwa 2012 die Schließung von mindestens zwei Bergwerken bereits beschlossen ist. Ein gleichbleibender oder gar steigender Steinkohleeinsatz in Deutschland wird somit zwangsläufig zu einer wachsenden Importabhängigkeit bei der Steinkohle führen. [77]

Die aus dieser hohen Abhängigkeit von ausländischen Rohstofflieferungen resultierenden Probleme für die Versorgungssicherheit werden immer wieder im Zusammenhang mit den Konflikten um russische Gas- und Öllieferungen deutlich. Die Verlässlichkeit Russlands als wichtigstem Lieferanten Deutschlands spielt somit eine zentrale Rolle hinsichtlich der hiesigen Energieerzeugung. Darüberhinaus sind mit Ausnahme von Norwegen und Großbritannien die meisten anderen Öl- und Gasförderstaaten (u.a. Saudi Arabien, Iran, Nigeria und Angola) politisch instabil oder werden von autoritären Regimen regiert. Ähnliche Unsicherheiten bestehen prinzipiell auch bei der Steinkohle. In diesem Zusammenhang sind z.B. die in jüngerer Vergangenheit aufgrund der steigenden Nachfrage der Schwellenländer aufgetretenen Engpässe am Kohle-Weltmarkt und die sich aus diesen logistischen Gründen (keine ausreichenden Transportkapazitäten) ergebende Verknappung zu nennen. Eine substantielle Verringerung der Importabhängigkeit aller fossilen und nuklearen Energieträger sollte folglich Bestandteil jedes zukünftigen nationalen Energieversorgungskonzepts sein.

---

[56] Die Nettoimporte sind definiert als Anteil der Summe aus Einfuhr minus Ausfuhr minus Bunker am Primärenergieverbrauch.

[57] Erdgas, Erdölgas, Grubengas

Wie aus Abbildung 10-1 deutlich wird, ist das Greenpeace-Szenario nicht nur durch einen deutlich steigenden Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieeinsatz gekennzeichnet, der im Jahr 2020 bereits bei knapp 20 Prozent liegt und bis 2050 auf knapp 90 Prozent ansteigt, sondern ebenfalls durch einen damit verbundenen Rückgang der Importquote fossil-nuklearer Energieträger auf rund 11 Prozent im Jahr 2050. Mit dem vorgezogenen Ausstieg aus der Kernenergie werden die Uranlieferungen aus dem Ausland bereits 2015 auf Null reduziert, im Jahr 2040 folgt dann mit dem Ausstieg aus der Kohlenutzung ein vollständiger Wegfall der Kohleimporte. Die fortschreitende, konsequente Effizienz ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Erdgas- und Öllieferungen, die sich 2050 nur noch auf 115 TWh bzw. 20 TWh bei einem gesamten Primärenergieeinsatz in Höhe von 1.285 TWh belaufen.

Bereits im Jahr 2020 kann im Greenpeace-Szenario der Beitrag der fossilen Energieträger am gesamten Primärenergieeinsatz von heute (2007) 3.150 TWh auf 1.920 TWh gesenkt werden. Dies entspricht aufgrund des insgesamt stark gesunkenen Primärenergieeinsatzes einer Importquote von rund 73 Prozent, wobei der Anteil der heimischen Braunkohle heraus gerechnet wurde. Während die Import*quote* mittelfristig nahezu konstant bleibt, reduzieren sich die *absoluten Energieimporte* im Vergleich zu heute allerdings um über 1.000 TWh bzw. 38 Prozent. Bis 2030 geht die heutige Menge an Energieimporten dank der konsequenten Effizienzerschließung und dem Ausbau der KWK bereits um 60 Prozent zurück. Auch der stetige Ausbau der Erneuerbaren Energien trägt dazu bei, dass die Energieimporte in 2040 nur noch etwa 20 Prozent der in 2007 importierten Mengen betragen. Bis 2050 können die heutigen Importmengen um 95 Prozent reduziert werden, damit hat Deutschland in 2050 nahezu die Unabhängigkeit von Energielieferungen aus anderen Ländern erreicht.

Der Anteil des Erdgases am Energiemix steigt zunächst von 23 Prozent in 2007 auf maximal 38 Prozent in 2030. Da gleichzeitig aber wie bereits erwähnt der Primärenergieeinsatz substantiell zurückgeht, entsprechen die genannten Prozentsätze einem Rückgang des *absoluten* Erdgasverbrauchs von rund 870 TWh in 2007 auf rund 805 TWh in 2020 bzw. 645 TWh in 2030. Damit reduziert sich nach dem Greenpeace-Szenario der absolute Verbrauch an Erdgas um 7,5 Prozent bis 2020 und um 26 Prozent bis 2030.

Der Vergleich mit dem in Kapitel 8 entwickelten BAU-Szenario unterstreicht die hohe Bedeutung der Umstrukturierung der Energieversorgung im Greenpeace-Szenario für die Importabhängigkeit. Im BAU-Szenario werden auch in 2050 noch rund zwei Drittel des Energiebedarfs (insgesamt 1.405 TWh) durch fossile Energieträger gedeckt, und bei einem vergleichbaren absoluten Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Energieversorgung liegt die Importabhängigkeit immer

noch bei rund 57 Prozent, wobei schwerpunktmäßig Erdgas und Erdöl importiert werden.

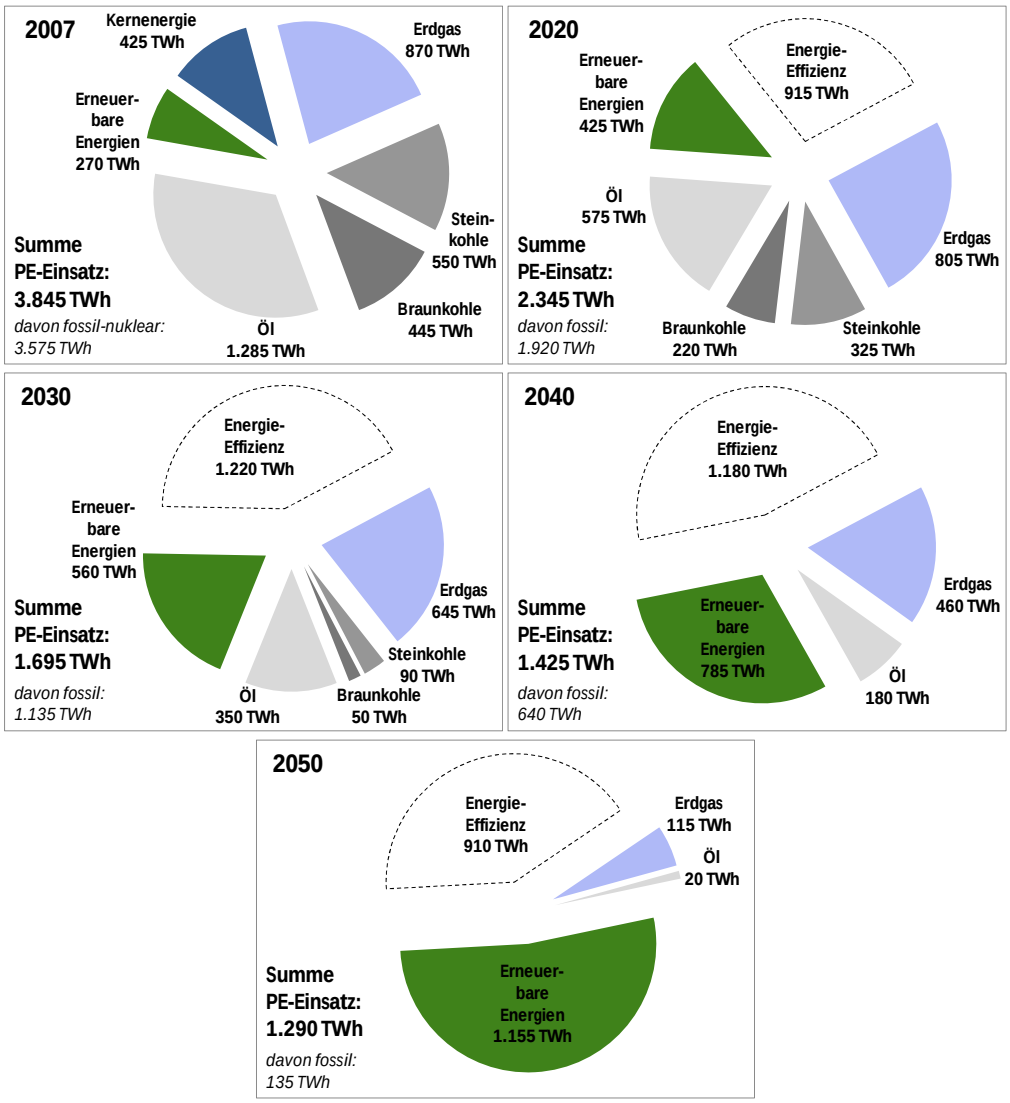


Abbildung 10-1: Entwicklung des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern im Greenpeace-Szenario (Effizienzerschließung gegenüber dem BAU-Szenario)

11 SICHERHEIT DER STROMVERSORGUNG

Die Stromversorgung in Deutschland steht angesichts der Klima- und Energiekrise vor einem gewaltigen Umbruch, der sowohl die Kraftwerksstruktur und den Energieträgermix als auch die Versorgungssicherheit und die Strompreisentwicklung betrifft. Im Fokus der energiepolitischen Auseinandersetzungen des Jahres 2008 stand in Deutschland die Sicherheit der Stromversorgung. Der in diesem Zusammenhang immer wieder verwendete Begriff der „Stromlücke“ bzw. „Leistungslücke“ beschreibt eine Situation, in der die verfügbare Kraftwerksleistung nicht ausreichend ist, um die Lastspitze im deutschen Netz vollständig zu decken. Obwohl derzeit (2007) weit mehr als ausreichend Kraftwerksleistung zur Verfügung steht, um den nationalen Strombedarf zu allen Zeiten des Jahres sicher zu decken, ist die Befürchtung der Verfechter der „Leistungslücke“, dass die Stilllegung alter Kohlekraftwerke und der Ausstieg aus der Kernenergie in Zukunft dazu führen könnten, dass der Stromverbrauch von der möglicherweise stark dezimierten Kraftwerksleistung nicht mehr sicher gedeckt werden kann.

Insbesondere die von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) Anfang 2008 veröffentlichte „Kurzanalyse der Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland“ [16] hat in diesem Zusammenhang erhebliche kontroverse Diskussionen ausgelöst. Die Kurzanalyse kommt zu dem Ergebnis, dass selbst bei Erreichen der angestrebten Effizienzziele der Bundesregierung (Szenario „Energieprogramm Bundesregierung“), d.h. bei einem mittelfristig sinkenden Strombedarf, ab Mitte des nächsten Jahrzehnts mit einer zu geringen Kraftwerksleistung zu rechnen ist, die bis zum Jahr 2020 einen Umfang von ca. 12 GW[58] erreicht. Diese Leistungslücke kann – so das Plädoyer der dena - nur durch eine Verlängerung der Kernenergienutzung in Deutschland vermieden werden („Ausstieg aus dem Ausstieg“). Gleichzeitig spricht sich die dena für den verstärkten Ausbau neuer Kohlekraftwerke aus.

Tatsächlich hat sich die gesicherte Kraftwerksleistung seit 2002 stetig erhöht (von rund 81,4 GW in 2002 auf 86,2 GW in 2006 [13], obwohl die Jahreshöchstlast seitdem etwa gleich geblieben ist. Aktuell ist damit die Versorgungssicherheit sehr gut gewährleistet. Eine im Auftrag von Greenpeace von EUtech durchgeführte Analyse hat die voraussichtliche zukünftige Entwicklung des Stromversorgungssystems in Deutschland bis 2020 untersucht

[58] Dies entspricht etwa der Leistung von 15 Kohlekraftwerken oder 12 Kernkraftwerken.

und kommt zu dem Ergebnis, dass die in der dena-Studie postulierte Leistungslücke nicht zu erwarten ist [15].

Aus Gründen der Vergleichbarkeit folgt die Greenpeace-Studie weitgehend der Vorgehensweise der dena. Schrittweise werden die wesentlichen Größen zur Bestimmung der Stromversorgungssituation in Deutschland in den Jahren 2015 und 2020 berechnet und mit den Annahmen der dena-Studie im Einzelnen auf ihre Plausibilität und Wahrscheinlichkeit geprüft und bewertet. Ausgangspunkt ist die Berechnung des zukünftigen Strombedarfs. Es folgt die Ermittlung der Beiträge der Kraft-Wärme-Kopplung sowie der Erneuerbaren Energien. Den Abschluss der Analyse bildet die Berechnung des zukünftigen Kraftwerksparks. Im Ergebnis wird dem Zahlengerüst der dena ein realistisches und belastbares Szenario gegenübergestellt, welches zudem die Klimaschutzziele der Bundesregierung bis 2020 angemessen berücksichtigt[59]. Da im Hinblick auf den Kernenergieausstieg das novellierte Atomgesetz, das einen Kernenergieausstieg bis 2023 vorsieht, zu Grunde gelegt wird, wird das Szenario als „Greenpeace/Kernenergieausstieg Bundesregierung“ bezeichnet. Bei Einhaltung des von der Bundesregierung formulierten Klimaschutzziels im Bereich Energieeffizienz konnte im Rahmen der genannten Untersuchung gezeigt werden, dass von Überkapazitäten in einer Größenordnung von rund 9 GW ausgegangen werden kann. Die Studie zeigt weiterhin, dass auch bei einem *vorzeitigen* Ausstieg aus der Kernenergienutzung (gemäß den Randbedingungen der vorliegenden Studie) nicht von einer Leistungslücke auszugehen ist, da auch dann im Jahr 2020 Überkapazitäten in der Größenordnung von etwa vier großen Kohlekraftwerken zur Verfügung stehen. Ohne eine Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke und den massiven Neubau von Kohlekraftwerken bestehen folglich ausreichend Freiheitsgrade für eine nachhaltige und sichere Energieversorgung.

Wird, wie im vorliegenden Greenpeace-Szenario, bei der Potenzialerschließung in allen Handlungsfeldern ein ambitionierteres Vorgehen als das der Bundesregierung gewählt, so erhöht sich der Umfang der Überkapazitäten weiter erheblich, d.h. die Versorgungssicherheit steigt. Insbesondere eine schnellere Erschließung der Effizienzpotenziale ist immer eine Stellschraube, die es ermöglicht, auf zusätzliche Kraftwerksleistung zu verzichten, denn die

[59] Die von der dena angesetzte Verringerung des absoluten Stromverbrauchs um nur 6,7 Prozent bis 2020 entspricht nicht dem von der Bundesregierung formulierten Ziel einer Senkung des Strombedarfs um 11 Prozent bis 2020 und impliziert daher eine Verfehlung des nationalen Klimaschutzziels einer 40prozentigen Emissionsminderung.

Jahreshöchstlast ist keine konstante Größe, sondern von der Entwicklung der Stromnachfrage (sowie vom Ausschöpfungsgrad der Möglichkeiten zur Spitzenlastreduzierung) abhängig. Ein sinkender Strombedarf geht tendenziell ebenfalls mit einer sinkenden Jahreshöchstlast einher, während ein steigender Strombedarf eine dementsprechend größere Kraftwerksleistung erforderlich macht. Allein der „Effizienz-Puffer", der sich bei der Entwicklung im Greenpeace-Szenario für die erforderliche gesicherte Kraftwerksleistung ergibt, entspricht mit rund 4 - 7 GW der Leistung von mehreren größeren Kraftwerken. Als weitere Stellschraube ist der verstärkte Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung zu nennen, der im Greenpeace-Szenario eine wesentliche Komponente zur Erhöhung der Versorgungssicherheit darstellt.

Festgehalten werden kann weiterhin, dass eine Vielzahl der in der dena-Studie verwendeten Annahmen und die daraus resultierende Schlussfolgerung einer drohenden Leistungslücke nicht nachvollziehbar sind.

Diese Einschätzung wird untermauert durch andere Studien, die das Ergebnis der Greenpeace Untersuchung in ihrer Kernaussage bestätigen und bis 2020 keine Engpässe in der Versorgungssicherheit sehen. Hierzu gehören die „Energieszenarien für den Energiegipfel 2007" der Bundesregierung, die Studie des Umweltbundesamtes „Atomausstieg und Versorgungssicherheit" (April 2008) sowie der Bericht des Bundeswirtschaftsministeriums „Monitoring – Bericht zur Versorgungssicherheit in Bereichen der leitungsgebundenen Elektrizität" (August 2008) ([21], [78], [79]). Vor dem Hintergrund der grundsätzlichen Bedeutung einer sicheren Energieversorgung hat der Gesetzgeber mit §51 des Energiewirtschaftsgesetzes das Bundeswirtschaftsministerium beauftragt, ein regelmäßiges Monitoring der Versorgungssicherheit durchzuführen. Das Gutachten vom 11. August 2008 sieht keine Gefahr für die Sicherheit der Stromversorgung in Deutschland und weist u.a. darauf hin, dass

- durch den Stopp von Planungen für neue Kohlekraftwerke die Wahrscheinlichkeit des Baus von Erdgas befeuerten Kraftwerken zunimmt (z.B. in Irsching 4 und 5, Lingen und Lubmin).
- es eine so genannte Kaltreserve von konservierten Kraftwerkskapazitäten in einem Umfang von 3.000 MW gibt, die bei Bedarf reaktiviert werden kann.
- ein Teil der fossilen Kraftwerke, die in den nächsten Jahren stillgelegt werden sollen, notfalls auch einige Jahre länger laufen könnten.
- der Ausbau der Erneuerbaren Energien rasanter voranschreitet als bisher (in 2007) angenommen.

Die Entwicklung zukünftiger Energieversorgungssysteme stellt grundsätzlich einen hoch komplexen, dynamischen Prozess dar. So zeigen beispielsweise Matthes

und Ziesing (2008) in ihrem Diskussionsbeitrag „Die Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks und die aktuelle Debatte um die künftige Strombedarfsdeckung“ [13] an zahlreichen Parametern auf, dass Analysen der vorliegenden Art aufgrund eines umfangreichen Annahmenkatalogs immer mit großen Bewertungsspielräumen und daraus resultierenden Prognoseunsicherheiten verbunden sind. Prinzipiell ist aber festzuhalten, dass ein Ausbau der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung und der Erneuerbaren Energien sowie eine Reduktion des Stromverbrauchs, wie im Greenpeace-Szenario angenommen, zu einer Erhöhung der Versorgungssicherheit beitragen.

12 WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG DES GREENPEACE-SZENARIOS

12.1 GEGENÜBERSTELLUNG VON INVESTITIONEN UND VERMIEDENEN BRENNSTOFFKOSTEN

Der stärkere Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und die deutlich umfangreichere Effizienzerschließung im Greenpeace-Szenario verglichen mit der BAU-Entwicklung (s. Kapitel 8) erfordern verstärkte Investitionen in den Klimaschutz. Analog zu den Ausführungen in Kapitel 8 erfolgt die Abschätzung dieser Mehr-Investitionen zum Einen über spezifische Investitionen (s. Tabelle 12-1), zum Anderen über typische (sektorspezifische) Energiepreise (2007) und Amortisationszeiten (s. Tabelle 12-2).

Tabelle 12-1: Annahmen für die Investitionsabschätzung zur Realisierung der Stromeinsparungen - spezifische Investitionen

	Spezifische Investitionen
Geothermie	5.000 €/kW_{el}
Ø KWK-Anlagen	1.500 €/kW_{el}

Tabelle 12-2: Annahmen für die Investitionsabschätzung zur Realisierung der Strom- und Wärmeeinsparungen - Energiepreise

	Industrie	GHD	Haushalte
Ø Strompreis	80 €/MWh	180 €/MWh	200 €/MWh
Ø Payback	3,0 Jahre	3,5 Jahre	3,5 Jahre
Ø Wärmepreis	45 €/MWh	60 €/MWh	70 €/MWh
Ø Payback	3,0 Jahre	3,5 Jahre	7,0 Jahre

Die sich aus diesen Annahmen ergebenden Investitionen in den stärkeren Ausbau der KWK belaufen sich bis 2020 auf rund 12 Mrd. €, für die schnellere Ausschöpfung der Geothermiepotenziale werden darüber hinaus rund 12,5 Mrd. € investiert. Der größte Unterschied, verglichen mit der Entwicklung im BAU-Szenario, besteht allerdings hinsichtlich des sparsameren Einsatzes der Energie, d.h. der Effizienzerschließung beim Strom- und Wärmeeinsatz. Hier fallen die größten Investitionen an. Insgesamt belaufen sich die Mehrinvestitionen im Greenpeace-Szenario auf gut 110 Mrd. € bis zum Jahr 2020.

Wie im Kapitel 9 ausführlich dargestellt, führen die Effizienzerschließungen beim Strom- und Wärmeeinsatz sowie der Ersatz fossiler und nuklearer Energieträger

durch lokal verfügbare Erneuerbare Energien zu einer deutlichen Reduktion der notwendigen Energieimporte.

Unter Zugrundelegung der Brennstoff- und CO_2-Preise der Studie „Globale Energie-[r]evolution“ läßt sich diese Einsparung bei den Energieimporten auch monetär bewerten. Der o.g. – einmaligen – Investition von rund 110 Mrd. €, die im Greenpeace-Szenario bis 2020 für zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen aufgewendet werden, steht eine jährlich wachsende Summe vermiedener Kosten für Brennstoffimporte gegenüber, die sich bis Jahr 2020 auf knapp 145 Mrd. €[60] beläuft.

Bis 2030 vergrößern sich die Unterschiede zwischen Greenpeace- und BAU-Szenario zunehmend. Die Mehrinvestitionen in Geothermie- und KWK-Ausbau sowie Energieeffizienz belaufen sich auf rund 224 Mrd. €, während sich die kumulierten Einsparungen durch vermiedene Energieimporte und CO_2-Emissionen dann auf über 525 Mrd. € erhöhen. Allein im Jahr 2030 betragen die Einsparungen gegenüber dem BAU-Szenario knapp 50 Mrd. €.

Exkurs

Beispielhaft sollen an dieser Stelle auch die Auswirkungen des Greenpeace-Szenarios für einen einzelnen (repräsentativen) Haushalt beleuchtet werden. Verglichen mit der Entwicklung im BAU-Szenario steigen zwar die spezifischen Stromerzeugungskosten bis 2020 leicht an (um 3 Prozent, vgl. Kapitel 9), dies wird aber durch den deutlich geringeren Stromverbrauch überkompensiert. Unter der Annahme, dass die Differenz der Strompreise im Haushaltssektor etwa der Differenz der Stromgestehungskosten entspricht, sind die Stromkosten einer Familie im Greenpeace-Szenario im Jahr 2020 rund 14,5 Prozent niedriger als im BAU-Szenario. Die zusätzlichen Einsparungen im Wärmebereich aufgrund des geringeren Verbrauchs belaufen sich auf durchschnittlich knapp 13 Prozent.

12.2 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE EINORDNUNG DES GREENPEACE-SZENARIOS

Der im Auftrag der britischen Regierung erstellte Stern-Report untersucht insbesondere die gesamtwirtschaftlichen Folgen der globalen Erwärmung und kommt zu den folgenden zentralen Ergebnissen [80]:

[60] kumulierte Einsparung über den Zeitraum 2011 – 2020 unter der Voraussetzung einer linear verlaufenden Potenzialerschließung

- Kosten des Handelns: Die jährlichen Kosten für die mindestens notwendige Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration zwischen 500 und 550 ppm CO_{2e} werden schätzungsweise bei etwa 1 Prozent des globalen Bruttoinlandsprodukts liegen, wenn jetzt begonnen wird, entschieden zu handeln.
- Kosten des Nichthandelns: Die Kosten des Klimawandels werden, wenn nicht gehandelt wird, dem Verlust von wenigstens 5 Prozent des globalen Bruttoinlandsprodukts entsprechen. Wenn man eine breitere Palette von Risiken und Einflüssen berücksichtigt, könnten die Schäden auf 20 Prozent oder mehr des Bruttoinlandsprodukts ansteigen.
- Ein verzögertes Vorgehen gegen den Klimawandel würde bedeuten, dass man einen stärkeren Klimawandel und schließlich höhere Anpassungskosten akzeptieren muss.

Zusammenfassend kann folglich festgehalten werden, dass die Kosten des Nicht-Handels höher sind als die Kosten des Handelns, und je länger wir mit Entscheidungen und damit der Implementierung von Maßnahmen warten, umso höher werden die Kosten. Es gibt folglich im Sinne des Vorsorgeprinzips keine Alternative zu einem möglichst schnellen und radikalen Umbau der existierenden Energieversorgungssysteme. Dieser bedarf in jedem Fall eines massiven Ausbaus der Erneuerbaren Energien sowie einer substantiellen Steigerung der Energieeffizienz.

Die Betrachtungen des vorangehenden Kapitels 12.1 untermauern die obige Aussage beispielhaft, denn die über den Betrachtungszeitraum (2007 bis 2020 bzw. 2030) kumulierten jährlichen Einsparungen durch vermiedene Brennstoffimporte und CO_2-Emissionen im Greenpeace-Szenario sind deutlich größer als die notwendigen Mehrinvestitionen in den Klimaschutz.

KOSTEN-WIRKSAMKEITS-ANALYSEN UND IHRE AUSSAGEGRENZEN

Aus theoretischer Sicht sollten politische Maßnahmen im Allgemeinen und Klimaschutzmaßnahmen im Speziellen dabei so gewählt werden, dass der gesamtwirtschaftliche (Grenz-)Nutzen den gesamtwirtschaftlichen (Grenz-)Kosten entspricht. Studien zu den Kosten und Nutzen des Klimaschutzes basieren in der Regel auf einzelwirtschaftlichen Analysen bestimmter Technologien (siehe auch Kapitel 12.1, das die Investitionen einer Minderungsmaßnahme den

abdiskontierten Energieeinsparungen der Folgejahre gegenüberstellt). Die Quantifizierung und Modellierung von Sekundär- bzw. Rückkopplungseffekten ist hingegen Bestandteil komplexer umweltökonometrischer Modelle.[61] Die in diesen Modellen berechneten Ergebnisse werden maßgeblich durch die Wahl der Annahmen bestimmt. Je größer der Zeithorizont und damit die Bedeutung von Struktureffekten, desto stärker sind die Annahmen allerdings mit Interpretationsspielräumen und damit mit Unsicherheiten verbunden. Dies gilt u.a. im Hinblick auf die unterstellten Preis- und Kostenentwicklungen. So weist z.B. Pfaffenberger darauf hin, dass sowohl die Prognose von Preisänderungen auf den Weltenergiemärkten als auch die Vorhersage von Kostenänderungen im Rahmen des technischen Fortschritts eine hochgradig spekulative Angelegenheit sind (vgl. [81], S.17 f.). Auch über die Ausgestaltung des Emissionshandels und damit die Entwicklung der CO_2-Preise nach 2020 sind heute kaum belastbare Aussagen möglich. Hieraus folgt, dass die Ergebnisse immer nur als eine grobe Trendaussage unter vorab definierten Bedingungen zu verstehen sind.

Externe Effekte und Konsequenzen ihrer Internalisierung

Eine weitere wesentliche Einschränkung der Aussagefähigkeit von Kosten-Wirksamkeits-Analysen liegt in der fehlenden bzw. nicht adäquaten Berücksichtigung der externen Kosten zusätzlich zu den Energiegestehungs-kosten. Die externen Kosten[62] gehen bis heute nicht verursachergerecht in die Strompreise ein, obwohl das Konzept in der ökonomischen Theorie fest verankert ist und die Existenz externer Effekte in der Energieversorgung weitgehend akzeptiert wird. Nach einer Studie für das BMU spielen die Treibhausgasemissionen in diesem Zusammenhang eine zentrale Rolle. Für die hierdurch verursachten Klimaschäden können danach als derzeit „bester Schätzwert“ Schadenskosten von 70 €/t CO_2 angesetzt werden [83]. Von Bedeutung sind daneben auch die durch Luftschadstoffe verursachten Gesundheits- und Materialschäden sowie, in geringerem Umfang,

---

[61] Das häufig angewendete umweltökonometrische Modell PANTA RHEI beinhaltet u.a. eine umfangreiche Input-Output-Analyse und greift auf die sog. Szenariotechnik zurück, bei der ein Referenzszenario ohne Maßnahmen und ein Politikszenario mit Maßnahmen gegenübergestellt werden ([82], S. 9 f.).

[62] Externe Effekte sind unmittelbare Auswirkungen der ökonomischen Aktivitäten eines Wirtschafssubjektes (Unternehmen, private und öffentliche Haushalte) auf die Produktions- oder Konsummöglichkeiten anderer Wirtschaftssubjekte, ohne dass eine adäquate Kompensation erfolgt ([83], S. 1).

landwirtschaftliche Ertragsverluste. Für die Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohle ergeben sich so – selbst unter Berücksichtigung moderner Technik – externe Kosten in einer Größenordnung von 6 bis 8 Cent/kWh. Für moderne, gasgefeuerte GuD-Kraftwerke liegen sie immer noch bei etwa 3 Cent/kWh. Demgegenüber verursacht die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien nur vergleichsweise geringe externe Kosten (i.d.R. unter 0,5 Cent/kWh; nur Photovoltaik derzeit noch etwa 1 Cent/kWh). Der Bau und die Entsorgung der Anlagen ist bei diesen Berechnungen einbezogen[63] ([39], S. 36).

Unter der wissenschaftlich belegten Annahme, dass der aus Erneuerbaren Energien erzeugte Strom derzeit vollständig fossil erzeugten Strom verdrängt, können die 2007 durch Erneuerbare Energien im Strombereich vermiedenen externen Kosten auf mindestens 5,8 Mrd. € (vergüteter und nicht vergüteter EEGStrom) geschätzt werden. Diese liegen damit höher als die EEG-Differenzkosten in Höhe von 4,3 Mrd. € im gleichen Zeitraum [39]. Desweiteren ist darauf hinzuweisen, dass die in den Differenzkosten zum Ausdruck kommenden Mehrkosten der Erneuerbaren Energien vom Preisniveau der konventionellen Energie abhängig sind, wobei das Geschehen an den Weltenergiemärkten von sehr vielen Einflussfaktoren geprägt wird. Die Entwicklung von Erneuerbaren Energiequellen kann deshalb auch als eine Art Versicherungsprämie gegen zukünftige Preissteigerungen von fossiler Energie angesehen werden ([81], S.17 f.; [84], S. 15). Diese Aussage wird durch die Sensitivitätsanalysen aus Kapitel 9.2 eindrücklich bestätigt.

Beschäftigungseffekte der Erneuerbaren Energien

Neben der Untersuchung der (Energie-)Preisentwicklung liegt auf der Ermittlung der Beschäftigungswirkungen energiepolitischer Maßnahmen ein weiterer Schwerpunkt ökonomischer Analysen. Es geht dabei bei den Berechnungen weniger um Größenordnungen, sondern um die zentrale Frage des Vorzeichens im Sinne eines Beschäftigungsabbaus bzw. Beschäftigungsanstiegs (s.o.). Im Zusammenhang mit den Beschäftigungseffekten der Erneuerbaren Energien wird als zentrales Ergebnis immer wieder auf die große Bedeutung der o.g. Differenzkosten verwiesen, da die Mehrausgaben für die Erneuerbaren Energien

[63] Weitere externe Effekte (Beeinträchtigung von Biodiversität, Ökosystemen und Versorgungssicherheit sowie geopolitische Risiken) der fossilen Stromerzeugung können aus Mangel an belastbaren Daten kaum quantifiziert werden. Die o.g. Größen sind damit nur eine Teilsumme der derzeit tatsächlich zu erwartenden externen Kosten.

grundsätzlich mit negativen Beschäftigungseffekten verbunden sind. In ihrer aktuellen Studie „Beschäftigungseffekte des Klimaschutzes in Deutschland“ (2008) [82] im Auftrag des Umweltbundesamtes weisen Lutz und Meyer darauf hin, dass die Nettoarbeitsplatzeffekte des Ausbaus Erneuerbarer Energien in der Vergangenheit ausführlich untersucht worden sind ([84], [85], [86]) und dass in einer vor allem im Strombereich sehr differenzierten Analyse festgestellt werden konnte, dass der Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland unter Berücksichtigung aller direkten und indirekten Wirkungen durchgehend mit deutlich positiven Nettobeschäftigungseffekten verbunden ist. Erkennbar ist, dass in zahlreichen Studien seit dem Jahr 2004 eine starke Korrektur der Zahlen nach oben erfolgt ist. So wird der Nettobeschäftigungseffekt unter konservativen Annahmen bis zum Jahr 2020 mittlerweile auf mehr als 70.000 beziffert. Werden optimistischere Annahmen im Sinne eines deutlicheren Anstiegs der Energiepreise sowie einer günstigeren Exportentwicklung verwendet, erhöht sich die Größenordnung des Nettobeschäftigungseffekts auf über 100.000 bis 2020 und auf bis zu 180.000 Arbeitsplätze bis 2030 (siehe [39]). Mögliche negative Effekte wie kurzfristig höhere Strompreise werden folglich durch höhere inländische Investitionen und steigende Exporte von Erneuerbaren-Energien-Anlagen mehr als ausgeglichen. Als wesentliche Einflussfaktoren auf die Beschäftigungshöhe konnten wie erwähnt die allgemeine Energiepreisentwicklung sowie die Auslandsnachfrage identifiziert werden, und es konnte gezeigt werden, dass das Ergebnis bzgl. verschiedener Parametervariationen etwa bei den internationalen Energiepreisen sehr stabil ist [84].

Die Erschließung von Energieeinspar- und EffizienzPotenzialen kann ebenfalls positive Beschäftigungseffekte haben.[64] Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall, da die monetären Einsparungen der Effizienzerschließung auch zu einer Steigerung der Unternehmensgewinne bzw. zu höheren Löhnen der Beschäftigten führen können. [87]

Schließlich ist eine für die Erreichung anspruchsvoller Klimaschutzziele entscheidende Frage im Sinne der Erreichung eines gesamtwirtschaftlichen Optimums, welcher Ausbaupfad der Erneuerbaren Energien bei welchen Fördersätzen etc. im Sinne von Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit zukünftig optimal ist. Die Beantwortung dieser Frage bedarf in jedem Fall weiterer eingehender Untersuchungen sowie eines kontinuierlichen

[64] Das Umweltbundesamt [82] nennt z.B. im Zusammenhang mit der Energieeinsparung durch Informationsinstrumente Beschäftigungseffekte in Höhe von 22.000 im Jahr 2020.

Monitorings. Die sehr positiven Ergebnisse der Evaluierung der Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland in Staiß et al. (2006) legen aber nahe, dass eine zusätzlich beschleunigte Förderung z.B. über das ambitionierte Ziel eines Anteils von 25-30 Prozent bei der Stromerzeugung im Jahr 2020 hinaus aus aktueller Sicht eine volkswirtschaftlich sinnvolle Maßnahme zur Erreichung von Klimaschutzzielen ist [84]. Dies ist immer im Vergleich zu anderen Maßnahmen zu sehen [82].

13 FAZIT

Im Jahr 2007 hat Greenpeace mit dem Energiekonzept „Klimaschutz: Plan B“ ein nationales Energiekonzept bis zum Jahr 2020 präsentiert. Zwischenzeitlich haben sich die Rahmenbedingungen in der deutschen Energiepolitik zum Teil erheblich gewandelt. Gleichzeitig bestätigen die neuesten Erkenntnisse der Klimaforschung einen dringenderen und umfassenden Handlungsbedarf, der in der Forderung von Greenpeace mündet, bis zur Mitte des Jahrhunderts eine annähernd emissionsfreie Wirtschaft anzustreben. Daraus ist die Notwendigkeit zur Erstellung eines nachhaltigen Energieversorgungskonzeptes mit einem langfristigen Zeithorizont bis 2050 erwachsen. Mit dem vorliegenden Greenpeace-Szenario - einer Aktualisierung, Fortschreibung und Erweiterung von „Klimaschutz: Plan B“ - wird im Wahljahr 2009 somit ein wichtiger Diskussionsbeitrag zur aktuellen Klimaschutzdebatte geleistet.

Seit dem Jahr 2004 sind sowohl die Bruttostromerzeugung als auch der nationale Stromverbrauch kontinuierlich gestiegen. Die Halbzeitbilanz der Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Energieproduktivität von 1990 bis 2005 macht ebenfalls deutlich, dass die Erschließung der Effizienzpotenziale in der Vergangenheit bei weitem nicht ausreichend war. Handlungsdefizite und entsprechende Maßnahmenempfehlungen konnten insbesondere in den Bereichen rationeller Stromeinsatz, Wärmebedarf im Gebäudesektor, Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, Verkehr sowie Nicht-CO_2-Treibhausgase identifiziert werden. Anders als der Stromeinsatz ist der Wärmeeinsatz dagegen in allen Sektoren rückläufig, wenngleich auch hier, insbesondere im Gebäudebereich, noch beträchtliche Reduktionspotenziale vorhanden sind.

Einmal mehr konnte gezeigt werden, dass ambitionierte Emissionsminderungen einen grundlegenden Umbau des deutschen Energieversorgungssystems auf der Basis einer raschen Erschließung der Effizienzpotenziale sowie eines massiven Ausbaus der Erneuerbaren Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung erfordern. Verbunden hiermit ist ein stetig sinkender Beitrag des zentralen fossilen Kraftwerksparks, der schon im Jahr 2040 nicht mehr benötigt wird. Auf einen weiteren Zubau fossiler Großkraftwerke kann schon heute verzichtet werden. Ferner konnte herausgearbeitet werden, dass bereits heute eine Systementscheidung zugunsten der Erneuerbaren Energien und gegen den Ausbau von Großkraftwerken getroffen werden muss.

Auch der von Greenpeace geforderte vorgezogene Kernenergieausstieg bis zum Jahr 2015 ist darstellbar. Weder Maßnahmen zur Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (CCS) noch die Kernenergie werden folglich als sogenannte Überbrückungstechnologien benötigt. Vielmehr widersprechen sowohl der Ausbau der Kohlekraft als auch die Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken der

Zielerreichung beim Klimaschutz. Ein Festhalten an diesen energiepolitischen Schwerpunkten impliziert daher für die Zukunft entweder eine Relativierung der Klimaschutzziele oder Investitionsruinen.

Die zentrale Bedeutung der Erneuerbaren Energien wird insbesondere im Zusammenhang mit der Deckung des Strombedarfs deutlich. Hier leisten die Erneuerbaren Energien bereits im Jahr 2020 einen Beitrag von 37 Prozent. Im Jahr 2050 ist eine vollständige Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien möglich. Insbesondere ein massiver Ausbau der Geothermie und der Offshore-Windkraft ermöglichen die genannten Steigerungsraten. Der Anteil der fossilen Kraft-Wärme-Kopplung schwankt zwischen 27 und 36 Prozent im Zeitraum 2020 bis 2040 und sinkt anschließend auf Null.

Es konnte nachgewiesen werden, dass mit dem Greenpeace-Szenario weder Einschränkungen der Versorgungssicherheit noch Kostensteigerungen gegenüber einer Referenzsituation, die die aktuellen Energieerzeugungs- und -bedarfs-strukturen im wesentlichen fortschreibt, verbunden sind. So zeigt ein Vergleich der absoluten jährlichen Stromgestehungskosten beider Szenarien für die Jahre 2020 und 2030, dass das Greenpeace-Szenario in 2020 um zehn Prozent geringere Kosten und in 2030 etwa gleiche Kosten verursacht. Gleichzeitig geht die Importabhängigkeit im Greenpeace-Szenario im Zeitraum von 2007 bis 2050 von aktuell rund 71 Prozent auf elf Prozent substantiell zurück. Maßgeblich hierfür verantwortlich sind ein Rückgang des Energiebedarfs (Primärenergieeinsatzes) um rund 66 Prozent und die Umstellung der Energieerzeugung auf Erneuerbare Energien sowie einen geringen Anteil Erdgas. Der Erdgasbedarf nimmt trotz eines höheren Einsatzes im Stromsektor bis 2020 absolut um 7,5 Prozent und bis 2030 sogar um 26 Prozent ab. Dies zeigt, dass die Gefahr der Abhängigkeit von Erdgasimporten z.B. aus Russland durch das Greenpeace-Szenario verringert wird.

Der größte Unterschied, verglichen mit der Entwicklung im BAU-Szenario, besteht in der umfangreichen Effizienzerschließung beim Strom- und Wärme-einsatz. Die Mehrinvestitionen für diese und andere Klimaschutzmaßnahmen belaufen sich im Greenpeace-Szenario auf gut 110 Mrd. € bis zum Jahr 2020. Eine lineare Potenzialerschließung vorausgesetzt, belaufen sich dagegen die kumulierten Energiekosteneinsparungen durch vermiedene Brennstoffimporte bis 2020 bereits auf knapp 145 Mrd. €.

Im Hinblick auf die langfristig erreichbare Emissionsreduktion kommt das Greenpeace-Szenario zu dem Ergebnis, dass im Vergleich zum Basisjahr 1990

eine Emissionsminderung um etwa 90 Prozent bis 2050 technisch möglich und bei einer konsequenten Klimaschutzpolitik auch umsetzbar ist. Vor allem die Prozessemissionen[65] stehen der Realisierung einer vollständig emissionsfreien Wirtschaft entgegen. Um das genannte 90-Prozent-Ziel zu erreichen, ist allerdings bereits bis 2020 eine Emissionsminderung um 46 Prozent erforderlich. Die stärksten Emissionsreduktionen können den Sektoren private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie dem Verkehrssektor zugeordnet werden. Dabei zeigen die Berechnungen, dass die übergeordnete Zielsetzung, den Verkehrssektor bis 2050 CO_2-emissionsfrei zu gestalten, mit einer Umstrukturierung des Sektors und dem weitgehenden Ersatz des klassischen Verbrennungsmotors durch neue Konzepte nahezu erreicht werden kann.

Das Klimaschutzziel der Bundesregierung einer Treibhausgasminderung in Höhe von 40 Prozent bis 2020 und das hierauf basierende Integrierte Klima- und Energieprogramm erfüllen schon heute nicht mehr die Anforderungen an die bis zur Mitte des Jahrhunderts notwendige Energiewende. Vielmehr müssen weitergehende Grundlagen für einen radikalen Umbau der Energieversorgungs-strukturen und für effektivere klimaschutzpolitische Maßnahmen geschaffen werden. In diesem Zusammenhang stehen die Kraft-Wärme-Kopplung und die Erschließung der umfangreichen Effizienzpotenziale als Brückentechnologien im Vordergrund. Die Diskussion um eine Laufzeitverlängerung bestehender Kernkraftwerke, aber auch die Fokussierung auf CCS im Rahmen des Zubaus von Kohlekraftwerken sind dagegen weder hilfreich noch zielführend.

[65] Z.B. können die prozessbedingten CO_2-Emissionen in der Kalkindustrie aufgrund der Natur der gewünschten Produkte nur durch eine Reduktion der Produktionsmenge reduziert werden.

14 LITERATUR

[1] Greenpeace Deutschland e.V./EUtech Energie & Management GmbH: *Klimaschutz: Plan B - Nationales Energiekonzept bis 2020*, Aachen, 2007

[2] Bundesregierung: *Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm*, Meseberg, 2007

[3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4), Klimaänderung 2007:Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger,* Genf/Bern/Wien/Berlin, 2007

[4] OECD/International Energy Agency (IEA): *World Energy Outlook 2008*, Paris, 2008

[5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Neues Denken - Neue Energie: Roadmap Energiepolitik 2020*, Berlin, 2009

[6] Europäische Union (EU): *Energie- und Klimapaket*, 2008

[7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Den Herausforderungen der Klimapolitik erfolgreich begegnen – Hintergrundpapier zur Verabschiedung des zweiten Maßnahmenpaketes des integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung*, Berlin, 2008

[8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Leitstudie 2008 - Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas*, Stuttgart, 2008

[9] Umweltbundesamt (UBA): *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2007*, Dessau, 2009

[10] Umweltbundesamt (UBA): *Klimaschutz: Treibhausgasemissionen 2008 auf tiefstem Stand seit 1990*, Presseinformation 16/2009, Dessau, 2009

[11] Hans-Joachim Ziesing: *CO_2-Emissionen in Deutschland im Jahr 2008 im Abschwung*, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 59. Jg. (2009) Heft 4

[12] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): *Energiedaten-Zahlen und Fakten, Nationale und Internationale Entwicklung*, (Stand: 24.02.2009) www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Energiestatistiken.html

[13] Matthes, F. Chr./Ziesing, H. J.: *Die Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks und die Deckung des Strombedarfs* (Diskussionsbeitrag), Berlin, 2008

[14] Umweltbundesamt (UBA): *Kraftwerke in Deutschland ≥ 100 MW*, Dessau, Stand: 31. März 2008

[15] Greenpeace Deutschland e.V./EUtech Energie & Management GmbH: *Sicherheit der Stromversorgung in Deutschland: Stellungnahme zur Dena-Kurzstudie „Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland bis 2020“*, Aachen, 2008

[16] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): *Kurzanalyse der Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland bis 2020 (mit Ausblick auf 2030), Annahmen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen* (Präsentation), Berlin, 12. März 2008

[17] Greenpeace Deutschland e.V.: *Zusätzliche Informationen im Rahmen der Projektbearbeitung*, Hamburg/Aachen, März 2009 – Juni 2009

[18] Nitsch, J.:Weiterführende Informationen zum Datengerüst der BMU-Leitstudie 2008, Emails vom 23.04.09 und 29.04.2009, Aachen, 2009

[19] Europäisches Parlament/Doyle, A*.: Report on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading system of the Community*, Brüssel, 2008

[20] Greenpeace International: *Racing over the Edge- New science on the climate crisis*, Amsterdam, 2009

[21] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln/Prognos AG: *Energieszenarien für den Energiegipfel 2007*, Basel/Köln, 2007

[22] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): *Energie in Deutschland – Trends und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland*, Berlin, 2008

[23] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW): *Stromerzeugung und -verbrauch 2008* (Präsentation zur Sitzung der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.), Hamburg, 18. Dezember 2008

[24] Umweltbundesamt (UBA): *Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland*, Berlin, 2002

[25] EUtech Energie & Management GmbH: *NRW 2020 - Beitrag Nordrhein-Westfalens zur Erreichung des nationalen Klimaschutzziels*, Aachen, 2008

[26] Umweltbundesamt (UBA): *Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III*, Dessau, 2005

[27] Umweltbundesamt (UBA): *Politikszenarien für den Klimaschutz IV – Szenarien bis 2030*, Dessau, 2008

[28] Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ): *Klimaschutz wird verschärft*, Artikel vom 17. April 2009, Frankfurt, 2009

[29] Hans-Joachim Ziesing, CO_2-Emissionen in Deutschlad im Jahr 2008 im Abschwung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 59. Jg. (2009) Heft 4

[30] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: *Klimawirksame Emissionen des PKW-Verkehrs und Bewertung von Minderungsstrategien*, Wuppertal, 2006

[31] Acatech: *Mobilität 2020. Perspektiven für den Verkehr von Morgen. Schwerpunkt: Straßen- und Schienenverkehr*, 2006

[32] Friedrich-Ebert-Stiftung: *Klimaschutz und Straßenverkehr - Effizienzsteigerung und Biokraftstoffe und deren Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen*, 2008

[33] Greenpeace Deutschland e.V./EUtech Energie & Management GmbH: *Biokraftstoffe und Klimaschutz*, Aachen, 2008

[34] Umweltbundesamt (UBA): *Technikkostenschätzung für die CO_2-Emissionsminderung bei Pkw – Emissionsminderungspotenziale und ihre Kosten*, Dessau, 2008

[35] Trägergemeinschaft Erdgasfahrzeuge: *Erdgasbusse im ÖPNV sind wirtschaftlich! Ergebnisse eines betriebswirtschaftlichen Monitorings der WIBERA in Berlin*, 2007

[36] Umweltbundesamt (UBA): *Vergleich der Schadstoffemissionen einzelner Verkehrsträger (Bezugsjahr 2005)*, Dessau, 2007 http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Vergleich-Personenverkehr.pdf

[37] Europäische Union (EU): *Richtlinie 2008/101/EG, Einbeziehung des Luftverkehrs in das System für den Handel mit Treibhausgas-emissionszertifikaten in der Gemeinschaft*, Brüssel, 2009, L8, S.3-21

[38] IMO International Maritime Organization, Informationen der Internetseite, abgerufen im Mai 2009, www.imo.org

[39] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Erneuerbare Energien in Zahlen*, Berlin, 2008

[40] Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. (BEE): *Stromversorgung 2020 - Wege in eine moderne Energiewirtschaft*, Berlin, 2009

[41] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland*, Berlin, 2004

[42] Bundesverband für Solarwirtschaft (BSW-Solar), Informationen der Internetseite, abgerufen im Mai 2009, www.solarwirtschaft.de/

[43] Greenpeace Deutschland e.V.: *Wüstenstrom – von der Vision zur Wirklichkeit*, Hamburg, 2009

[44] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Bericht über ein Konzept zur Förderung, Entwicklung und Markteinführung von geothermischer Stromerzeugung und Wärmenutzung*, Berlin, 2009

[45] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): *Analyse des nationalen Potentials für den Einsatz hocheffizienter KWK, einschließlich hocheffizienter Kleinst-KWK, unter Berücksichtigung der sich aus der EU-KWK-RL ergebenden Aspekte*, Bremen, 2005

[46] Schulz, W., Bremer Energie Institut: *Kraft-Wärme-Kopplung: Technische und wirtschaftliche Potentiale*, Präsentation von 25./26.10.2007 im Rahmen des Zukunft Haus Kongress, Berlin, 2007

[47] Umweltbundesamt (UBA): *Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes*, Dessau, 2008

[48] Ecofys: *Erreicht das Integrierte Klima- und Energiepaket der Bundesregierung die gesetzten Einsparziele?*, 2008

[49] Fell, H.-J.: *Bewertung der Novelle des KWK-Gesetzes*, Berlin, 2007

[50] Umweltbundesamt (UBA*): Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar 1990-2004. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2006*, Dessau, 2006

[51] Öko-Recherche GmbH: *Das Minderungspotenzial der Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland bis 2050 (Gutachten)*, Frankfurt, 2009

[52] Fraunhofer-Institut für Innovations- und Systemforschung (FhG-ISI)/Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) et al.*: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland,* Potsdam, 2008

[53] Umweltbundesamt (UBA): *Wirkung der Meseberger Beschlüsse vom 23. August 2007 auf die Treibhausgasemissionen in Deutschland im Jahr 2020*, Berlin, 2007

[54] Greenpeace Deutschland e.V./EUtech Energie & Management GmbH: *Bewertung und Vergleich mit dem Greenpeace Energiekonzept „Plan B" – Das integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (Meseberger-Beschlüsse)*, Aachen, 2007

[55] Europäische Union (EU): *Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Anforderung an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates*, Brüssel, 2005

[56] Hansen, P.: *Maßnahmen und Instrumente für Einsparpotenziale im Gebäudebestand – Politikszenarien bis 2030*, FVEE Themen 2008, S. 126-130

[57] Bundesrat: Bundesrat verlangt zahlreiche Änderungen an Energieeinsparverordnung, Online-Artikel vom 06.03.2009, Berlin, 2009 www.bundesrat.de/DE/presse/pm/2009/048-2009.html

[58] Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES)/Bremer Energie Institut: *Studie zu den Energieeffizienzpotentialen durch Ersatz von elektrischem Strom im Raumwärmebereich*, 28.02.2007

[59] Geothermische Vereinigung - Bundesverband Geothermie e.V.: *Brief von Hartmut Gaßner (Präsident) an die Mitglieder der SPD und der CDU/CSU im Ausschuß für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 08.06.2009*, Berlin, 2009

[60] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): *Abscheidung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid - Der Gesetzentwurf der Bundesregierung im Kontext der Energiedebatte (Stellungnahme)*, Berlin, 2009

[61] Greenpeace Deutschland e.V., *Das integrierte Klimaschutz- und Energieprogramm – Eine aktualisierte Bewertung*, Hamburg, 2008

[62] Fell, H.-J.: *Bewertung der Novelle des KWK-Gesetzes*, Berlin, 2007

[63] Derek Turner, Managing Director Londoner Straßenbehörde: *Towards Carfree Cities*, Conference IV, Berlin, 2004

[64] Schweizer Bundesamt für Verkehr (BAV): *Expertentalk zum Thema Güterverkehr über die Alpen*, Hamburg, 18.Oktober 2007

[65] Cramer, M.: *Auf Schweizer Spuren*, FAZ, 26. Juni 2007

[66] Wuppertal Institut: *Braunkohle – ein subventionsfreier Energieträger? Kurzstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes*, Wuppertal, 2004

[67] Umweltbundesamt (UBA): Informationen der Internetseite, abgerufen im Mai 2009,www.umweltbundesamt.de/produkte/fckw/international.html

[68] Greenpeace e.V., World Wildlife Fund (WWF), Germanwatch e.V. u.a.: *Ein Kopenhagener Klimaabkommen, Version 1.0. Entwurf für ein Kopenhagen-Abkommen von Mitgliedern von Nichtregierungsorganisationen*, 2009

[69] Schwarz, W.: *Emissionen und Emissionsprognosen von H-FKW, FKW und SF_6 in Deutschland. Aktueller Stand und Entwicklung eines Systems zur jährlichen Ermittlung*, Frankfurt, 2005

[70] Tohka, A./International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA): *The GAINS Model for Greenhouse Gases – Version 1.0: HFC, PFC and SF6, IIASA Interim Report IR-05-56*, 2005

[71] Groscurth, H./Bode: *Anreize für Investitionen in konventionelle Kraftwerke – Reformbedarf im liberalisierten Strommarkt*, arrhenius Discussion Paper 2, Hamburg, 2009

[72] The Boston Consulting Group (BCG): *Keeping the Lights On*, BCG Report, Boston, 2003

[73] Joskow, P.L.: *Competitive Electricity Markets and Investment in New Generating Capacity*, Research Paper, MIT, Boston, 2006

[74] Ockenfels, A. et al.: *Strommarktdesign – Preisbildungsmechanismus im Auktionsverfahren für Stromstundenkontrakte an der EEX*, Gutachten im Auftrag der European Energy Exchange AG zur Vorlage an die Sächsische Börsenaufsicht, Köln / Leipzig, 2008

[75] Bode, S./ Groscurth, H*.: Anreize für Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien unter verschiedenen Förderungsinstrumenten*, arrhenius Discussion Paper 1, Hamburg, 2008

[76] Greenpeace International/European Renewable Energy Council (EREC): *energy [r]evolution*, Amsterdam, 2007

[77] Strom-Magazin: *Steinkohle-Förderung in Deutschland gesunken*, Online-Artikel vom 30.03.2007, www.strom-magazin.de/strommarkt/steinkohle-foerderung-in-deutschland-gesunken_19629.html

[78] Umweltbundesamt (UBA): *Atomausstieg und Versorgungssicherheit*, Dessau, 2008

[79] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): *Monitoring – Bericht zur Versorgungssicherheit in Bereichen der leitungsgebundenen Elektrizität*, Berlin, 2008

[80] Stern, N.: *Stern Review on the Economics of Climate Change*, London, 2006

[81] Pfaffenberger, W. et al.: *Ermittlung der Arbeitsplätze und Beschäftigungswirkungen im Bereich Erneuerbarer Energien*, Bremen, 2003

[82] Umweltbundesamt (UBA): *Beschäftigungseffekte des Klimaschutzes in Deutschland*, Dessau, 2008

[83] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)/Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI): *Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern*, Stuttgart, 2006

[84] Staiß, F. et al.: *Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt*. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, 2006

[85] Kratztat, M. et al.: *Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte 2006*. Abschluss-bericht des Vorhabens "Wirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt – Follow up". Studie im Auftrag des BMU, Berlin, 2007

[86] Lehr, U. et al.: *Renewable Energy and Employment in Germany*. Energy Policy, 36 (1), Elsevier Ltd., 2007, S. 100-117

[87] Fischer, H. et al.: *Wachstums- und Beschäftigungsimpulse rentabler Dematerialisierung,* in: Aachener Stiftung Kathy Beys (Hrsg.): Ressourcenproduktivität als Chance - Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland, Aachen, 2005, S. 33-48

ANHANG A: DATENGERÜST DES GREENPEACE-SZENARIOS

Tabelle A-1: Stromerzeugung (Endenergie) nach Energieträgern

	2007* [TWh/a]	2020 [TWh/a]	2030 [TWh/a]	2040 [TWh/a]	2050 [TWh/a]
Endenergie aus dem zentralen fossilen Kraftwerkspark	**446**	**166**	**28**	**0**	**0**
Steinkohle	120	72	0	0	0
Braunkohle	133	48	0	0	0
Gas	65	46	28	0	0
Öl	8	0	0	0	0
Kernenergie	120	0	0	0	0
Endenergie-Beitrag der Erneuerbaren Energien**	**87**	**174**	**257**	**350**	**468**
Biomassen	23	25	27	35	45
Wasserkraft	21	24	25	25	25
Windkraft	40	100	160	213	255
PV	3	20	30	40	50
Geothermie	0	5	15	37	93
Solarthermische Kraftwerke	*Erwartbar: 15 TWh/a ab 2030, hier nicht berücksichtigt!*				
Endenergie-Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung	**70**	**157**	**203**	**192**	**138**
Steinkohle	n.b.	32	24	0	0
Braunkohle	n.b.	13	8	0	0
Gas	n.b.	82	129	120	0
Öl	n.b.	0	0	0	0
Biomasse	n.b.	25	27	35	45
Geothermie	n.b.	5	15	37	93
Gesamte Erzeugung (Endenergie)	**529**	**466**	**446**	**446*****	**465*****
Steinkohle	n.b.	104	24	0	0
Braunkohle	n.b.	61	8	0	0
Gas	n.b.	128	157	120	0
Öl	n.b.	0	0	0	0

	2007* [TWh/a]	2020 [TWh/a]	2030 [TWh/a]	2040 [TWh/a]	2050 [TWh/a]
Biomasse	23	25	27	35	45
Wasserkraft	21	24	25	25	25
Windkraft	40	100	160	213	255
PV	3	20	30	40	50
Geothermie	0	5	15	37	93
Fluktuierende RES (Wind, PV)	43	120	190	253	305
Anteil fluktuierender RES	7%	24%	39%	47%	50%
Anteil RES	16%	37%	58%	74%	100%
„Effizienz“-Einsparungen (i. Vergleich zu BAU-Szenario)	0	915	1.220	1.180	910

* eigene Berechnungen nach ([12], [45], ohne Export

** z.T. in KWK

*** leichtes Überangebot an Strom aus Erneuerbaren Energien und KWK in 2040 und 2050

Tabelle A-2: Installierte Kapazitäten

in GW	2007*	2020	2030	2040	2050
Großkraftwerke**	**100**	**34**	**7,8**	**0**	**0**
Steinkohle	29	14	0	0	0
Braunkohle	23	7	0	0	0
Gas	21	13	7,8	0	0
Öl	5	0	0	0	0
Kernenergie	21	0	0	0	0
Erneuerbare Energien**	**34**	**77**	**108**	**139**	**172**
Biomassen	3	5	6	8	10
Wasserkraft	5	5	6	6	6
Windkraft	22	46	63	78	89
PV	4	20	30	40	50
Geothermie	0	1	3	7	17
Kraft-Wärme-Kopplung	**n.b.**	**32**	**45**	**45**	**27**
Steinkohle	n.b.	6	5	0	0
Braunkohle	n.b.	3	2	0	0
Gas	n.b.	17	29	30	0
Öl	n.b.	0	0	0	0
Biomasse	n.b.	5	6	8	10
Geothermie	n.b.	1	3	7	17
Gesamte Erzeugung	**138**	**137**	**152**	**169**	**172**
Steinkohle	29	20	5	0	0
Braunkohle	23	10	2	0	0
Gas	21	30	37	30	0
Öl	5	0	0	0	0
Kernenergie	21	0	0	0	0
Biomasse	3	5	6	8	10
Wasserkraft	5	5	6	6	6
Windkraft	22	46	63	78	89
PV	4	20	30	40	50
Geothermie	0	1	3	7	17
Fluktuierende RES	26	66	93	118	139
Anteil flukt. RES	19%	48%	61%	70%	81%
Anteil RES	25%	56%	71%	82%	100%

* nach [12]

** 2007: inkl. KWK, ab 2020: genutzte Leistung der Kondensationskraftwerke im Greenpeace-Szenario

*** z.T. in KWK

Tabelle A-3: Wärmeversorgung

	2007 [TWh/a]	2020 [TWh/a]	2030 [TWh/a]	2040 [TWh/a]	2050 [TWh/a]
Gesamte Erzeugung (Endenergie)	**1.274**	**1.003**	**809**	**651**	**500**
Fossil	**1.175**	**836**	**564**	**311**	**25**
Erneuerbare Energien	**99**	**167**	**245**	**340**	**475**
Biomasse	93	120	125	150	210
Solarthermie	4	25	60	90	115
Geothermie	2	22	60	100	150
Wärme von KWK	**170**	**250**	**280**	**290**	**290**
Fossile Brennstoffe	n.b.	154	159	111	0
Biomasse	n.b.	83	90	117	150
Geothermie	n.b.	13	31	62	140
Anteil RES	8%	17%	30%	52%	95%
„Effizienz“-Einsparungen (i. Vergleich zu BAU-Szenario)	0	211	349	434	515

Tabelle A-4: CO_2-Emissionen

CO_2-Äquivalente	2007 [Mio. t/a]	2020 [Mio. t/a]	2030 [Mio. t/a]	2040 [Mio. t/a]	2050 [Mio. t/a]
Gesamte CO_2-Emissionen und andere THG	**956**	**663**	**410**	**255**	**119**
davon CO_2-Emissionen	841	579	343	203	82
Großkraftwerke*	n.b.	**143**	**12**	**0**	**0**
Steinkohle	n.b.	69	0	0	0
Braunkohle	n.b.	54	0	0	0
Gas	n.b.	20	12	0	0
Öl	n.b.	0	0	0	0
Emissionen von KWK	n.b.	**88**	**92**	**58**	**0**
Steinkohle	n.b.	29	20	0	0
Braunkohle	n.b.	13	7	0	0
Gas	n.b.	46	65	58	0
Öl	n.b.	0	0	0	0
Emissionen von Elektrizität- und Dampferzeugung	**n.b.**	**231**	**104**	**58**	**0**
Steinkohle	n.b.	98	20	0	0
Braunkohle	n.b.	67	7	0	0
Gas	n.b.	66	77	58	0
Öl	n.b.	0	0	0	0
Emissionen nach Sektoren					
Energiewirtschaft	386	211	57	29	0
Industrie	175	74	61	40	23
GHD und HH	129	115	92	44	4
Verkehr	152	102	60	28	2
Minderung im Vergleich zu 1990	-22%	-46%	-67%	-79%	-90%
Bevölkerung (Millionen)	82,4	81,4	79,3	77,3	75,1
CO_2-Emissionen pro Person (t/Person)	10,2	7,1	4,3	2,6	1,1
„Effizienz“ Einsparungen (Im Vergleich zu REF.)	0	172	299	300	297

* 2007: inkl. KWK, in 2020 und 2030: einschließlich Emissionen aus zentraler Wärmeerzeugung

ANHANG B: WEITERE INFORMATIONEN ZUR STROMPREISENTWICKLUNG

Abbildung B-1 bis Abbildung B-4 zeigen jeweils die Änderung der Kostendifferenz zwischen den beiden Szenarien, wenn sich die Preise für Steinkohle und Erdgas bzw. für CO_2 und Erdgas über weite Bereiche ändern. Für alle übrigen Preise wurden – wie in Abbildung 9-1 – die in Tabelle B-1 genannten Werte verwendet.

Tabelle B-1: Annahmen zu den Rahmendaten

Rahmendaten	Einheit		2020	2030
Brennstoffpreise*				
Braunkohle	€/MWh_f		4,5	5,6
Erdgas	€/MWh_f		21,0	32,0
Öl	€/MWh_f		50,0	70,0
Steinkohle	€/MWh_f		9,0	10,0
Uran	€/MWh_f		3,5	
Biomasse	€/MWh_f		20,0	22,0
Biogas	€/MWh_f		24,0	26,0
Umweltdaten				
CO_2-Preis	€/t		30,0	45,0
spez. CO_2-Emissionen				
Braunkohle	t/MWh_f	0,39		
Erdgas	t/MWh_f	0,20		
Erneuerbare Energie	t/MWh_f	0,00		
Öl	t/MWh_f	0,27		
Steinkohle	t/MWh_f	0,34		
Uran	t/MWh_f	0,00		
Investitionsdaten				
Zinssatz	1/a	10%		

* Quelle für Preisdaten: Greenpeace und EREC 2007 [76]; eigenen Umrechnung

Für 2020 weist das Greenpeace-Szenario bei allen untersuchten Kombinationen von Steinkohle- und Erdgaspreisen geringere Kosten auf als das BAU-Szenario (Abbildung B-1). Die Ersparnisse liegen zwischen 5 und 14 Prozent. Sie sind umso größer, je höher der Preis für Steinkohle und je niedriger der Preis für Erdgas ist, da im Greenpeace-Szenario mehr Erdgas und weniger Steinkohle eingesetzt wird als im BAU-Szenario.

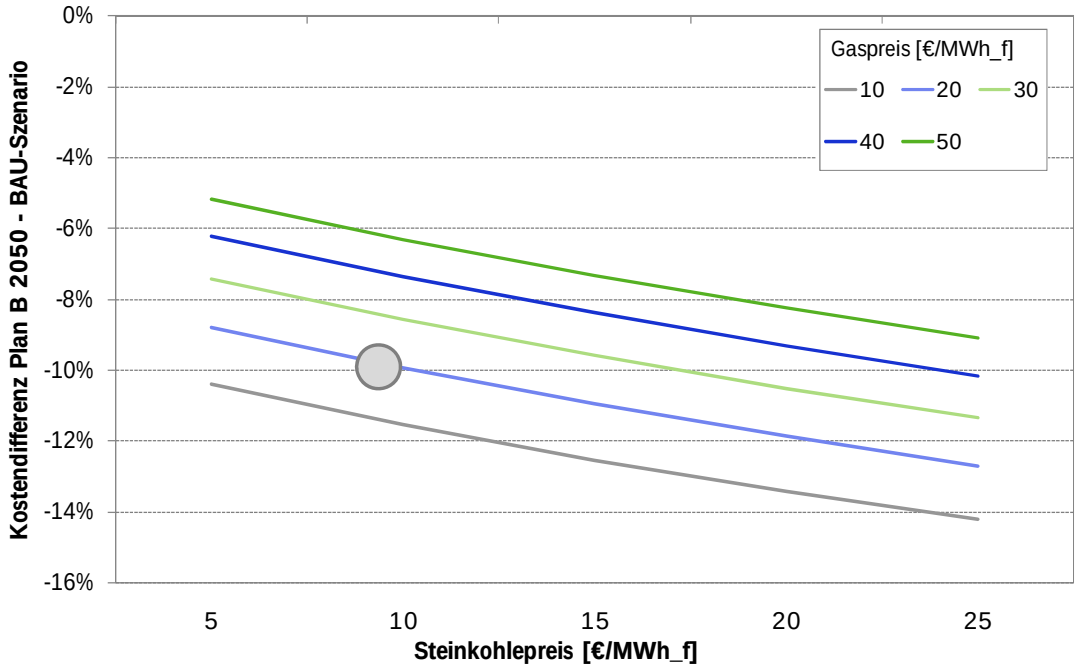


Abbildung B-1: Sensitivität Steinkohlepreis / Erdgaspreis in 2020: Unterschied der absoluten jährlichen Kosten der Stromerzeugung zwischen BAU-Szenario und Greenpeace-Szenario in 2020 in Abhängigkeit von den Preisen für Steinkohle und Erdgas.

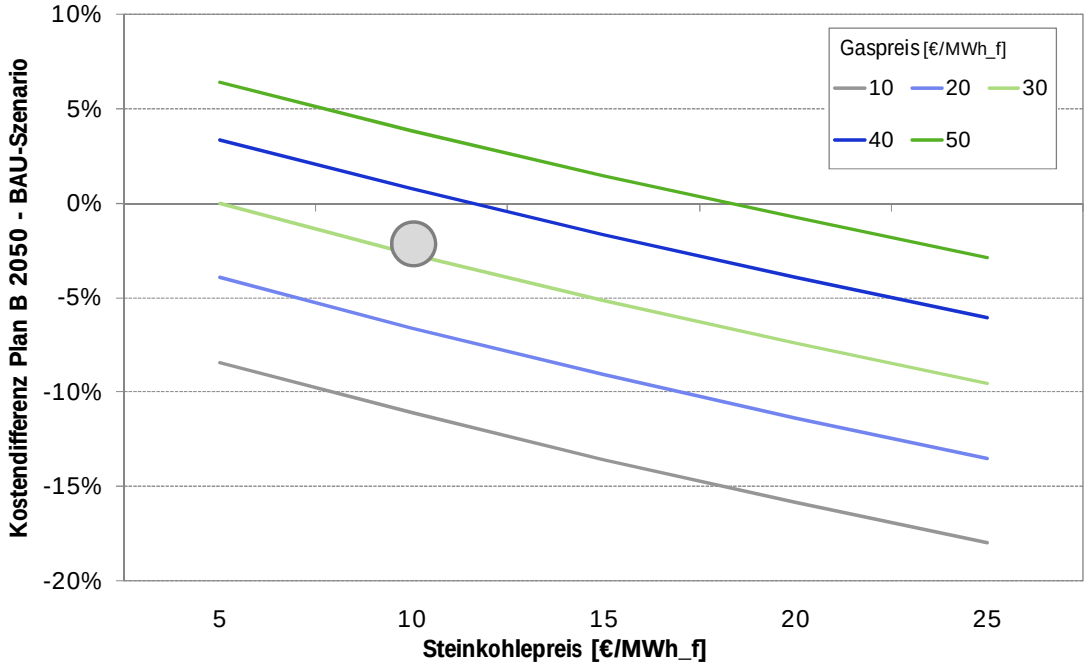


Abbildung B-2: Sensitivität Steinkohlepreis / Erdgaspreis in 2030: Unterschied der absoluten jährlichen Kosten der Stromerzeugung zwischen BAU-Szenario und Greenpeace-Szenario in 2030 in Abhängigkeit von den Preisen für Steinkohle und Erdgas.

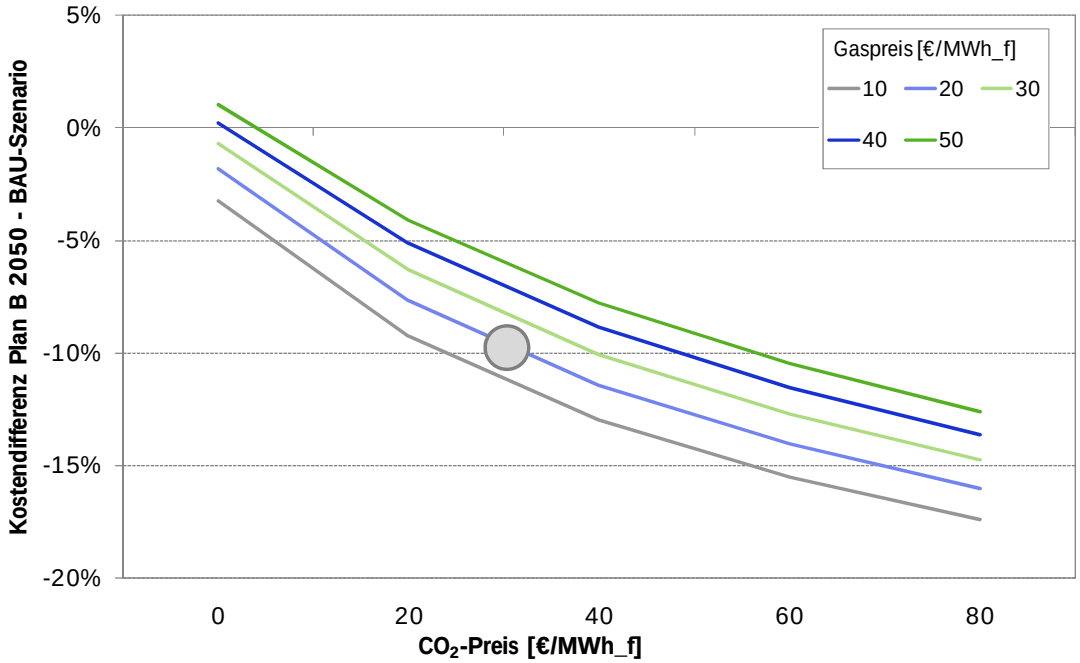


Abbildung B-3: Sensitivität CO_2-Preis / Erdgaspreis in 2020: Unterschied der absoluten jährlichen Kosten der Stromerzeugung zwischen BAU-Szenario und Greenpeace-Szenario in 2020 in Abhängigkeit von den Preisen für CO_2 und Erdgas.

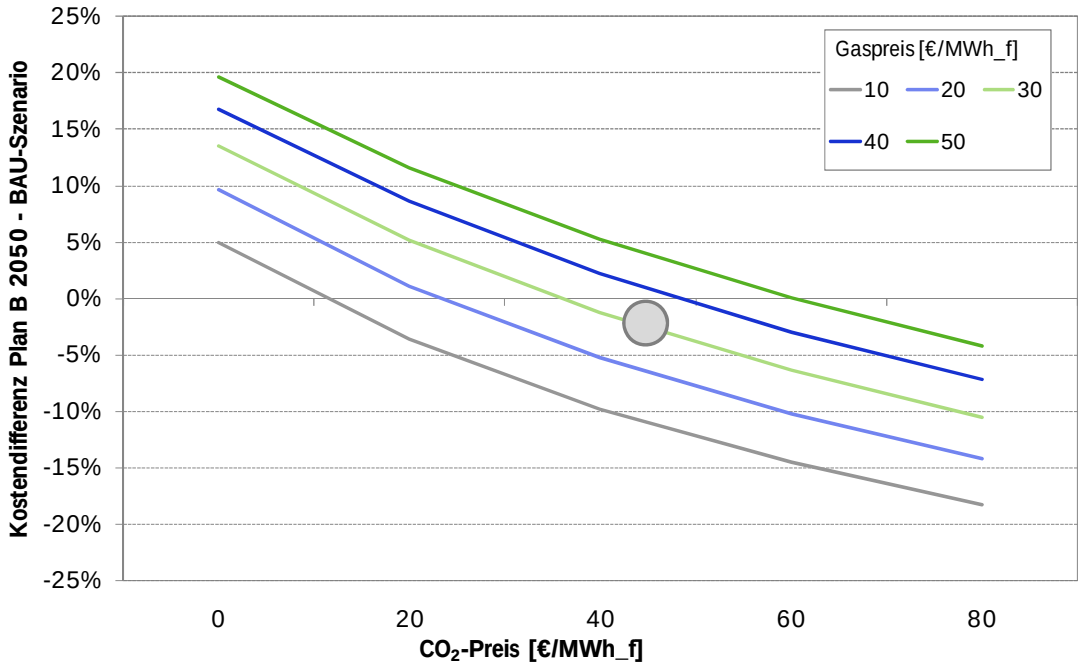


Abbildung B-4: Sensitivität CO_2-Preis / Erdgaspreis in 2030: Unterschied der absoluten jährlichen Kosten der Stromerzeugung zwischen BAU-Szenario und Greenpeace-Szenario in 2030 in Abhängigkeit von den Preisen für CO_2 und Erdgas.

Für 2030 liegen die Kosten für das Greenpeace-Szenario höher als im Referenzfall, wenn der Gaspreis um mehr als 25 €/MWh_f höher ist als der Preis für Steinkohle. Schon während des starken Anstiegs der Brennstoffpreise in 2007 und 2008 hat sich jedoch gezeigt, dass der Kohlepreis mindestens so stark gestiegen ist wie der Gaspreis, zum Teil sogar noch stärker. Dies könnte sich in der Zukunft durchaus wiederholen, da es bei einer wirtschaftlichen Erholung auch für Kohle eine stark steigende Nachfrage geben wird und die Anbieter sich weniger an ihren Erzeugungskosten als an den Substituten im Markt orientieren werden. Insgesamt schwanken die Kostenunterschiede zwischen dem Greenpeace-Szenario und dem Referenzfall zwischen +7 Prozent und -17 Prozent.

Die Kosten des Greenpeace-Szenario liegen für 2020 bei einem konstanten Kohlepreis von 9 €/t nur dann höher als im Referenzfall, wenn der Gaspreis über 40 €/MWh_f steigt und der CO_2-Preis auf 0 fällt. Wenn dagegen ein Gaspreis von 10 €/MWh angesetzt wird und ein CO_2-Preis von 80 €/t, dann liegen die Kosten des Greenpeace-Szenario um 18 Prozent unter denen des BAU-Szenarios.

Für 2030 ist das Greenpeace-Szenario um bis zu 20 Prozent teurer als der Referenzfall, wenn ein CO_2-Preis von 0 angenommen wird. Ab einem CO_2-Preis von 60 €/t ist das Greenpeace-Szenario immer kostengünstiger, maximal um knapp 20 Prozent. Insgesamt ist festzustellen, dass die Kostenunterschiede in der Sensitivitätsanalyse nie größer als 20 Prozent werden und nicht mehr als +/- 10 Prozent von den in Abbildung 9-1 mit den Preisen aus Tabelle 9-1 gezeigten Werten abweichen. Abbildung B-5 zeigt schließlich noch die CO_2-Preise, die dazu führen würden, dass der Kostenunterschied zwischen den beiden Szenarien verschwindet, in Abhängigkeit von den Preisen für Steinkohle und Erdgas. Der entsprechende CO_2-Preis liegt zwischen 0 und 70 €/t.

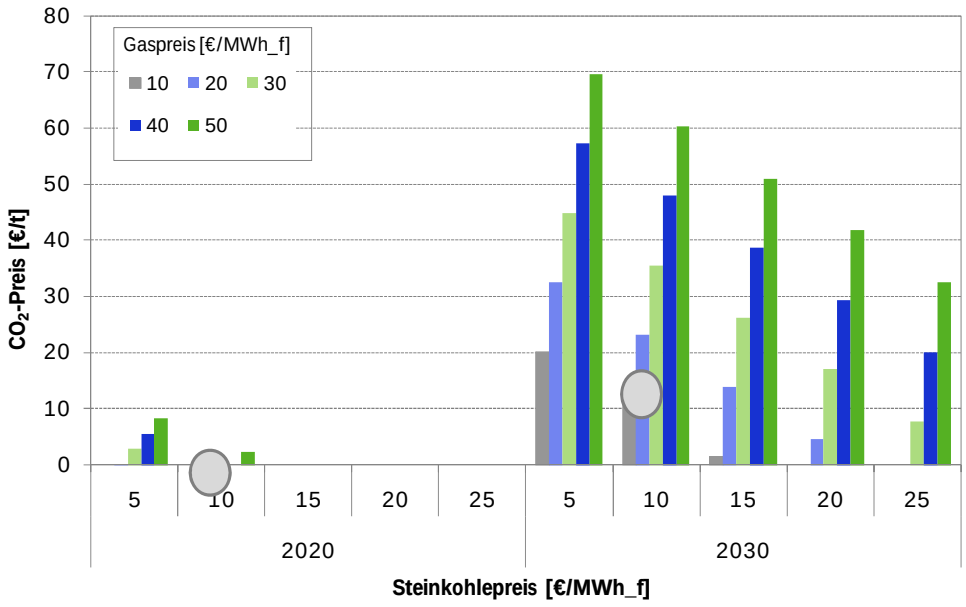
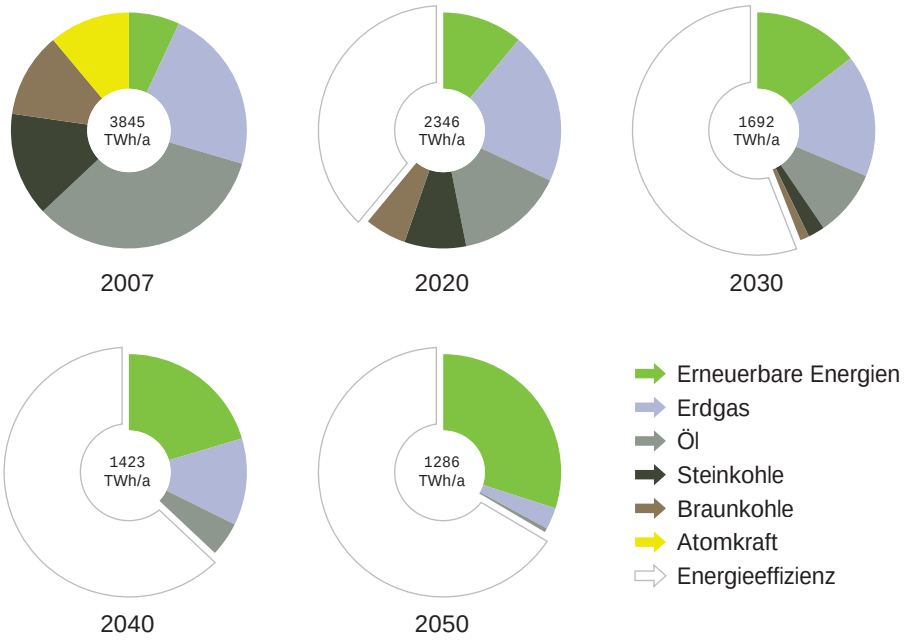


Abbildung B-5: CO_2-Preis, bei dem die Differenz der jährlichen Kosten der Stromerzeugung zwischen Greenpeace-Szenario und BAU-Szenario gleich Null wird.

ABKÜRZUNGEN

..._f	… bezogen auf den Brennstoff (fuel)
..._el	… bezogen auf Strom
€	Euro
€/MWh	Euro je Megawatt-Stunde 1 €/MWh = 1/10 c€/kWh
a	Jahr
CO_2	Kohlendioxid
g/kWh	spezifische CO_2-Emissionen in Gramm je Kilowatt-Stunde
GW	Gigawatt = 1.000 MW
h	Stunde
h/a	Stunden pro Jahr
kW	Kilowatt = 1.000 Watt
kWh	Kilowatt-Stunde = 1.000 Wattstunden
MW	Megawatt = 1.000 kW
MWh	Megawatt-Stunde = 1.000 kWh
MWh_f	Megawatt-Stunde Energiegehalt im Brennstoff
MWh_el	Megawatt-Stunde elektrisch
MWh_th	Megawatt-Stunde thermisch
t	Tonne
W	Watt (elektrische Leistung)
Wh	Watt-Stunden (physikalische Arbeit); 1 Wh = 3.600 Ws = 3.600 J

Das Greenpeace-Energiekonzept bis 2050 zeigt, wie die Treibhausgas-Emissionen um 90 Prozent reduziert werden können – eine Energie-Revolution für Deutschland. Klimaschutz ist machbar!



Primärenergiebedarf bis 2050
in Terawattstunden pro Jahr (TWh/a)

Greenpeace ist eine internationale Umweltorganisation, die mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen kämpft. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich, politisch und finanziell unabhängig und nimmt keine Gelder von Regierungen, Parteien oder der Industrie.