



Kurzfassung zum Endbericht

# **Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose**

Projekt Nr. 57/12

Studie im Auftrag des Bundesministeriums  
für Wirtschaft und Technologie

Ansprechpartner  
Dr. Michael Schlesinger  
(Prognos)  
PD Dr. Dietmar  
Lindenberger (EWI)  
Dr. Christian Lutz (GWS)

Basel/Köln/Osnabrück  
Juni 2014



## **Prognos AG**

**Geschäftsführer**  
Christian Böllhoff

### **Basel**

Henric Petri-Strasse 9  
CH-4010 Basel  
Telefon +41 61 32 73-200  
Telefax +41 61 32 73-300  
info@prognos.com  
www.prognos.com

## **EWI - Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln**

**Geschäftsführer**  
Prof. Dr. Marc O. Bettzüge

### **Köln**

Alte Wagenfabrik  
Vogelsanger Str. 321  
50827 Köln  
Tel.: ++ 49 (0) 221 27729-0  
Fax: ++ 49 (0) 221 27729-400  
monika.deckers@uni-koeln.de  
www.ewi.uni-koeln.de

## **Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS)**

**Geschäftsführer**  
Dr. Christian Lutz

### **Osnabrück**

Heinrichstr. 30  
D-49080 Osnabrück  
Telefon +49 541 40933-100  
Telefax +49 541 40933-110  
info@gws-os.de  
www.gws-os.com



Kurzfassung zum Endbericht

## **Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose**

Projekt Nr. 57/12 des Bundesministeriums  
für Wirtschaft und Technologie, Berlin

Autoren

Prognos AG:

Dr. Michael Schlesinger (Projektleitung)

Peter Hofer

Dr. Andreas Kemmler

Dr. Almut Kirchner

Sylvie Koziel

Andrea Ley

Dr. Alexander Piégsa

Friedrich Seefeldt

Samuel Straßburg

Karsten Weinert

EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln:

PD Dr. Dietmar Lindenberger (Leitung)

Andreas Knaut

Raimund Malischek

Sebastian Nick

Timo Panke

Simon Paulus

Christian Tode

Johannes Wagner

GWS – Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung:

Dr. Christian Lutz (Leitung)

Dr. Ulrike Lehr

Philip Ulrich

Basel/Köln/Osnabrück, Juni 2014



## Wichtigste Ergebnisse

Kern des Projekts „Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose“ stellt die Prognose der wahrscheinlichen energiewirtschaftlichen Entwicklung bis zum Jahr 2030 dar, ergänzt um ein bis ins Jahr 2050 reichendes Trendszenario. Daneben wurden u.a. ein Zielszenario und Sensitivitätsrechnungen erstellt sowie mehrere Schwerpunktthemen behandelt.

Ein Blick zurück zeigt, dass der globale Energieverbrauch seit 1990 um 50 % ausgeweitet wurde. Die Bedeutung der fossilen Energieträger hat sich bis 2011 nicht verändert. Erneuerbare wurden etwas wichtiger, Kernenergie hat an Bedeutung etwas verloren. Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind parallel zum Primärenergieverbrauch angestiegen. Rund 90 % des Zuwachses zwischen 1990 und 2011 entfielen auf die heutigen Entwicklungs- und Schwellenländer.

In Deutschland haben sich im Zeitraum 1990 bis 2011 Primärenergieverbrauch und Wirtschaftsleistung weitgehend entkoppelt. Im Energiemix haben fossile Energieträger Anteile verloren, Erneuerbare haben Anteile gewonnen. Rückläufiger Energieverbrauch und strukturelle Veränderungen zugunsten CO<sub>2</sub>-armer oder CO<sub>2</sub>-freier Energieträger führten zu einem Rückgang der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 24 % zwischen 1990 und 2011.

Die Referenzprognose bietet einen umfassenden Blick nach vorne. Sie stellt die aus Sicht der Autoren wahrscheinliche zukünftige energiewirtschaftliche Entwicklung dar und berücksichtigt eine weiter verschärfte Energie- und Klimaschutzpolitik ebenso wie bestehende Hemmnisse für deren Umsetzung.

In den Rahmendaten gehen Energiereferenzprognose und Trendszenario davon aus, dass die Integration der Weltwirtschaft im Betrachtungszeitraum 2011-2050 weiter voran schreitet. Die ökonomischen Gewichte verschieben sich dabei zunehmend in die heutigen Schwellenländer, vor allem nach Asien.

Die deutsche Wirtschaft wächst mittel- und langfristig mit 1 % p.a. Gebremst wird das Wachstum von der rückläufigen Bevölkerung und der damit verbunden abnehmenden Zahl von Erwerbspersonen. Die Industrie behält auch langfristig ihre zentrale Bedeutung für die deutsche Wirtschaft.

Auf den internationalen Märkten für Rohöl, Erdgas und Kesselkohle sind reale Preisanstiege gegenüber derzeitigen Marktpreisen zu erwarten. Sie sind maßgeblich durch den Anstieg der Energienachfrage asiatischer Volkswirtschaften bedingt.

Die Verbraucherpreise für Mineralölprodukte, Erdgas und Kohle werden im Wesentlichen von Weltmarktpreisen und Wechselkursen sowie durch Steuern und Abgaben bestimmt. Hinzu kommen ab 2020 CO<sub>2</sub>-Zuschläge für private Haushalte und Unternehmen, die nicht am Emissionshandel teilnehmen.

Die Preise für CO<sub>2</sub>-Zertifikate bleiben bis 2020 auf einem moderaten Niveau. Verantwortlich dafür sind Überschussmengen u.a. in Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise. Das aktuell beschlossene Backloading hat diesbezüglich nur einen geringen Einfluss. Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises nach 2020 ist durch die Verknappung der Zertifikate auf europäischer Ebene bedingt und zugleich gedämpft durch die Kopplung der europäischen mit internationalen Klimaschutzanstrengungen.

Bis 2025 steigen die Strompreise in Deutschland für Haushalte, Handel und Gewerbe sowie Industrie. Für stromintensive Industrien sinken die Kosten für den Strombezug bis 2020 und nehmen danach kontinuierlich zu.

Der Primärenergieverbrauch verringert sich im Betrachtungszeitraum durchgehend. Bei gleichzeitig zunehmender Wirtschaftsleistung führt dies zu einer deutlich steigenden Primärenergieproduktivität.

Die Erneuerbaren leisten einen weiter schnell wachsenden Beitrag zur Energieversorgung. Wind und Photovoltaik weisen auch in Zukunft hohe Zuwachsraten auf. Biomasse bleibt langfristig die wichtigste erneuerbare Energiequelle. Mehr als die Hälfte aller Erneuerbaren werden zur Stromerzeugung genutzt. Fossile Energien bilden aber auch langfristig die Basis der Energieversorgung.

Die energiebedingten Treibhausgasemissionen liegen 2020 um 36% und 2050 um 65% niedriger als im Kyoto-Basisjahr 1990. Grund dafür sind der rückläufiger Primärenergieverbrauch und dessen langfristig abnehmende Treibhausgasintensität. Mittel- und langfristig tragen Energiewirtschaft und Endverbraucher in etwa gleichem Maße zur Emissionsreduktion bei.

Der Endenergieverbrauch geht mittel- und langfristig in allen Verbrauchssektoren zurück. Die Endenergieproduktivität steigt um knapp 2 % p.a. Fossile Energien verlieren an Bedeutung, der Anteil der Erneuerbaren steigt deutlich. Strom wird bis 2050 zum wichtigsten Energieträger.

Bei zunehmender Wertschöpfung sinkt der Energieverbrauch in der Industrie, die Energieproduktivität steigt deutlich an. Strom gewinnt als Energieträger in der Industrie weiter an Bedeutung.

Bei ausgeweiteter Wohnfläche und zunächst noch steigender Zahl der privaten Haushalte verringert sich deren Energieverbrauch mittel- und langfristig deutlich. Dazu tragen neben Einsparungen im Gebäudebereich auch effizientere Elektrogeräte bei. Der Anteil fossiler Energieträger geht zurück.

Der heterogene Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) weist einen erheblichen Rückgang des Energieverbrauchs auf, auch in dynamisch wachsenden Branchen. Während der Verbrauch für die Erzeugung von Raumwärme stark abnimmt, steigt er im Bereich Kühlen / Lüften / Haustechnik massiv an.

Insgesamt verringert sich der Energieverbrauch im Verkehr im Betrachtungszeitraum, vor allem als Folge zunehmend effizienter Pkw und Lkw. Dazu trägt auch der Ausbau der Elektromobilität bei. Benzin und Diesel verlieren zugunsten von Biokraftstoffen, Strom und Erdgas an Bedeutung.

Die nationalen Marktgebiete für elektrischen Strom in Europa werden weiter zusammenwachsen. Diesbezüglich spielt auch der Netzausbau eine zentrale Rolle, der aufgrund des geänderten institutionellen Rahmens in Deutschland weiter voranschreiten wird. Der Ausbau erneuerbarer Energien wird nach 2020 ebenfalls zunehmend grenzüberschreitend organisiert.

Die installierte Erzeugungskapazität des deutschen Kraftwerksparks steigt im Betrachtungszeitraum kontinuierlich an. Dies ist vor allem auf den starken Ausbau erneuerbarer

Energien und deren vergleichsweise geringen Beitrag an gesicherter Leistung zurückzuführen.

Die Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken bleibt bis 2030 stabil, anschließend nimmt sie deutlich ab. Die Benutzungsstunden von Gaskraftwerken gehen bis 2025 vor allem aufgrund zunehmender Erzeugung aus erneuerbaren Energien zurück. In der langen Frist sorgen hohe CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise für wachsende Anteile von Erdgas an der Stromerzeugung.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum nimmt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien deutlich zu. Nach 2030 entfällt auf die Windenergie der größte Anteil an der deutschen Stromerzeugung. Mit zunehmenden grenzübergreifenden Kooperationen werden Synergien erschlossen und die Kosten der Förderung gedämpft.

Erneuerbare Energien stehen im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken in einem frühen Stadium der Entwicklung. Aufgrund von Lern- und Skaleneffekten sind in diesem Bereich daher in den kommenden Jahren weitere Kostendegressionen vor allem bei Windkraft- und Photovoltaikanlagen zu erwarten.

Die Investitionskosten konventioneller Kraftwerkstechnologien werden in den nächsten Jahren stabil bleiben. Der Fokus zukünftiger Entwicklungen liegt auf der Optimierung des Teillastverhaltens.

Die Bruttostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wächst bis 2040 an. Aufgrund unterschiedlicher Zielkonflikte bleibt der Ausbau allerdings deutlich hinter den energiepolitischen Zielen zurück.

In Referenzprognose und Trendszenario werden die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung überwiegend nicht erreicht. Das Zielszenario zeigt, was erforderlich wäre, um die im Energiekonzept definierten energie- und klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen.

Dabei geht es von anderen Grundvoraussetzungen aus als Referenzprognose und Trendszenario. Es unterstellt, dass die energie- und klimapolitischen Ziele vorrangig verfolgt werden und es der Politik gelingt, in vielen Bereichen bestehende Hemmnisse zu überwinden. Aus Sicht der Autoren ist das nicht wahrscheinlich.

Eine wesentliche Voraussetzung, um die energie- und klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen, stellt die effizientere Energienutzung dar. Die Steigerung der Energieeffizienz erfordert oft Investitionen in Einspartechnologien. In allen Verbrauchssektoren und Anwendungsbereichen bestehen bislang ungenutzte und teilweise wirtschaftliche Potenziale für Energieeinsparungen.

Neue und weiterentwickelte Technologien in der Nutzung und Umwandlung von Energie sind die Schlüssel zur Steigerung der Energieeffizienz und zum kostengünstigen Ausbau erneuerbarer Energien. Der Markterfolg neuer Technologien hängt entscheidend vom wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Umfeld ab.

Um die energiepolitischen Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen zu erreichen, muss vor allem die Erzeugung aus CO<sub>2</sub>-intensiven Kraftwerken weiter reduziert werden. Aufgrund der Einbettung des deutschen in den europäischen Strommarkt, und da das Hauptsteuerungsinstrument zur Emissionsbegrenzung (EU ETS) ein europäisches ist,

lässt sich eine wirksame Klimaschutzpolitik nur eingeschränkt auf nationaler Ebene umsetzen.

Die Umsetzung des Zielszenarios anstelle von Referenzprognose / Trendszenario ist mit gesamtwirtschaftlichen Effekten verbunden. Mittelfristig wäre die Umsetzung des Zielszenarios ökonomisch zu verkraften, langfristig hätte sie eher positive Auswirkungen.

In fünf Sensitivitätsrechnungen wurde geprüft, wie sich unterschiedliche Preise für fossile Energieträger, andere Annahmen für die Kostenentwicklung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie höhere CO<sub>2</sub>-Preise auf zentrale Ergebnisse auswirken. Mit Ausnahme der Sensitivität mit höheren CO<sub>2</sub>-Preisen, die nach 2030 zu einem deutlichen Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen, sind die Effekte gering. Die Grundaussagen der Referenzprognose und des Trendszenarios bleiben auch bei geänderten Annahmen in den Sensitivitäten erhalten.

Zur Einordnung der Ergebnisse wurden die im Rahmen des Projekts erstellte Referenzprognose und das Trendszenario sowie das Zielszenario mit ähnlichen Arbeiten Dritter verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Energierferenzprognose eine ähnliche Entwicklung der Primärenergieproduktivität aufweist wie eine vergleichbare Prognose von ExxonMobil. Der Anteil der erneuerbaren Energien ist in der Referenzprognose höher. Die Absenkung des Primärenergieverbrauchs im Zielszenario entspricht in etwa der Entwicklung in einem vergleichbaren Zielszenario des BMU. Dort erfolgt der Ausbau der Erneuerbaren allerdings schneller und die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden weiter abgesenkt. Wegen zum Teil sehr unterschiedlicher Annahmen sind die anderen Arbeiten nicht aussagekräftig vergleichbar.



Numerische Annahmen und Ergebnisse Übersicht, jährliche Änderungsraten beziehen sich auf Absolutwerte

Energierferenzprognose / Trendszenario	Einheit	Absolutwerte / Anteile				% p.a.			
		2011	2020	2030	2050	2011-2020	2020-2030	2030-2050	2011-2050
Ölpreis real (Preisbasis 2011)	USD / b	108	117	124	128	0,9	0,6	0,2	0,4
Preis für CO <sub>2</sub> -Zertifikate real (Preisbasis 2011)	EUR / t	11	10	40	76		14,9	3,3	
<b>Sozioökonomische Rahmendaten Deutschland</b>									
Bevölkerung	Mio.	80	79	78	73	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2
Private Haushalte	Mio.	40	41	41	40	-7,2	0,2	-0,1	0,0
BIP real (Preisbasis 2005)	Mrd. EUR	2.452	2.688	3.031	3.655	1,0	1,2	0,9	1,0
BWS Industrie real (Preisbasis 2005)	Mrd. EUR	376	427	489	601	1,4	1,4	1,0	1,2
PKW-Bestand	Mio.	42	44	44	42	0,5	0,0	-0,2	0,0
Personenverkehrsleistung	Mrd. Pkm	1.134	1.143	1.140	1.085	0,1	0,0	-0,2	-0,1
Güterverkehrsleistung	Mrd. tkm	629	702	804	920	1,2	1,4	0,7	1,0
<b>Preise Haushalte (inkl. MwSt), real (Preisbasis 2011)</b>									
Heizöl leicht	Euro Cent / l	82	94	112	135	1,6	1,8	1,0	1,3
Erdgas	Cent / kWh	6,7	7,7	8,5	9,7	1,6	1,1	0,6	1,0
Strom	Cent / kWh	25,9	29,2	28,4	26,8	1,4	-0,3	-0,3	0,1
<b>Preise Industrie (ohne MwSt), real (Preisbasis 2011)</b>									
Heizöl leicht	EUR / t	798	902	1.070	1.280	1,4	1,7	0,9	1,2
Erdgas	Cent / kWh	3,2	4,2	4,9	5,8	2,8	1,6	0,9	1,5
Strom (Industrie normal)	Cent / kWh	11,9	15,9	15,7	14,7	3,3	-0,1	-0,3	0,5
Strom (Industrie stromintensiv)	Cent / kWh	5,5	4,9	7,8	10,0	-1,3	4,8	1,3	1,5
<b>Primärenergieverbrauch (PEV)</b>	<b>PJ</b>	<b>13.599</b>	<b>11.834</b>	<b>10.469</b>	<b>8.356</b>	<b>-1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,2</b>
Kernenergie	%	8,7%	5,8%	0,0%	0,0%	-5,9			
Steinkohle	%	12,6%	11,5%	12,7%	9,0%	-2,5	-0,3	-2,8	-2,1
Braunkohle	%	11,5%	12,0%	12,0%	3,2%	-1,1	-1,2	-7,5	-4,4
Mineralöle	%	33,3%	31,8%	30,8%	27,5%	-2,0	-1,5	-1,7	-1,7
Gase	%	21,5%	20,3%	20,6%	24,2%	-2,2	-1,1	-0,3	-0,9
Sonstige nicht erneuerbare Energieträger	%	1,9%	1,4%	1,6%	1,8%	-4,7	0,1	-0,4	-1,3
Erneuerbare Energien	%	10,8%	18,4%	24,0%	34,5%	4,5	1,4	0,7	1,8
Aussenhandelsaldo Strom	%	-0,2%	-1,2%	-1,8%	-0,3%				
<b>Endenergieverbrauch (EEV)</b>	<b>PJ</b>	<b>8.881</b>	<b>8.178</b>	<b>7.455</b>	<b>6.394</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>
Private Haushalte	%	26%	27%	25%	23%	-0,8	-1,4	-1,2	-1,2
GHD	%	15%	14%	13%	14%	-1,9	-1,4	-0,6	-1,1
Industrie	%	30%	30%	32%	34%	-0,7	-0,5	-0,5	-0,5
Verkehr	%	29%	29%	30%	30%	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
Kohle	%	5,4%	4,5%	4,9%	4,0%	-3,0	-0,1	-1,7	-1,6
Mineralölprodukte	%	37,1%	33,2%	30,5%	24,5%	-2,1	-1,8	-1,8	-1,9
Gase	%	24,2%	23,7%	21,9%	21,0%	-1,1	-1,7	-1,0	-1,2
Sonstige nicht erneuerbare Energieträger	%	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	-0,4	-0,4	-0,6	-0,5
Strom	%	21,1%	22,0%	23,7%	27,4%	-0,5	-0,2	0,0	-0,2
Fernwärme	%	4,7%	5,0%	4,9%	3,8%	-0,3	-1,2	-1,9	-1,4
Erneuerbare Energieträger	%	6,3%	10,4%	13,0%	17,6%	4,8	1,3	0,8	1,8
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>TWh</b>	<b>609</b>	<b>618</b>	<b>612</b>	<b>561</b>	<b>0,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,2</b>
Kernkraft	%	18%	10%	0%	0%	-5,9			
Steinkohle	%	18%	17%	18%	9%	-0,7	0,2	-3,8	-2,1
Braunkohle	%	25%	25%	23%	5%	0,4	-1,1	-7,6	-4,1
Öl und Sonstige	%	5%	2%	2%	4%	-8,7	-1,2	3,0	-0,9
Erdgas	%	14%	7%	10%	19%	-6,3	3,2	2,5	0,6
Erneuerbare	%	20%	38%	47%	63%	7,4	2,1	1,1	2,8
<b>Indikatoren Energieproduktivität</b>									
Einwohner / PEV	BEV/TJ	5,9	6,7	7,5	8,8	1,4	1,1	0,8	1,0
BIP real 2005 / PEV	EUR / GJ	180	227	290	437	2,6	2,5	2,1	2,3
BIP real 2005 / EEV	EUR / GJ	276	329	407	572	2,0	2,1	1,7	1,9
Anzahl der privaten Haushalte / EEV PHH	Haushalte/TJ	17	19	22	27	1,1	1,5	1,1	1,2
BWS GHD / EEV GHD	EUR / MJ	1,3	1,6	2,1	2,9	2,8	2,6	1,5	2,1
BWS IND / EEV IND	EUR / GJ	143	172	207	279	2,1	1,8	1,5	1,7
Verkehrsleistung / EEV Personenverkehr	Pkm / GJ	672	750	869	1.073	1,2	1,5	1,1	1,2
Verkehrsleistung / EEV Güterverkehr	Pkm / GJ	716	803	887	1.032	1,3	1,0	0,8	0,9
<b>Treibhausgasemissionen</b>									
		2011	2020	2030	2050	1990-2011	2011-2020	2020-2030	2030-2050
THG-Emissionen, energiebedingt <sup>1)</sup>	Mio. t	751	633	564	346	-1,3	-1,9	-1,1	-2,4
Änderung gegenüber 1990	%	-24%	-36%	-43%	-65%				
<b>Spezifische THG-Emissionen</b>									
THG-Emissionen, energiebedingt / BIP real 2005	g / EUR	306	235	186	95	-2,7	-2,9	-2,3	-3,3
THG-Emissionen, energiebedingt / Einwohner	t / Kopf	9,4	8,0	7,2	4,7	-1,3	-1,8	-1,0	-2,1

<sup>1)</sup> ohne internationalen Luftverkehr

Numerische Annahmen und Ergebnisse Übersicht, jährliche Änderungsraten beziehen sich auf Absolutwerte

Zielszenario	Einheit	Absolutwerte / Anteile				% p.a.			
		2011	2020	2030	2050	2011-2020	2020-2030	2030-2050	2011-2050
Ölpreis real (Preisbasis 2011)	USD / b	108	117	124	128	0,9	0,6	0,2	0,4
Preis für CO <sub>2</sub> -Zertifikate real (Preisbasis 2011)	EUR / t	13	10	40	76		14,9	3,3	
<b>Sozioökonomische Rahmendaten Deutschland</b>									
Bevölkerung	Mio.	80	79	78	73	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2
Private Haushalte	Mio.	40	41	41	40	-7,2	0,2	-0,1	0,0
BIP real (Preisbasis 2005)	Mrd. EUR	2.452	2.688	3.031	3.655	1,0	1,2	0,9	1,0
BWS Industrie real (Preisbasis 2005)	Mrd. EUR	376	427	489	601	1,4	1,4	1,0	1,2
PKW-Bestand	Mio.	42	44	44	42	0,5	0,0	-0,2	0,0
Personenverkehrsleistung	Mrd. Pkm	1.134	1.143	1.140	1.085	0,1	0,0	-0,2	-0,1
Güterverkehrsleistung	Mrd. tkm	629	702	804	920	1,2	1,4	0,7	1,0
<b>Preise Haushalte (inkl. MwSt), real (Preisbasis 2011)</b>									
Heizöl leicht	Euro Cent / l	82	98	116	135	2,1	1,7	0,8	1,3
Erdgas	Cent / kWh	6,7	8,0	8,8	9,7	2,0	1,0	0,5	1,0
Strom	Cent / kWh	25,9	30,4	29,5	27,2	1,8	-0,3	-0,4	0,1
<b>Preise Industrie (ohne MwSt), real (Preisbasis 2011)</b>									
Heizöl leicht	EUR / t	798	953	1.115	1.280	2,0	1,6	0,7	1,2
Erdgas	Cent / kWh	3,2	4,5	5,1	5,8	3,6	1,4	0,6	1,5
Strom (Industrie normal)	Cent / kWh	11,9	16,9	16,6	15,0	4,0	-0,2	-0,5	0,6
Strom (Industrie stromintensiv)	Cent / kWh	5,5	5,4	8,3	10,4	-0,2	4,4	1,1	1,6
<b>Primärenergieverbrauch (PEV)</b>									
	PJ	13.599	11.340	9.444	6.891	-2,0	-1,8	-1,6	-1,7
Kernenergie	%	8,7%	6,0%	0,0%	0,0%	-5,9			
Steinkohle	%	12,6%	7,9%	7,5%	5,0%	-6,9	-2,3	-3,5	-4,0
Braunkohle	%	11,5%	11,9%	10,7%	2,4%	-1,7	-2,8	-8,7	-5,6
Mineralöle	%	33,3%	32,0%	29,1%	19,7%	-2,4	-2,7	-3,5	-3,0
Gase	%	21,5%	20,7%	20,4%	19,0%	-2,4	-2,0	-1,9	-2,0
Sonstige nicht erneuerbare Energieträger	%	1,9%	1,4%	1,6%	1,9%	-4,9	-0,6	-0,8	-1,7
Erneuerbare Energien	%	10,8%	20,7%	30,8%	51,0%	5,4	2,2	0,9	2,3
Aussenhandelsaldo Strom	%	-0,2%	-0,7%	-0,3%	0,8%				
<b>Endenergieverbrauch (EEV)</b>									
	PJ	8.881	7.949	6.917	5.345	-1,2	-1,4	-1,3	-1,3
Private Haushalte	%	26%	27%	26%	25%	-0,9	-1,7	-1,6	-1,5
GHD	%	15%	14%	13%	14%	-2,2	-1,8	-1,0	-1,5
Industrie	%	30%	30%	31%	32%	-1,1	-1,0	-1,1	-1,1
Verkehr	%	29%	29%	29%	29%	-1,2	-1,4	-1,3	-1,3
Kohle	%	5,4%	4,5%	3,9%	2,9%	-3,3	-2,8	-2,8	-2,9
Mineralölprodukte	%	37,1%	32,4%	26,0%	12,6%	-2,7	-3,5	-4,8	-4,0
Gase	%	24,2%	23,3%	21,5%	18,2%	-1,7	-2,2	-2,1	-2,0
Sonstige nicht erneuerbare Energieträger	%	1,1%	1,2%	1,1%	1,1%	-0,8	-1,5	-1,4	-1,3
Strom	%	21,1%	22,0%	23,9%	28,6%	-0,8	-0,6	-0,4	-0,5
Fernwärme	%	4,7%	5,0%	4,9%	3,6%	-0,5	-1,7	-2,7	-2,0
Erneuerbare Energieträger	%	6,3%	11,6%	18,7%	32,7%	5,8	3,4	1,5	3,0
<b>Bruttostromerzeugung</b>									
	TWh	609	576	516	459	-0,6	-1,1	-0,6	-0,7
Kernkraft	%	18%	11%	0%	0%	-5,9			
Steinkohle	%	18%	8%	6%	1%	-9,7	-3,7	-10,5	-8,6
Braunkohle	%	25%	26%	22%	4%	-0,2	-2,6	-8,9	-5,4
Öl und Sonstige	%	5%	3%	3%	5%	-8,4	-1,2	2,4	-1,1
Erdgas	%	14%	9%	9%	9%	-4,8	-1,4	-0,4	-1,7
Erneuerbare	%	20%	44%	61%	82%	8,3	2,1	0,9	2,9
<b>Indikatoren Energieproduktivität</b>									
Einwohner / PEV	BEV/TJ	5,9	7,0	8,3	10,6	1,9	1,7	1,3	1,5
BIP real 2005 / PEV	EUR / GJ	180	237	321	530	3,1	3,1	2,5	2,8
BIP real 2005 / EEV	EUR / GJ	276	338	438	684	2,3	2,6	2,3	2,4
Anzahl der privaten Haushalte / EEV PHH	Haushalte/TJ	17	19	23	30	1,2	1,8	1,5	1,5
BWS GHD / EEV GHD	EUR / MJ	1,3	1,7	2,3	3,3	3,1	3,0	1,9	2,5
BWS IND / EEV IND	EUR / GJ	143	179	227	348	2,6	2,4	2,2	2,3
Verkehrsleistung / EEV Personenverkehr	Pkm / GJ	672	781	974	1.384	1,7	2,2	1,8	1,9
Verkehrsleistung / EEV Güterverkehr	Pkm / GJ	716	827	950	1.207	1,6	1,4	1,2	1,3
<b>Treibhausgasemissionen</b>									
THG-Emissionen, energiebedingt <sup>1)</sup>	Mio. t	751	568	434	196	-1,3	-3,0	-2,7	-3,9
Änderung gegenüber 1990	%	-24%	-43%	-56%	-80%				
<b>Spezifische THG-Emissionen</b>									
THG-Emissionen, energiebedingt / BIP real 2005	g / EUR	306	211	143	54	-2,7	-4,0	-3,8	-4,8
THG-Emissionen, energiebedingt / Einwohner	t / Kopf	9,4	7,2	5,6	2,7	-1,3	-2,9	-2,5	-3,6

<sup>1)</sup> ohne internationalen Luftverkehr

## Das Projekt im Überblick

(Abschnitt 2.2 des Berichts)

**Kern des Projekts „Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose“ stellt die Prognose der wahrscheinlichen energiewirtschaftlichen Entwicklung bis zum Jahr 2030 dar, ergänzt um ein bis ins Jahr 2050 reichendes Trendszenario. Daneben wurden u.a. ein Zielszenario und Sensitivitätsrechnungen erstellt sowie mehrere Schwerpunktthemen behandelt.**

Den Kern des Projekts bildet die Energiereferenzprognose bis zum Jahr 2030. Sie stellt vor dem Hintergrund der erwarteten Umfeldbedingungen die aus Sicht der Autoren wahrscheinliche Entwicklung dar. Das Trendszenario führt die in der Prognose angelegten Pfade bis ins Jahr 2050 fort.

In fünf Sensitivitätsrechnungen wurde geprüft, wie sich unterschiedliche Preise für fossile Energieträger, andere Annahmen für die Kostenentwicklung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie höhere CO<sub>2</sub>-Preise auf zentrale Ergebnisse auswirken.

Da in Referenzprognose und Trendszenario die Ziele des Energiekonzepts überwiegend nicht erreicht werden, wurde ergänzend ein Zielszenario entwickelt. In diesem werden – definitionsgemäß - die meisten Ziele erreicht.

Die Unterschiede zwischen Referenzprognose / Trendszenario und Zielszenario wurden hinsichtlich ihrer Wirkung auf wesentliche gesamtwirtschaftliche Größen analysiert.

Im Vorfeld der Prognose wurden wichtige Einflussgrößen im Rahmen von Schwerpunktanalysen behandelt:

- die Entwicklung der weltweiten Energiemärkte und ihre Konsequenzen für die Preise,
- die strukturellen Veränderungen im Elektrizitätssektor,
- Bedeutung und Potenziale einer steigenden Energieeffizienz,
- technologische Entwicklungen, die für Energieverbrauch und Energieumwandlung relevant sind oder werden.

Daneben erfolgte eine Bestandaufnahme der energiewirtschaftlichen Entwicklung auf nationaler und internationaler Ebene für den Zeitraum 1990 bis 2011.

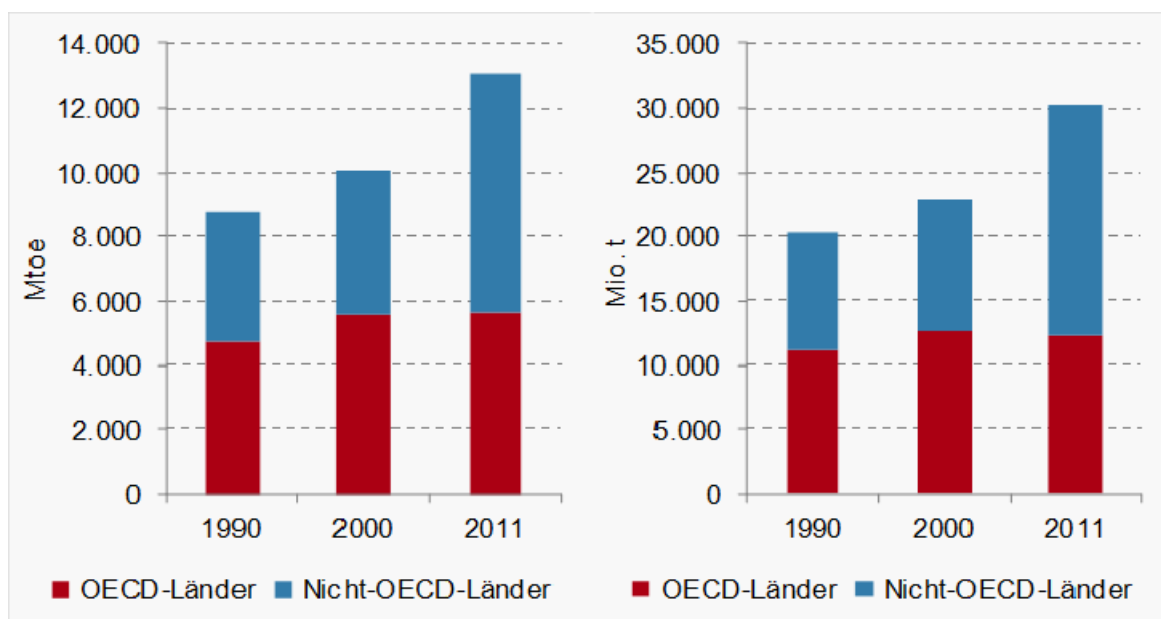
Schließlich wurden die im Rahmen dieses Projekts erarbeiteten Prognose sowie die Szenarien mit aktuellen Prognosen und Szenarien Dritter verglichen.

## Bestandsaufnahme auf globaler Ebene

(Abschnitt 8.3.1 des Berichts)

**Global wurde der Energieverbrauch seit 1990 um 50 % ausgeweitet. Die Bedeutung der fossilen Energieträger hat sich bis 2011 nicht verändert. Erneuerbare wurden etwas wichtiger, Kernenergie hat an Bedeutung etwas verloren. Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind parallel zum Primärenergieverbrauch angestiegen. Rund 90 % des Zuwachses zwischen 1990 und 2011 entfielen auf die heutigen Entwicklungs- und Schwellenländer.**

*Primärenergieverbrauch und energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Ländergruppen 1990 – 2011, in Mtoe bzw. Mio. t*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Im Jahr 2011 wurden weltweit rund 50 % mehr Energie verbraucht als 1990. Seit 2000 hat sich der Verbrauchsanstieg beschleunigt. Entscheidend für die Zunahme war die Verbrauchsausweitung der heutigen Entwicklungs- und Schwellenländer. Ihr Primärenergieverbrauch überstieg im Jahr 2011 den entsprechenden Wert von 1990 um mehr als 80 %.

Wie im Jahr 1990 deckten auch 2011 fossile Energieträger mehr als 80 % des weltweiten Energieverbrauchs. Zugenommen haben die Anteile von Kohle und Gas. Der Beitrag von Erdöl ging zurück, mit über 30 % blieb es aber der wichtigste Energieträger. Der Anteil erneuerbarer Energien ist im betrachteten Zeitraum leicht gestiegen, derjenige der Kernenergie etwas zurückgegangen.

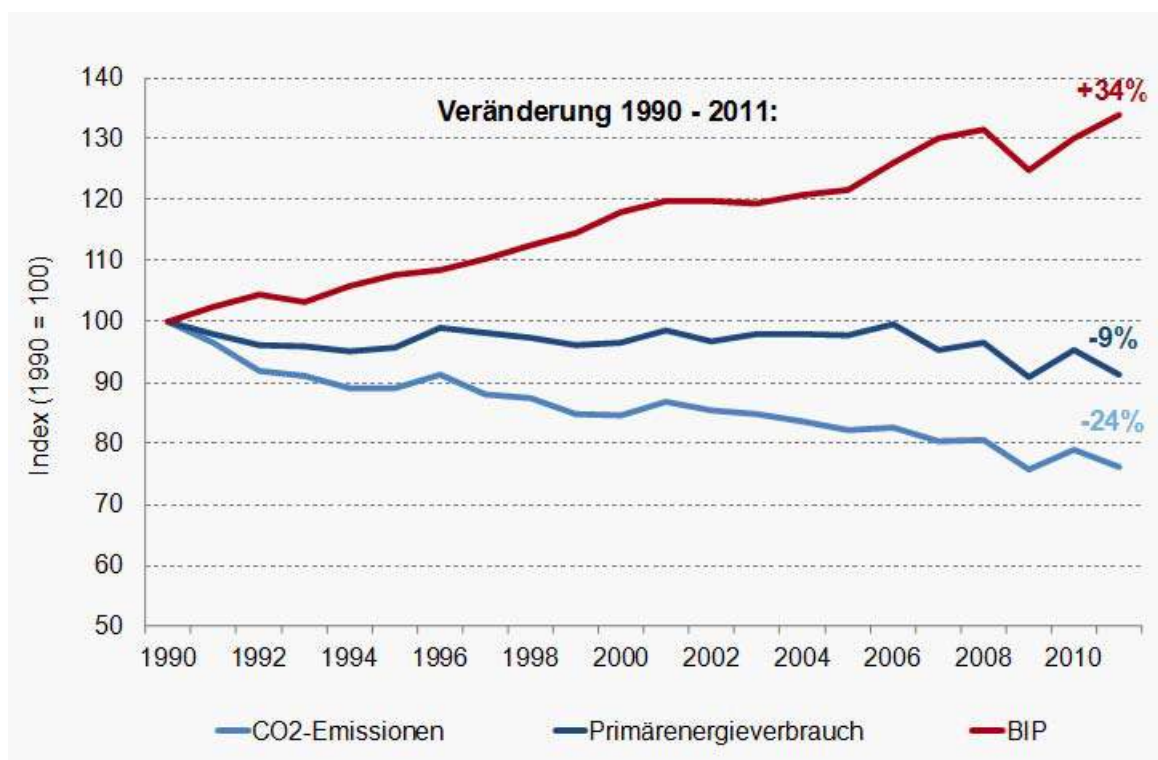
Bei den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigt sich ein ähnliches Muster wie beim globalen Energieverbrauch. Zwischen 1990 und 2011 stiegen sie um knapp 50 % an, wobei fast 90 % der Zunahme auf die Entwicklungs- und Schwellenländer entfielen. Diese trugen 2011 mit knapp 60 % zu den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Im Jahr 1990 hatte dieser Wert bei 46 % gelegen.

## Bestandsaufnahme auf nationaler Ebene

(Abschnitt 8.3.2 des Berichts)

Im Zeitraum 1990 bis 2011 haben sich Primärenergieverbrauch und Wirtschaftsleistung in Deutschland weitgehend entkoppelt. Im Energiemix haben fossile Energieträger Anteile verloren, Erneuerbare haben Anteile gewonnen. Rückläufiger Energieverbrauch und strukturelle Veränderungen zugunsten CO<sub>2</sub>-armer oder CO<sub>2</sub>-freier Energieträger führten zu einem Rückgang der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 24 % zwischen 1990 und 2011.

Reales BIP, Primärenergieverbrauch und energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen 1990 – 2011, Index, 1990=100



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Auf den ersten Blick hat sich der Primärenergieverbrauch in Deutschland seit 1990 nur wenig verändert. Bis 2006 blieb er – abgesehen von jährlichen Schwankungen weitgehend stabil, danach ging er trendmäßig zurück. Damit hat sich der Verbrauch vom BIP entkoppelt, das im Betrachtungszeitraum um ein Drittel gestiegen ist.

Erhebliche Verschiebungen weist die Energieträgerstruktur auf. Trugen im Jahr 1990 fossile Energien mit 87 % zur Verbrauchsdeckung bei, waren es 2011 noch 79 %. Ursächlich hierfür ist vor allem der seit der Deutschen Einheit deutlich eingeschränkte Einsatz von Braunkohle in der Stromerzeugung. Anteile gewonnen haben Erdgas und vor allem erneuerbare Energien.

Der langfristig leicht abnehmende Verbrauch und die deutlich geänderte Energieträgerstruktur zeigen sich im trendmäßigen Rückgang der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Jahr 2011 lagen sie knapp 24 % (2012 um rund 22 %) niedriger als 1990. Dabei gingen die direkt dem Endenergieverbrauch zuzurechnenden CO<sub>2</sub>-Emissionen absolut mehr als doppelt so stark zurück wie die Emissionen der von der Stromerzeugung geprägten Energiewirtschaft.

## Charakter von Referenzprognose und Trendszenario

(Abschnitt 2.1 des Berichts)

**Die Referenzprognose zeigt einen umfassenden Blick auf die aus Sicht der Autoren wahrscheinliche zukünftige energiewirtschaftliche Entwicklung. Sie berücksichtigt eine zukünftig weiter verschärfte Energie- und Klimaschutzpolitik ebenso wie bestehende Hemmnisse für deren Umsetzung.**

Die Referenzprognose zeichnet ein wahrscheinliches Bild der energiewirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland vor dem Hintergrund der erwarteten wirtschaftlichen, demografischen und politischen Veränderungen im nationalen und internationalen Umfeld.

Die Energie- und Klimaschutzpolitik wird annahmegemäß in Zukunft verschärft. Es werden auch Maßnahmen berücksichtigt, die heute noch nicht beschlossen sind. Die Referenzprognose geht aber auch davon aus, dass Energie- und Klimaschutzpolitik ein Politikfeld unter anderen ist und erforderliche Kompromisse nicht in allen Fällen zu ihren Gunsten getroffen werden.

Hemmnisse, die einer konsequenten Energie- und Klimaschutzpolitik entgegen stehen, werden berücksichtigt. Dazu zählen z. B. Informationsdefizite, individuelle Präferenzen, mangelnder Zugang zu Kapital, spezifische Investitionskalküle, irrationales Verhalten, Marktversagen, Beharrungskräfte und ungelöste Verteilungsfragen.

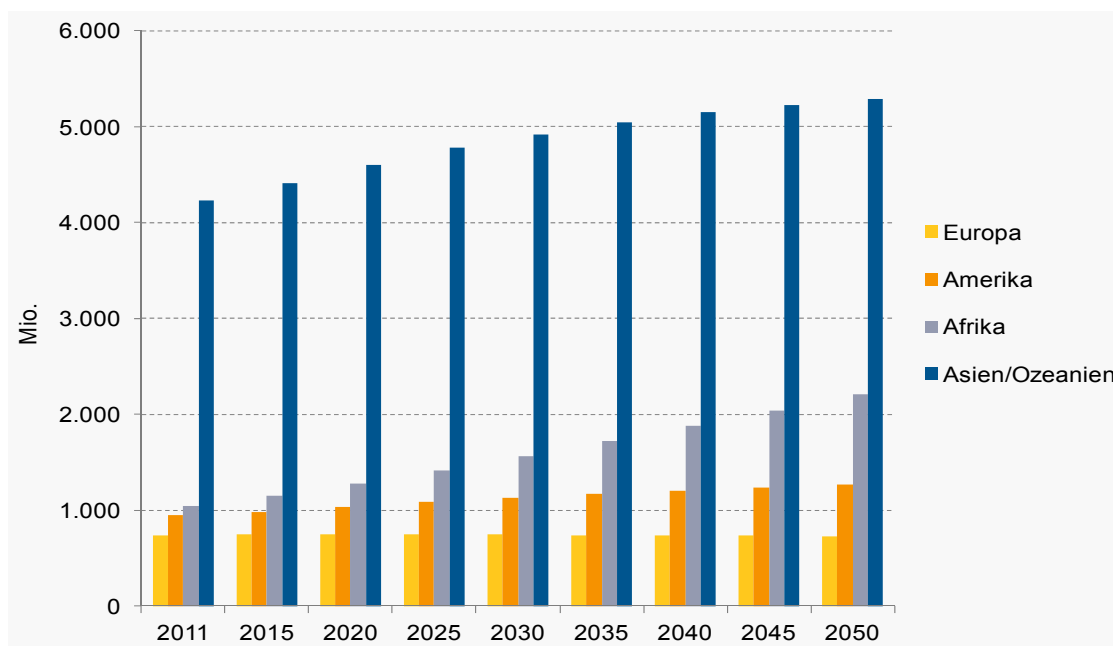
Im Trendszenario werden die in der Referenzprognose – sie reicht bis zum Jahr 2030 – angelegten Entwicklungen bis ins Jahr 2050 fortgeschrieben.

## Globaler Rahmen

(Abschnitt 3.1.1 des Berichts)

**Die Integration der Weltwirtschaft schreitet im Betrachtungszeitraum weiter voran. Die ökonomischen Gewichte verschieben sich zunehmend in die heutigen Schwellenländer, vor allem nach Asien.**

*Bevölkerung nach Regionen 2011 – 2050, in Mio. Personen*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Die wirtschaftliche Entwicklung der einzelnen Volkswirtschaften hängt zunehmend von den Veränderungen im globalen Umfeld ab. Durch das Internet werden die internationalen Verflechtungen ebenso intensiviert wie durch die multinationale Ausrichtung von Unternehmen, die regionale Absatzchancen und Kostendifferenzen nutzen.

Die günstigen Wachstumsperspektiven zeigen sich in den heutigen Schwellenländern und hier vor allem in China und Indien. Die Industrieländer spielen für die Dynamik der Weltwirtschaft eine immer kleinere Rolle.

Mittelfristig und insbesondere längerfristig wächst Indien schneller als China. Dabei profitiert die Wirtschaft in Indien von der – anders als in China – günstigen Bevölkerungsentwicklung. Die Zunahme der arbeitsfähigen Bevölkerung dämpft die Lohn-Preis-Dynamik und stärkt die internationale Preiswettbewerbsfähigkeit.

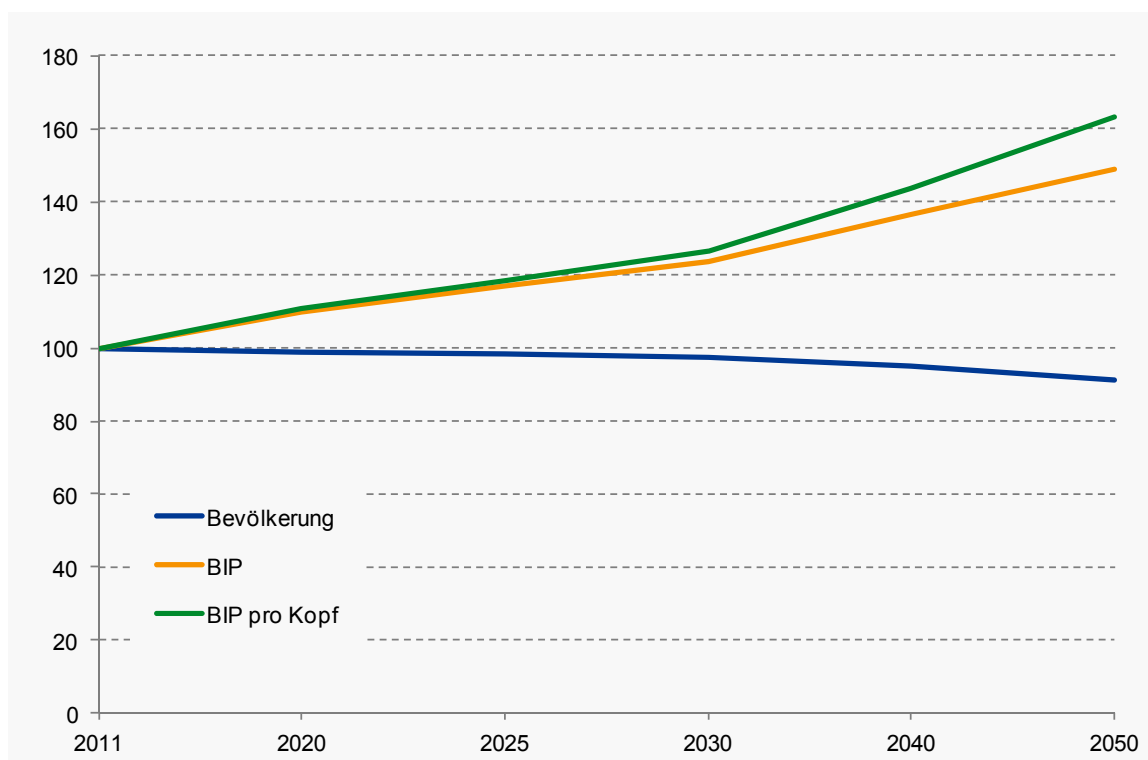
Innerhalb der heutigen Industrieländer entwickeln sich die USA mittel- und langfristig dynamischer als die EU. Ein wesentlicher Grund dafür ist die in den USA wachsende Bevölkerung. In der EU begrenzt die rückläufige Einwohnerzahl die Ausweitung der Binnennachfrage und verringert das Erwerbspersonenpotenzial.

## Rahmenannahmen für Deutschland

(Abschnitt 3.1.2 des Berichts)

**Die deutsche Wirtschaft wächst mittel- und langfristig mit 1 % p.a. Gebremst wird das Wachstum von der rückläufigen Bevölkerung und der damit verbunden abnehmenden Zahl von Erwerbspersonen. Die Industrie behält auch langfristig ihre zentrale Bedeutung für die deutsche Wirtschaft.**

*Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt und Pro-Kopf-Einkommen in Deutschland, 2011 – 2050, Index, 2011=100*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland wird zunehmend von den Veränderungen im globalen Umfeld geprägt. Konsequenzen hat dies für Standortentscheidungen und inhaltliche Ausrichtung von Unternehmen.

Langfristig bremst die Bevölkerungsentwicklung das Wirtschaftswachstum in Deutschland. Die rückläufige Einwohnerzahl verringert das Erwerbspersonenpotenzial und begrenzt die Ausweitung der Binnennachfrage.

Das reale Bruttoinlandsprodukt wächst mittel- und langfristig mit einer durchschnittlichen Rate von 1 % p.a. In Verbindung mit dem Bevölkerungsrückgang führt dies zu einem Anstieg des durchschnittlichen realen Pro-Kopf-Einkommens um 27 % bis 2030 und um 63 % bis 2050.

Die Industrie behält ihre Position und spielt auch langfristig eine zentrale Rolle für die deutsche Wirtschaft. Innerhalb der Industrie setzt sich der Strukturwandel fort. Die Hersteller von Investitionsgütern und Konsumprodukten gewinnen weiter an Bedeutung, ebenso prägen Dienstleistungen mehr und mehr auch die Angebotspalette von Industrieunternehmen.

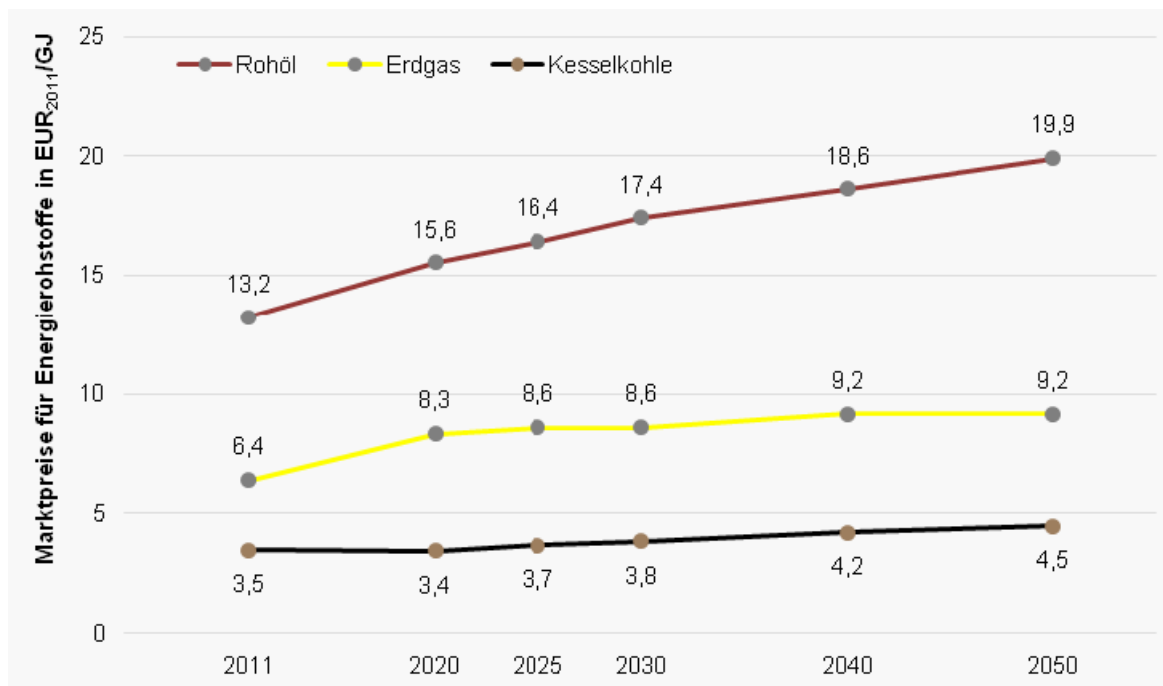


## Preise für Energierohstoffe

(Abschnitt 8.2.1 des Berichts)

**Für Rohöl, Erdgas und Kesselkohle sind reale Preisanstiege gegenüber den aktuellen Marktpreisen zu erwarten. Sie sind maßgeblich durch den Anstieg der Energienachfrage asiatischer Volkswirtschaften bedingt.**

Preise für Energierohstoffe in Referenzprognose und Trendszenario 2011-2050, in EUR<sub>2011</sub>/GJ



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Auf globaler Ebene ist die geologische Verfügbarkeit der fossilen Energierohstoffe Rohöl, Erdgas und Kesselkohle langfristig gesichert. Die Entwicklung von Rohstoffreserven und statischen Reichweiten hängt stark vom zukünftigen technologischen Fortschritt sowie der Marktpreisentwicklung ab.

Bis 2030 wächst der globale Rohölverbrauch auf rund 100 mbb/d gegenüber 87 mbb/d in 2011. Hauptursache hierfür ist die steigende Nachfrage der Verkehrssektoren schnell wachsender Entwicklungs- und Schwellenländer. Preisdämpfend wirken die hohen Investitionen in die globalen Förderkapazitäten sowie die zunehmende Erschließung unkonventioneller Rohölvorkommen.

Politische und regulatorische Bestrebungen zur Reduktion von CO<sub>2</sub> und anderen Schadstoffemissionen führen bis 2030 zu einem deutlichen Anstieg der globalen Erdgasnachfrage. Die Angleichung der kontinentalen Gaspreise durch regionale LNG-Preisarbitrage erhöht die Preise im europäischen Erdgasmarkt.

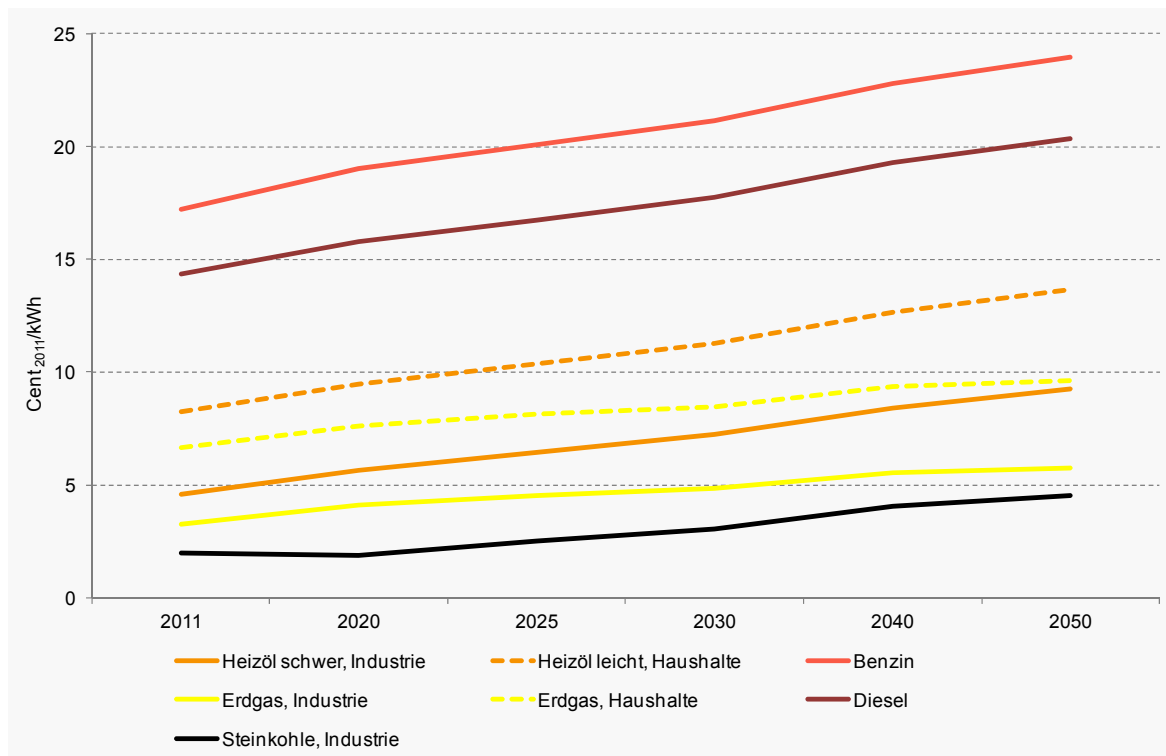
In Asien führt die steigende Stromnachfrage in vielen Volkswirtschaften insbesondere in China und Indien, gepaart mit auf Kohle basierenden Elektrizitätssektoren, zu einer steigenden Nachfrage nach Kesselkohle. Als Folge dürften die gegenwärtig niedrigen Kohlepreise trendmäßig ansteigen.

## Verbraucherpreise für fossile Energieträger

(Abschnitt 3.1.3.2 des Berichts)

**Die Verbraucherpreise für Mineralölprodukte, Erdgas und Kohle werden im Wesentlichen von Weltmarktpreisen und Wechselkursen sowie durch Steuern und Abgaben bestimmt. Hinzu kommen ab 2020 CO<sub>2</sub>-Zuschläge für private Haushalte und Unternehmen, die nicht am Emissionshandel teilnehmen.**

*Verbraucherpreise für Mineralölprodukte und Erdgas, Haushaltspreise mit MwSt., Industriepreise ohne MwSt., real in Cent<sub>2011</sub>/kWh*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Die realen Preise für von privaten Haushalten bezogenes leichtes Heizöl und Erdgas steigen zwischen 2011 und 2030 um 37 % bzw. 27 %. Im Jahr 2050 sind sie um 66 % bzw. 45 % höher als 2011. Der stärkere Preisanstieg von Heizöl ist vor allem durch im Vergleich zu Erdgas schneller steigende Grenzübergangpreise von Rohöl bedingt.

Für industrielle Kunden fallen die relativen Preissteigerungen höher aus als für private Haushalte. Grund dafür ist die hier geringere Belastung mit Steuern und Abgaben. Am stärksten verteuern sich schweres Heizöl und Steinkohle. Dabei spielt der ab 2020 unterstellte CO<sub>2</sub>-Zuschlag für Unternehmen, die nicht am Emissionshandel teilnehmen, eine wichtige Rolle. Im Jahr 2050 macht der CO<sub>2</sub>-Zuschlag bei schwerem Heizöl und Steinkohle rund ein Drittel des Preises aus.

Annahmegemäß zahlen Unternehmen, die nicht am Emissionshandel teilnehmen und private Haushalte einen Zuschlag, der sich an den CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreisen und dem spezifischen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Energieträger bemisst.

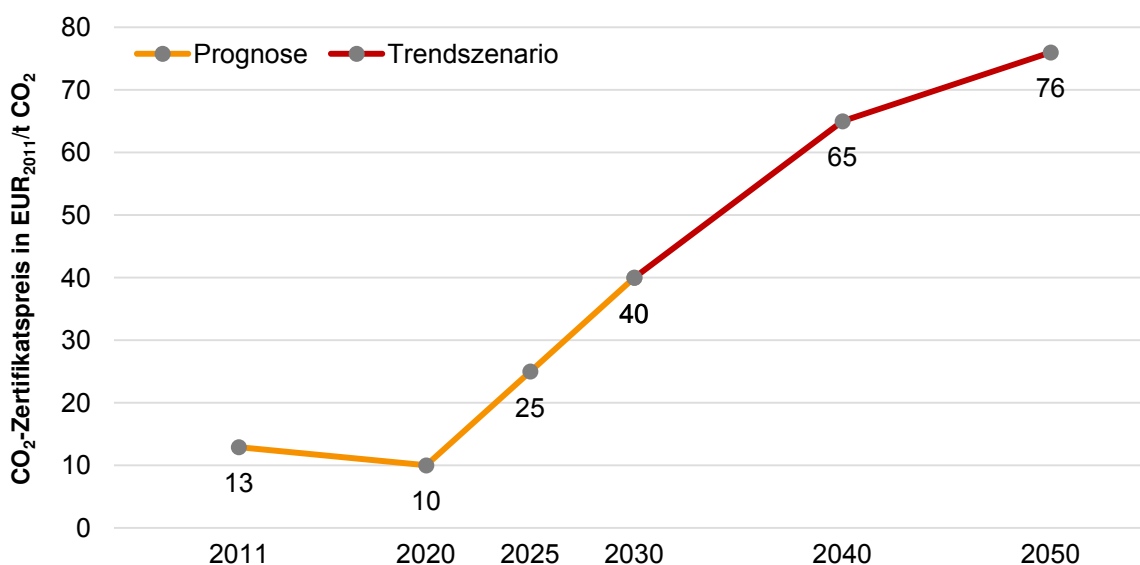
Die Preise für Benzin und Dieselkraftstoff liegen 2030 um rund ein Viertel höher als 2011, 2050 sind es rund 40 %. Der vergleichsweise geringe relative Anstieg ist eine Folge der hohen Belastung mit Mineralölsteuer, die im Betrachtungszeitraum als real konstant angenommen wird.

## Entwicklung des Emissionshandels

(Abschnitt 8.2.2.2 des Berichts)

**Bis 2020 bleiben die Preise für CO<sub>2</sub>-Zertifikate auf einem moderaten Niveau. Verantwortlich dafür sind Überschussmengen u.a. in Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise. Das aktuell beschlossene Backloading hat diesbezüglich nur einen geringen Einfluss. Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises nach 2020 ist durch die Verknappung der Zertifikate auf europäischer Ebene bedingt und wird zugleich gedämpft durch die Kopplung der europäischen mit internationalen Klimaschutzanstrengungen.**

Preise für CO<sub>2</sub>-Zertifikate in Referenzprognose und Trendszenario 2011-2050, in EUR<sub>2011</sub>/t CO<sub>2</sub>



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Der EU-Emissionshandel ist das zentrale Instrument zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa. Durch die Begrenzung und anschließende Verauktionierung von Emissionsrechten („Cap and Trade“) sollen die externen Kosten der Klimagasemissionen internalisiert und ein wirtschaftlicher Anreiz zur Emissionsreduktion gegeben werden.

Die Finanz- und Wirtschaftskrise ab 2007 und die damit verbundene Dämpfung des Energieverbrauchs sowie eine zunehmende Anrechnung von internationalen Emissionsrechten (nach den Flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls) führen zu einem Überschuss an Emissionsrechten in der aktuellen Handelsperiode. Dieser Überschuss lässt den Zertifikatspreis zunächst auf moderatem Niveau verharren.

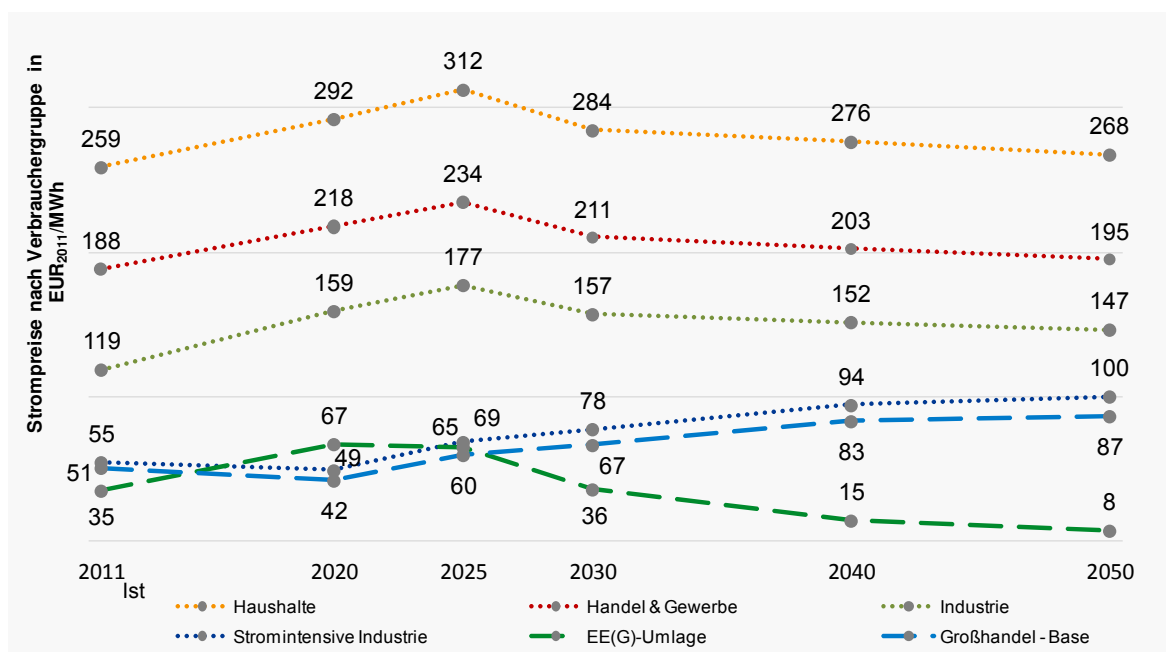
Nach 2020 steigt der CO<sub>2</sub>-Preis, wenn aufgrund der Verknappung der Zertifikate das Überangebot deutlich abgebaut wird. Dabei spielt die Kopplung des europäischen Emissionshandels mit internationalen Klimaschutzanstrengungen eine zunehmende Rolle. Ohne die daraus folgende Anrechnung internationaler Treibhausgasreduktionsanstrengungen würden in der langen Frist CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise von über 100 EUR<sub>2011</sub>/t CO<sub>2</sub> erforderlich sein, um das Ziel einer 80%-igen CO<sub>2</sub>-Reduktion zu erreichen. Die zunehmende Öffnung des europäischen CO<sub>2</sub>-Regimes hin zu internationalen Klimaregimen hilft, Zielkonflikte zwischen Klimaschutz und internationaler Wettbewerbsfähigkeit sowie Verlagerungen CO<sub>2</sub>-intensiver Produktionen ins Ausland („Carbon Leakage“) zu begrenzen und die gesellschaftliche Akzeptanz von Klimaschutz zu erhalten.

## Großhandels- und Verbraucherpreise für Strom

(Abschnitt 3.2.4.5 des Berichts)

**Bis 2020 sinkt der Großhandelspreis für Strom vor allem aufgrund der Einspeisung aus erneuerbaren Energien. Der anschließende Anstieg ist auf zunehmende Kosten für Brennstoffbezug und CO<sub>2</sub>-Zertifikate zurückzuführen. Die Verbraucherpreise steigen aufgrund von Umlagen und Abgaben bis 2025 an. Für die hiervon weitgehend befreiten stromintensiven Industrien gehen die Strompreise bis 2020 zurück, danach erhöhen sie sich kontinuierlich.**

*Verbraucherpreise in Referenzprognose und Trendszenario 2011-2050, in EUR<sub>2011</sub>/MWh*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Bis 2020 sinkt der Großhandelspreis vor allem aufgrund der Einspeisung aus erneuerbaren Energien, der anschließende Anstieg ist auf zunehmende Kosten für Brennstoffbezug und CO<sub>2</sub>-Zertifikate zurückzuführen. Wegen des starken Ausbaus erneuerbarer Energien sowie sinkender Großhandelspreise erhöht sich die EE(G)-Umlage bis 2020 gegenüber 2011 deutlich. Nach 2025 ist die EEG-Umlage rückläufig.

Die Endverbraucherpreise für Haushaltskunden steigen bis 2020 auf knapp 292 EUR<sub>2011</sub>/MWh, was primär auf den Anstieg der EEG-Umlage zurückzuführen ist. Von 2020 bis 2025 steigt der Strompreis für Haushaltskunden aufgrund des anziehenden Großhandelspreises weiter. Ab 2025 geht der Strompreis für Haushaltskunden zurück, da sich die sinkende EE(G)-Umlage dann stärker auswirkt als der steigende Großhandelspreis.

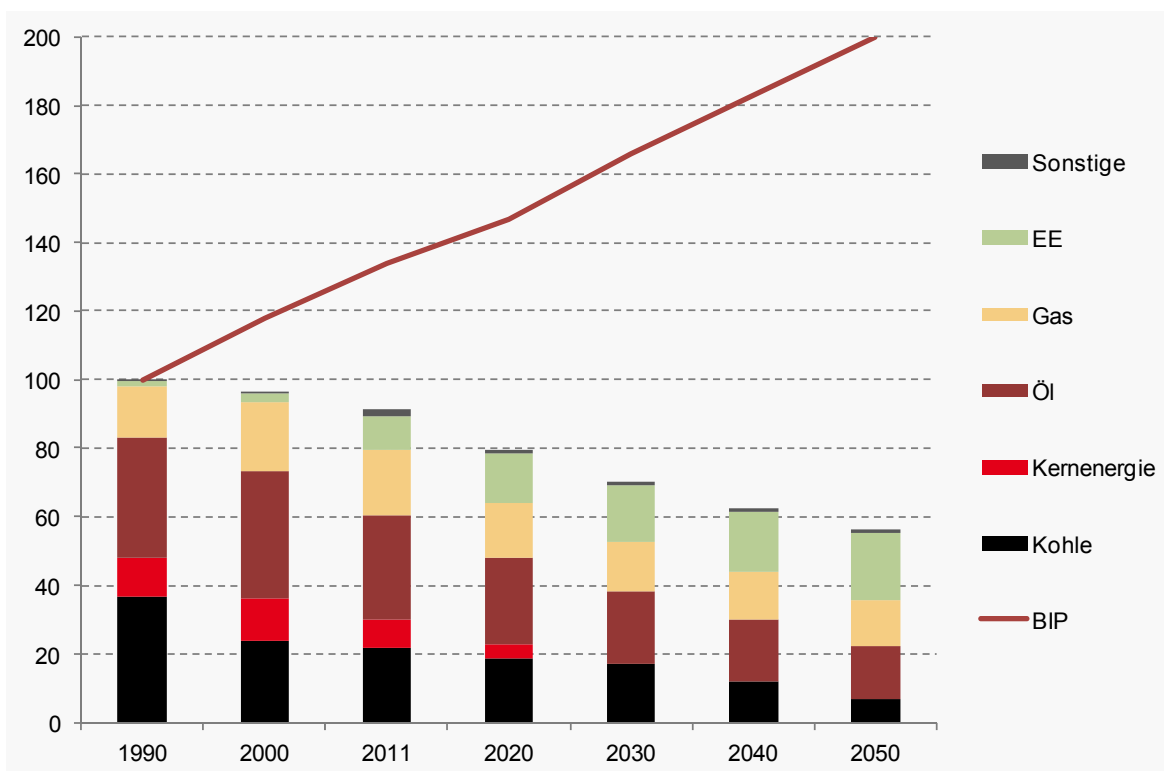
Der Verlauf der Preise für Handel und Gewerbe ist von denselben Faktoren abhängig wie die Preise für Haushaltskunden, jedoch in gedämpfter Form. So entfallen auf Handel und Gewerbe reduzierte Abgaben, beispielsweise niedrigere Konzessionsabgaben. Die Strompreise für Industriekunden steigen bis 2025 bis auf 177 EUR<sub>2011</sub>/MWh. Anschließend verringert sich das Preisniveau aufgrund der sinkenden EEG Umlage wieder. Aufgrund von Ausnahmeregelungen werden die Preise für die stromintensive Industrie im Wesentlichen durch den Großhandelspreis bestimmt.

## Primärenergieverbrauch

(Abschnitt 3.2.1 des Berichts)

**Der Primärenergieverbrauch verringert sich im Betrachtungszeitraum durchgehend. Bei gleichzeitig zunehmender Wirtschaftsleistung führt dies zu einer deutlich steigenden Primärenergieproduktivität. Der Energiemix verändert sich zugunsten erneuerbarer Energien. Fossile Energien bilden aber auch langfristig die Basis der Energieversorgung.**

*Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Referenzprognose und Trendszenario sowie reales BIP 1990 – 2050, Index, 1990=100*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Im Prognosezeitraum bis 2030 geht der Primärenergieverbrauch bei steigendem BIP um 23 % gegenüber 2011 zurück, im Trendszenario bis 2050 beträgt der Rückgang 39 %.

Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch entkoppeln sich weiter. Die (Primär-) Energieproduktivität erhöht sich bis 2030 um 61 % und bis 2050 um mehr als 140 %. Die jährlichen Veränderungsraten liegen deutlich höher als in der Vergangenheit.

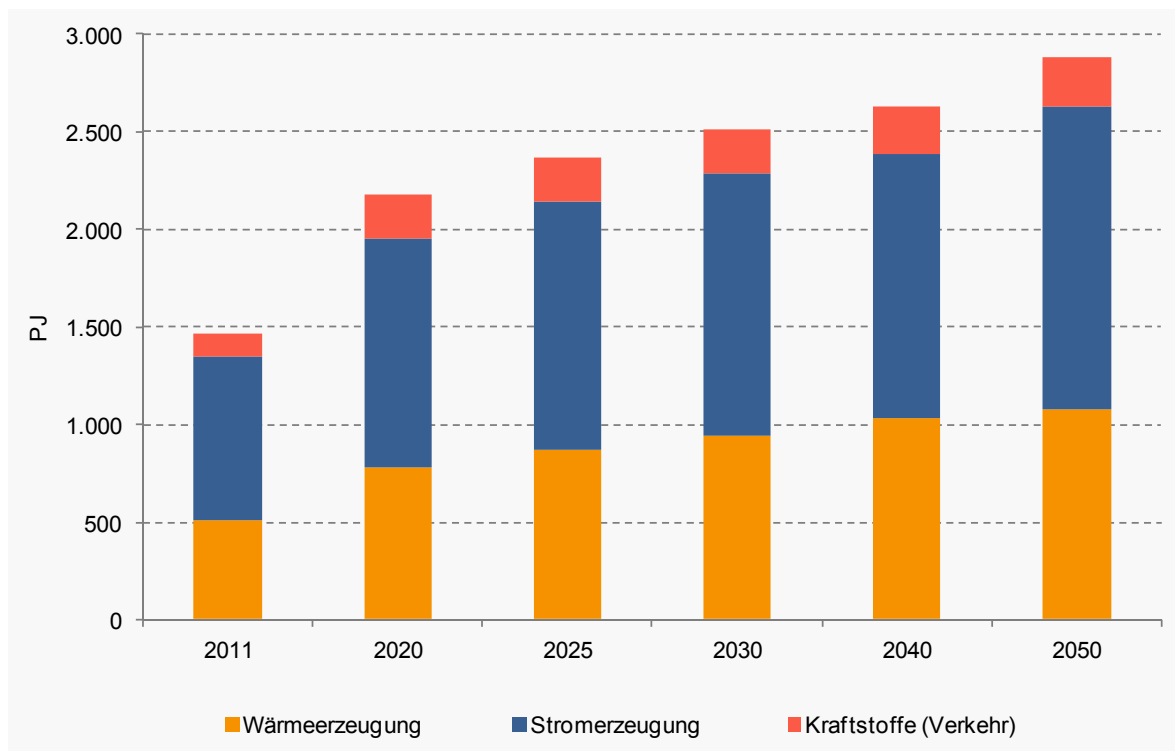
Fossile Energieträger verlieren Marktanteile, dominieren aber auch langfristig (2050) mit einem Anteil von 64 % Energiemix. Deutliche Anteilsgewinne verzeichnen die erneuerbaren Energien. Ihr Beitrag zur Deckung des Primärenergieverbrauchs liegt 2030 bei über 24 % und 2050 bei knapp 35 %. Im Jahr 2011 betrug der entsprechende Wert 11 %.

## Erneuerbare Energien

(Abschnitt 3.2.1 des Berichts)

**Die Erneuerbaren leisten einen weiter schnell wachsenden Beitrag zur Energieversorgung. Wind und Photovoltaik weisen auch in Zukunft hohe Zuwachsraten auf. Biomasse bleibt langfristig die wichtigste erneuerbare Energiequelle. Mehr als die Hälfte aller Erneuerbaren werden zur Stromerzeugung genutzt.**

*Erneuerbare Energien nach Verwendungsbereichen in Referenzprognose und Trendszenario 2011 – 2050, in PJ*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Die erneuerbaren Energien werden für die Energieversorgung zunehmend wichtiger. Im Jahr 2030 decken sie rund ein Viertel des Primärenergieverbrauchs, 2050 sind es 35 %. Im Jahr 2011 lag der Beitrag bei 11 %.

Die Nutzung der Erneuerbaren nimmt bis 2030 um rund 50 % zu, bis 2050 verdoppelt sie sich. Besonders schnell ausgebaut werden Windenergie und Photovoltaik. Noch dynamischer ist das Wachstum bei Geothermie, Solarthermie und der Nutzung von Umgebungswärme. Allerdings leisten diese Energieträger nur einen kleinen Beitrag zur Energieversorgung. Langfristig behalten Biomassen ihre dominante Rolle unter den Erneuerbaren. Denn sie sind sowohl zur Erzeugung von Strom und Wärme als auch für die Herstellung von Kraftstoffen nutzbar.

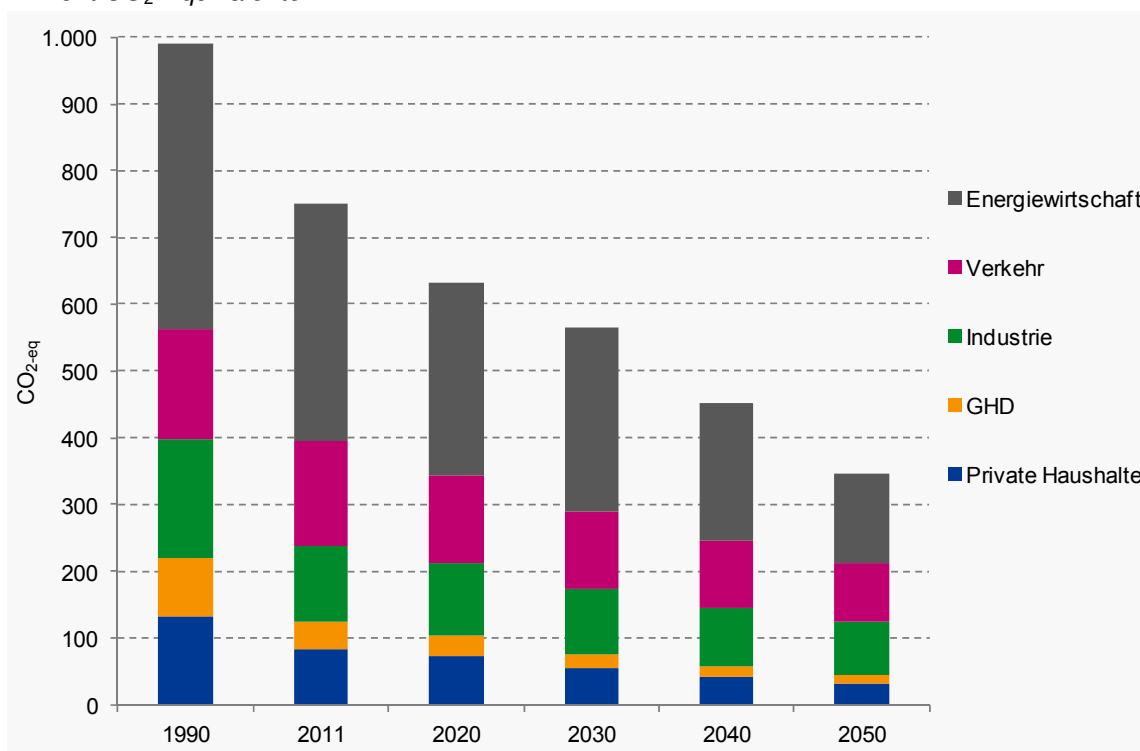
Mehr als die Hälfte der erneuerbaren Energien werden in der Stromerzeugung eingesetzt. Zur Wärmeezeugung werden zwischen 35 % und 40 % der Erneuerbaren verwendet, die übrigen rund 10 % werden zur Herstellung biogener Kraftstoffe genutzt.

## Energiebedingte Treibhausgasemissionen

(Abschnitt 3.2.2 des Berichts)

Die energiebedingten Treibhausgasemissionen liegen 2020 um 36 % und 2050 um 65 % niedriger als im Kyoto-Basisjahr 1990. Grund dafür sind der rückläufiger Primärenergieverbrauch und dessen langfristig abnehmende Treibhausgasintensität. Zwischen 2011 und 2020 sowie 2050 tragen Energiewirtschaft und Endverbraucher in etwa gleichem Maße zur Emissionsreduktion bei.

*Energiebedingte Treibhausgasemissionen in Referenzprognose und Trendszenario 1990 – 2050, in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Zwischen 2011 und 2030 (2050) verringern sich die energiebedingten Treibhausgasemissionen unter den getroffenen ökonomischen und energiepolitischen Annahmen um 25 % (54 %).

Gegenüber dem Kyoto-Basisjahr liegen die Emissionen 2020 um 36 % und 2050 um gut 65 % niedriger. Damit werden die im Energiekonzept der Bundesregierung formulierten Ziele (Absenkung bis 2020 um 40 %, bis 2050 um mindestens 80 %) nicht erreicht.

Die Emissionsminderung hat zwei Ursachen: zum einen den rückläufigen Primärenergieverbrauch, zum anderen die zunehmende Bedeutung CO<sub>2</sub>-armer oder CO<sub>2</sub>-freier Energieträger. Die Emissionsintensität des Primärenergieverbrauchs geht zwischen 1990 und 2020 um 19 % zurück, bis 2050 verringert sie sich um 38 %.

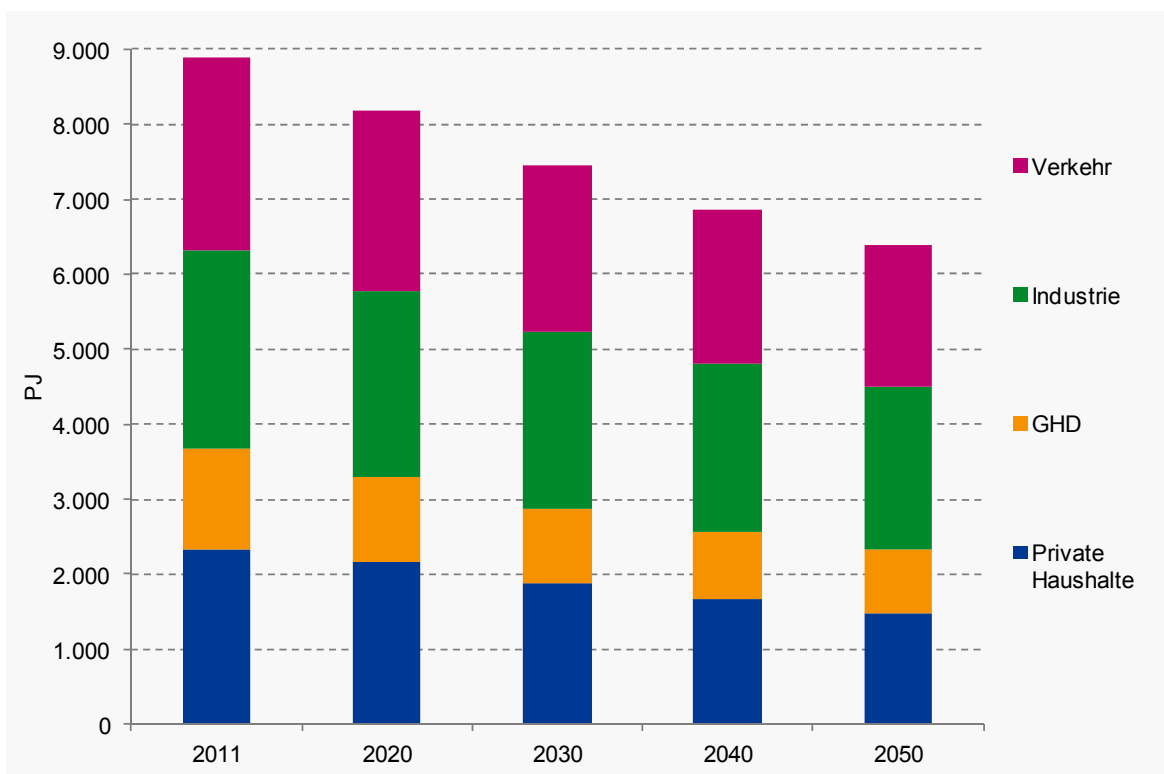
In der langfristigen Betrachtung lassen sich zwei Phasen unterscheiden. Während im Zeitraum 1990 bis 2011 die Emissionsminderung der Endverbrauchssektoren absolut gesehen mehr als doppelt so groß war wie diejenige der Energiewirtschaft, leisten beide Bereiche zwischen 2011 und 2020 bzw. 2050 vergleichbare Beiträge zur weiteren Absenkung der energiebedingten THG-Emissionen.

## Endenergieverbrauch insgesamt

(Abschnitt 3.2.3.1 des Berichts)

**Der Endenergieverbrauch geht mittel- und langfristig in allen Verbrauchssektoren zurück. Die Endenergieproduktivität steigt um knapp 2 % p.a. Fossile Energien verlieren an Bedeutung, der Anteil der Erneuerbaren steigt deutlich. Strom wird bis 2050 zum wichtigsten Energieträger.**

*Endenergieverbrauch nach Sektoren in Referenzprognose und Trendszenario, 2011 – 2050, in PJ*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Der Endenergieverbrauch verringert sich zwischen 2011 und 2030 um 16 %. Bis 2050 geht er weiter zurück und liegt dann um 28 % niedriger als 2011. Das bedeutet einen Anstieg der Endenergieproduktivität um knapp 2 % p.a.

Die größten relativen Einsparungen weisen im Betrachtungszeitraum die privaten Haushalte und der Sektor GHD auf. In der Industrie und im Verkehrsbereich sind die Verbrauchsabsenkungen prozentual kleiner.

Abgesehen vom zunehmenden Energiebedarf für das Kühlen und Lüften sowie für die Haustechnik, wird für alle Verwendungszwecke mittel- und langfristig weniger Energie benötigt als 2011.

Die Nutzung fossiler Energieträger schrumpft, bis 2030 um 28 % und bis 2050 um 47 %. Ihr Beitrag zur Deckung der Endnachfrage geht deutlich zurück. Die Nachfrage nach Strom verringert sich wenig. Der Einsatz erneuerbarer Energien verdoppelt sich bis 2050.

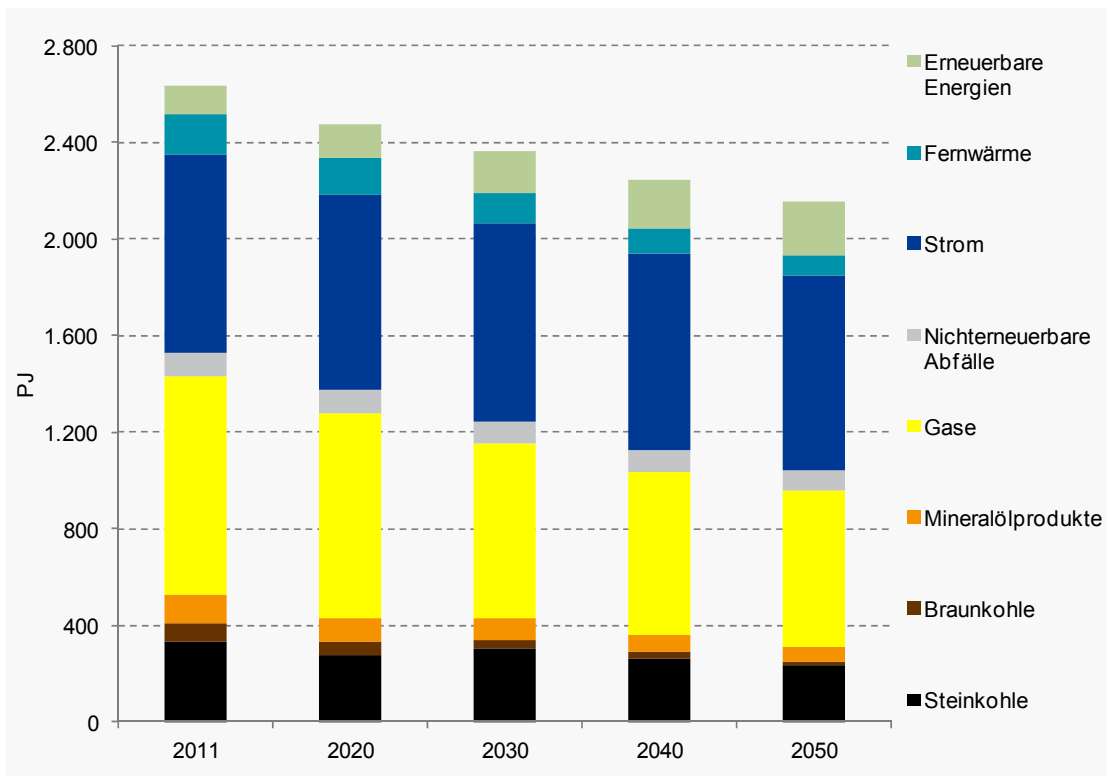


## Endenergieverbrauch der Industrie

(Abschnitt 3.2.3.2 des Berichts)

**Bei zunehmender Wertschöpfung sinkt der Energieverbrauch in der Industrie, die Energieproduktivität steigt deutlich an. Strom gewinnt als Energieträger in der Industrie weiter an Bedeutung.**

*Endenergieverbrauch der Industrie nach Energieträgern in Referenzprognose und Trendszenario 2011 – 2050, in PJ*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Der Endenergieverbrauch der Industrie verringert sich zwischen 2011 und 2030 um rund 10 %, bis 2050 beträgt der Rückgang knapp 19 %.

Die Energieproduktivität der Industrie steigt deutlich an. Von 2011 bis 2030 erhöht sie sich um durchschnittlich 1,8 % p.a., von 2030 bis 2050 um weitere 1,5 % p.a. Dazu trägt eine höhere Energieeffizienz in den einzelnen Wirtschaftszweigen bei. Verstärkt wird der Anstieg durch den intraindustriellen Strukturwandel zugunsten der nicht energieintensiven Branchen.

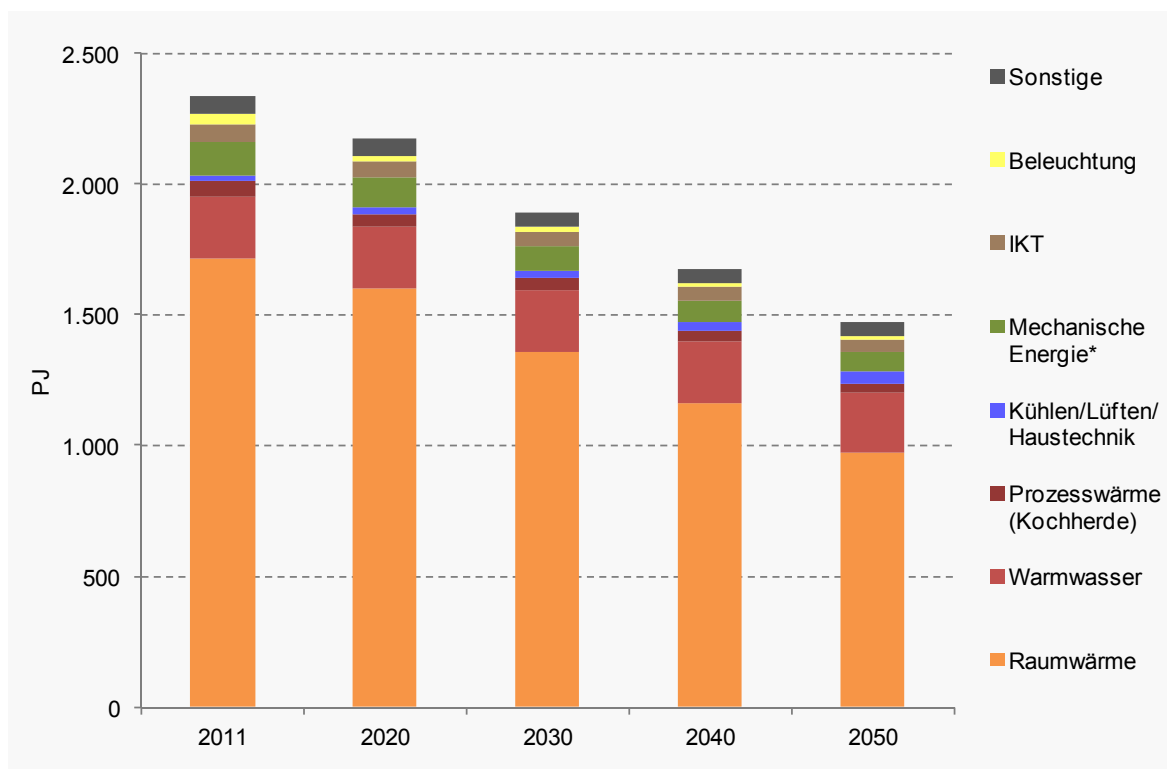
Der Stromverbrauch bleibt über den gesamten Betrachtungszeitraum weitgehend unverändert. Dadurch gewinnt Strom im Energiemix der Industrie zunehmend an Bedeutung. Im Jahr 2030 (2050) deckt er mehr als 34 % (knapp 38 %) des Bedarfs. Ein steigender Teil des Endenergieverbrauchs wird durch erneuerbare Energien gedeckt. Der Beitrag fossiler Energieträger geht dagegen deutlich zurück.

## Endenergieverbrauch der privaten Haushalte

(Abschnitt 3.2.3.3 des Berichts)

**Bei ausgeweiteter Wohnfläche und zunächst noch steigender Zahl der privaten Haushalte verringert sich deren Energieverbrauch mittel- und langfristig deutlich. Dazu tragen neben Einsparungen im Gebäudebereich auch effizientere Elektrogeräte bei. Der Anteil fossiler Energieträger geht zurück.**

*Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Anwendungsbereichen in Referenzprognose und Trendszenario 2011 – 2050, in PJ*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte geht im Prognosezeitraum kontinuierlich zurück. Im Jahr 2030 liegt er um 19 % niedriger als 2011 (2050: -37 % ggü. 2011).

Trotz einer Ausweitung der Wohnflächen um 7 % wird für die Erzeugung von Raumwärme im Jahr 2030 rund 21 % weniger Energie benötigt als 2011 (2050: -43 % ggü. 2011). Die Gründe hierfür liegen in einer energetisch verbesserten Qualität der Gebäude, effizienteren Heizanlagen und im wärmeren Klima.

Der Stromverbrauch verringert sich bis ins Jahr 2030 um 17 % und bis 2050 um 28 %. Dieser Effekt ist auf effizientere Geräte, den Rückgang an konventionellen Stromheizungen und die abnehmende Bevölkerung zurückzuführen.

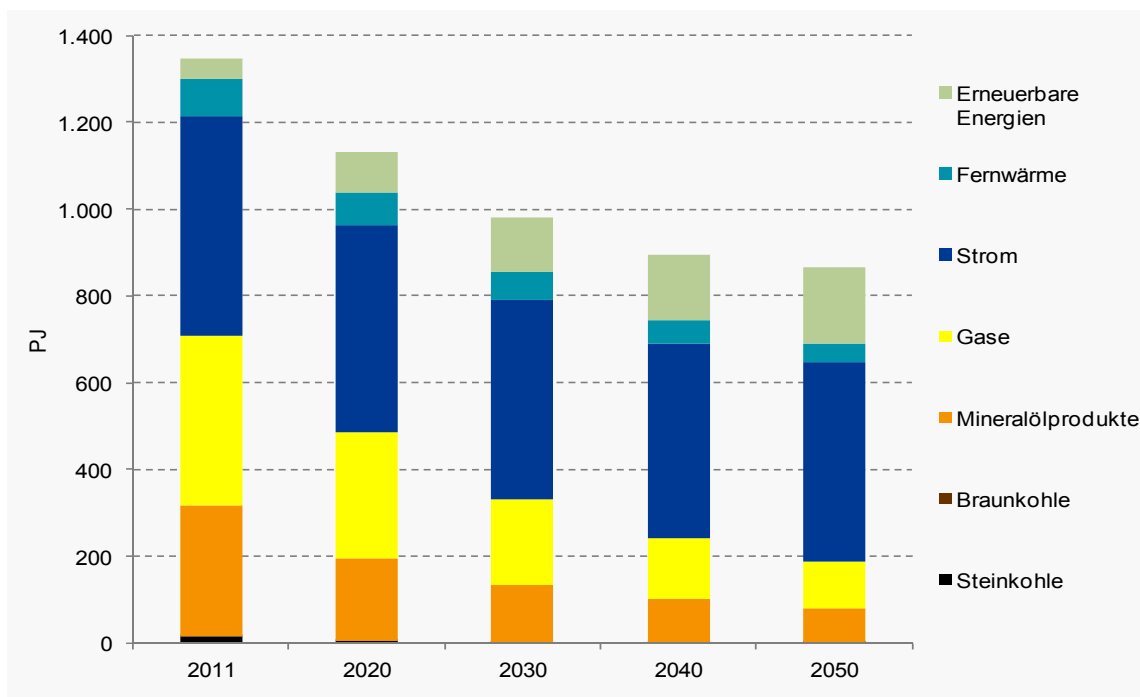
Der Anteil der fossilen Energieträger am Energieverbrauch der privaten Haushalte nimmt ab. Im Jahr 2030 beträgt er noch knapp 46 % (Anteil 2050: 36 %). Gleichzeitig erhöht sich der Anteil der Erneuerbaren auf 23 % (Anteil 2050: 32 %).

## Der Endenergieverbrauch im Sektor GHD

(Abschnitt 3.2.3.4 des Berichts)

**Der heterogene Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) weist einen erheblichen Rückgang des Energieverbrauchs auf, auch in dynamisch wachsenden Branchen. Während der Verbrauch für die Erzeugung von Raumwärme stark abnimmt, steigt er im Bereich Kühlen / Lüften / Haustechnik massiv an.**

*Endenergieverbrauch im Sektor GHD nach Energieträgern in Referenzprognose und Trendszenario 2011 – 2050, in PJ*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (GHD) umfasst u.a. alle Dienstleistungsbranchen sowie Handwerksbetriebe und die Landwirtschaft. Hier wurden 2011 rund 15 % der gesamten Endenergie verbraucht.

Der Endenergieverbrauch im Sektor GHD geht durchweg zurück. Im Jahr 2030 unterschreitet er den Wert von 2011 um 27 %, bis 2050 beträgt der Rückgang 36 %.

Besonders stark ist der Rückgang in schrumpfenden (Landwirtschaft, Bauwirtschaft, öffentlicher Bereich) oder wachstumsschwachen Branchen (Erziehung und Unterricht, Militär). Hier verringert sich der Verbrauch bis 2030 um 30 % bis 40 %. In den dynamischen Dienstleistungsbereichen beträgt die Abnahme rund 25 %.

Der Energieträgermix verschiebt sich im Betrachtungszeitraum deutlich. Im Jahr 2011 deckten fossile Energieträger mehr als 50 % des Bedarfs. Im Jahr 2030 wird mehr Strom (47 %) eingesetzt als Erdgas, Öl und Kohle zusammen (34 %), Erneuerbare tragen dann mit 13 % zur Deckung der Energienachfrage im Sektor GHD bei.

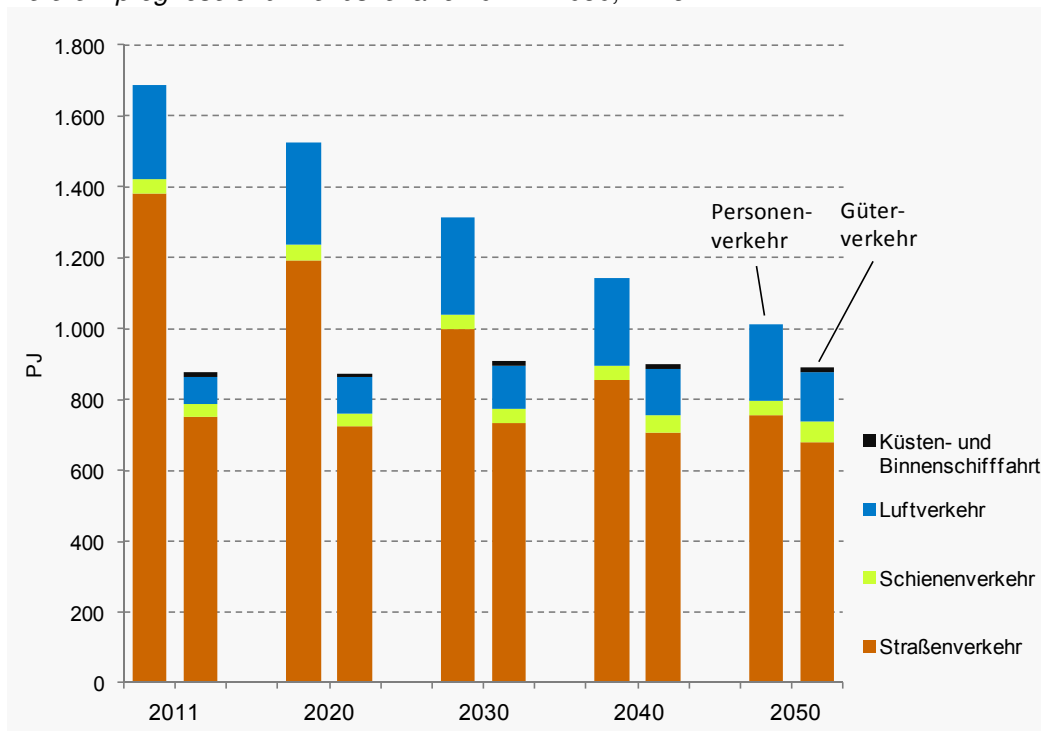
Markante Veränderungen weist auch die Anwendungsstruktur auf. Der Energieverbrauch für die Raumwärmeerzeugung geht weit überdurchschnittlich zurück. Dafür gewinnt der Bereich Kühlen / Lüften / Haustechnik erheblich an Bedeutung.

## Endenergieverbrauch im Verkehr

(Abschnitt 3.2.3.5 des Berichts)

**Insgesamt verringert sich der Energieverbrauch im Verkehr im Betrachtungszeitraum, vor allem als Folge zunehmend effizienter Pkw und Lkw. Dazu trägt der Ausbau der Elektromobilität bei. Benzin und Diesel verlieren zugunsten von Biokraftstoffen, Strom und Erdgas an Bedeutung.**

*Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr nach Verkehrsträgern und Verkehrszweigen in Referenzprognose und Trendszenario 2011 – 2050, in PJ*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Im Verkehr wird 2030 rund 14 % weniger Endenergie verbraucht als 2011. Bis 2050 geht der Verbrauch um 26 % gegenüber 2011 zurück.

Die größten Einsparungen werden bei den Pkw realisiert. Sie verbrauchten 2011 mehr als die Hälfte der gesamten im Verkehrsbereich nachgefragten Energie. Im Straßengüterverkehr wird die zunehmende Transportleistung durch eine steigende Effizienz kompensiert.

Überdurchschnittlich fällt der Nachfragerückgang bei den fossilen Ottokraftstoffen aus. Gründe dafür sind der verstärkte Einsatz von Dieselfahrzeugen und zunehmend sparsamere Benziner. Erdgas etabliert sich als Energieträger im Straßenverkehr. Deshalb kann der Anteil fossiler Energie auch durch den Einsatz von Biogas gesenkt werden. Der Anteil biogener Kraftstoffe verdoppelt sich zwischen 2011 und 2030, bis 2050 steigt er weiter an.

Im Jahr 2020 sind in Deutschland 540 Tsd. Elektro-Pkw zugelassen, 2030 sind es 2,8 Mio. Trotz des starken Wachstums bleibt der Bestand hinter den angestrebten Zielen zurück.

## Strukturelle Veränderungen im Elektrizitätssektor

(Abschnitt 8.2.2 des Berichts)

Die nationalen Märkte für elektrischen Strom in Europa werden weiter zusammenwachsen. Hierbei spielt der Netzausbau eine zentrale Rolle, der aufgrund des geänderten institutionellen Rahmens in Deutschland voranschreiten wird. Beim Ausbau erneuerbarer Energien werden grenzüberschreitende Kooperationen nach 2020 an Bedeutung gewinnen.

Der europäische Binnenmarkt für Strom wird weiter vorangetrieben. Dies intensiviert den Wettbewerb, dämpft die Kosten der Stromerzeugung und erleichtert die Integration der erneuerbaren Energien ins Erzeugungssystem. Da nationale energiepolitische Entscheidungen mit den Vorgaben des EU-Binnenmarkts vereinbar sein müssen, wirkt die angenommene Europäisierung der Strommärkte nationalen Souveränitätsansprüchen entgegen.

Der Weg zu einem gemeinsamen Binnenmarkt schließt die Bildung übernationaler Handelsplattformen ein. Dieses sogenannte Market-Coupling hat in Zentralwesteuropa die Regeln für den Handel von Elektrizität vereinheitlicht und die Effizienz gesteigert. Weitere Nationen werden sich den übernationalen Marktplätzen anschließen.

Die technologiespezifische Förderung erneuerbarer Energien im Stromsektor wird auch weiterhin die Basis für die Erreichung der energiepolitischen Erneuerbaren-Ziele bis 2020 sein. Nach 2020 werden im Zuge des Zusammenwachsens der Strommärkte die Fördermechanismen für erneuerbare Energien zunehmend europäisiert.

Durch den neu geschaffenen institutionellen Rahmen (Bundesbedarfsplan, Netzentwicklungspläne etc.) wird der Ausbau der Übertragungsnetze beschleunigt. Vor dem Hintergrund zunehmender Dezentralisierung wird auch das Verteilnetz modernisiert. Diesbezüglich wird zunehmende Sensorik und Interaktion („Smart Grids“) eine wachsende Rolle spielen.

Der verstärkte Netzausbau wird bereits in den nächsten Jahren bestehende regionale Knappheit an gesicherter Erzeugungsleistung auflösen. Für die Beibehaltung des überregionalen Versorgungssicherheitsniveaus muss durch ein geeignetes Marktdesign sichergestellt werden, dass ausreichend gesicherte Kraftwerksleistung zur Verfügung steht.

Nachfrageflexibilität (Demand Side Management) wird an Bedeutung gewinnen. Vor allem Industrieunternehmen mit zeitlich verschiebbaren Produktionsprozessen werden zunehmend flexibel auf Strompreissignale reagieren. Im Bereich der privaten Haushalte ist aufgrund der dortigen Kosten-Nutzen-Verhältnisse eine starke Ausweitung von DSM nicht zu erwarten. Eine Ausnahme stellt die Elektromobilität dar, welche unter der Voraussetzung, dass die entsprechende Infrastruktur zur Verfügung steht, durch weiterentwickelte Ladeelektronik verschiebbare Lasten bereitstellen kann.

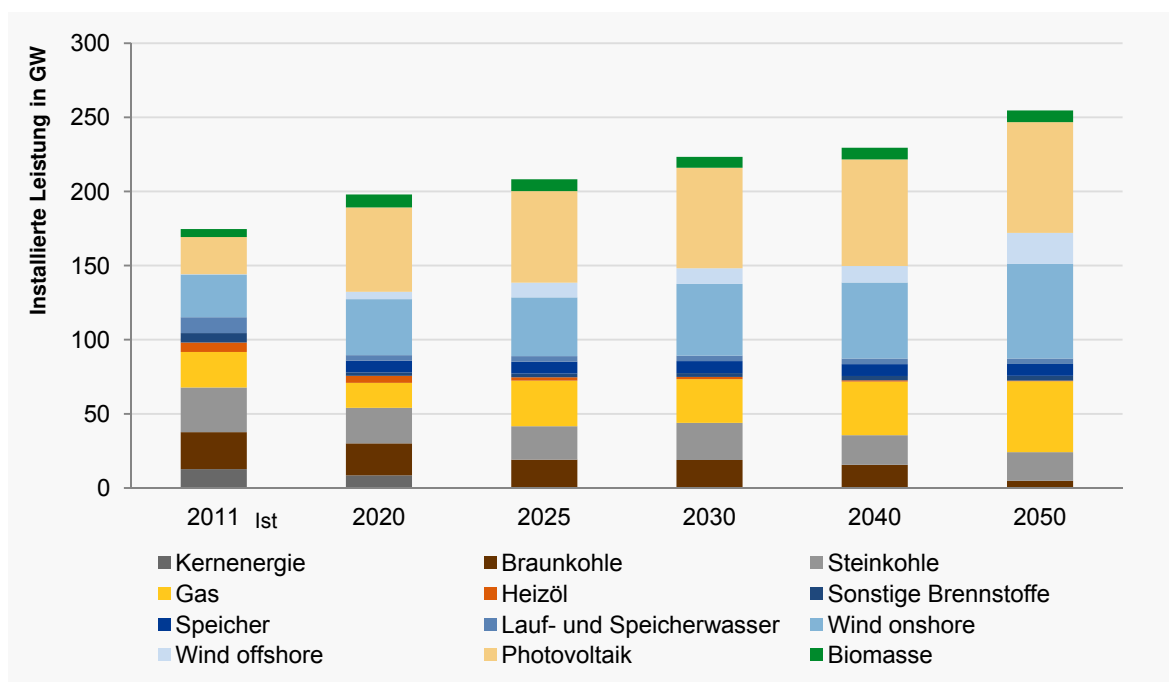
Sinkende Stromgestehungskosten dezentraler Erzeugungsanlagen bei gleichzeitig steigenden Endverbraucherpreisen in der kurzen und mittleren Frist werden Eigenerzeugung und Selbstverbrauch weiter anreizen. Die Bemessung von Steuern, Abgaben und Umlagen sowie Netzentgelten wird anzupassen sein, um dem Aufbau ineffizienter Versorgungsstrukturen entgegenzuwirken und unerwünschte Verteilungseffekte zu mindern.

## Entwicklung des Kraftwerksparks

(Abschnitt 3.2.4.4 des Berichts)

Die installierte Erzeugungsleistung in Deutschland nimmt kontinuierlich zu. Dies ist vor allem auf den starken Ausbau der Solar- und Windenergie zurückzuführen. Da deren Beitrag zur gesicherten Leistung gering ist, geht der Bedarf an steuerbarer Kraftwerkskapazität nur geringfügig zurück.

*Kraftwerksstruktur in Referenzprognose und Trendszenario nach Energieträgern 2011-2050, in GW*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Die installierte Leistung in Deutschland nimmt über den Betrachtungszeitraum kontinuierlich zu und erreicht bereits in 2025 über 200 GW und in 2050 über 250 GW. Damit erhöht sich die Leistung zwischen 2011 und 2050 um rund 50%.

Dieser Anstieg ist vor allem auf die zunehmende Bedeutung von erneuerbaren Energien zurückzuführen. Insbesondere die Windenergie trägt mit einer Verdopplung der Leistung zwischen 2011 und 2030 sowie fast einer Verdreifachung zwischen 2011 und 2050 maßgeblich zu diesem Anstieg bei.

Auch die installierte Kapazität an Photovoltaikanlagen nimmt deutlich zu. So lassen die hohen Zubauzahlen der letzten Jahre sowie der aktuelle politische Rahmen erwarten, dass in 2020 bereits rund 57 GW installiert sind. Damit wird der „Deckel“ von 52 GW überschritten und der Ausbau erfolgt vor allem zum Selbstverbrauch eigenerzeugten Stroms. Zur Verminderung daraus resultierender negativer Verteilungseffekte werden die Tarifstrukturen des Strombezugs (Netzentgelte und Umlagen) angepasst.

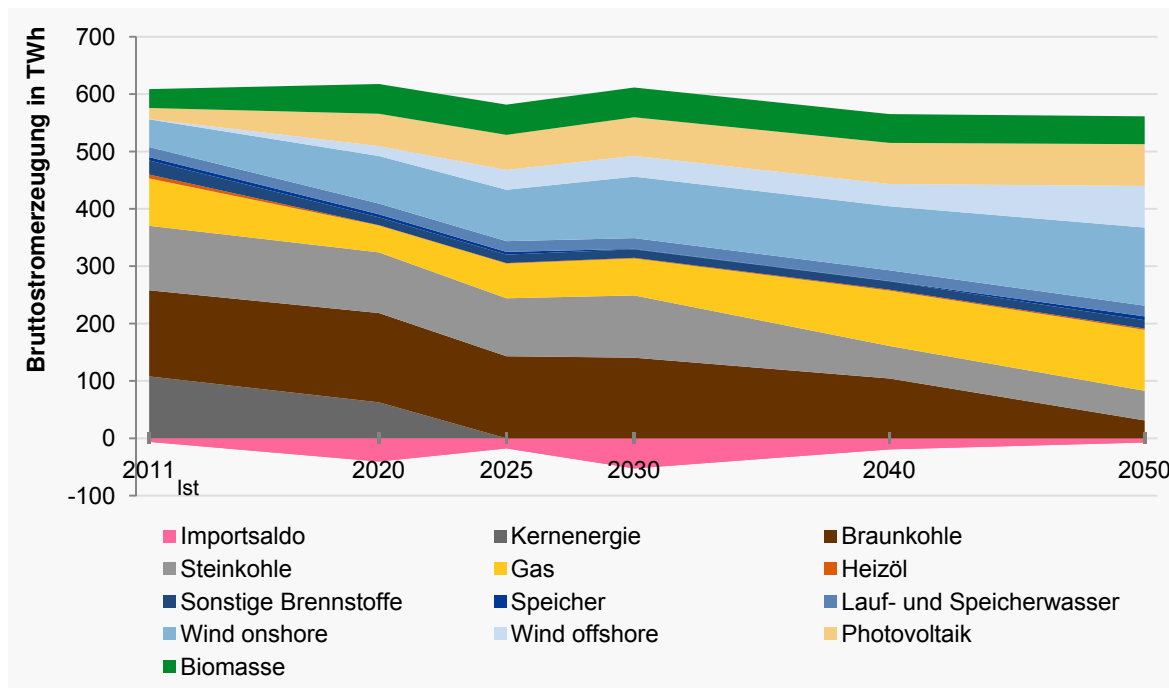
Dass die Leistung konventioneller Kraftwerke trotz des Ausbaus erneuerbarer Energien kaum abnimmt, resultiert aus dem geringen Beitrag gesicherter Leistung aus den fluktuierenden Quellen Solar- und Windenergie. In der langen Frist stellen daher vor allem flexible Gasturbinen mit geringen Investitionskosten einen zunehmenden Anteil am Kraftwerkspark. Die installierte Leistung von Braun- und Steinkohlekraftwerke geht bis 2030 etwas zurück und nimmt danach deutlich ab.

## Elektrizitätserzeugung

(Abschnitt 3.2.4.1 des Berichts)

Die erneuerbaren Energien, darunter vor allem Windkraftanlagen, erhöhen ihren Beitrag zur Bruttostromerzeugung auf rund 45% in 2030 und 62% in 2050. Gleichzeitig bleibt die Erzeugung aus Kohlekraftwerken bis 2030 stabil, anschließend nimmt sie deutlich ab.

Bruttostromerzeugung in Referenzprognose und Trendszenario nach Energieträgern 2011-2050, in TWh



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Aufgrund des Atomausstiegs nimmt die Stromerzeugung aus Kernenergie stark ab. Gemäß dem definierten Ausstiegspfad geht das letzte Kernkraftwerk im Jahr 2022 vom Netz. Neue Braun- und Steinkohlekraftwerke können sich im Erzeugerwettbewerb gut behaupten. Nach 2030 nimmt die Erzeugung aus Kohlekraftwerken deutlich ab.

Bis 2020 sinkt die Erzeugung von Gaskraftwerken vor allem aufgrund zunehmender Einspeisung aus erneuerbaren Energien. Die dadurch abnehmende residuale Nachfrage reduziert die Benutzungsstunden für diesen Kraftwerkstyp. Nach 2025 gewinnen Gaskraftwerke aufgrund höherer Preise für CO<sub>2</sub>-Zertifikate an Wettbewerbsfähigkeit und verdrängen Kohlekraftwerke aus dem Markt.

Vor allem die Erzeugung aus Windkraftanlagen nimmt in den nächsten Jahren deutlich zu. Bereits 2030 stellt die Windenergie den bedeutendsten Energieträger für die deutsche Elektrizitätsversorgung. Photovoltaische Stromerzeugung nimmt im Betrachtungszeitraum ebenfalls zu. Die Obergrenze der Förderung für die Photovoltaik wird bereits vor 2020 erreicht. Danach erfolgt der Ausbau vor allem auf Basis von Eigenerzeugung und Selbstverbrauch.

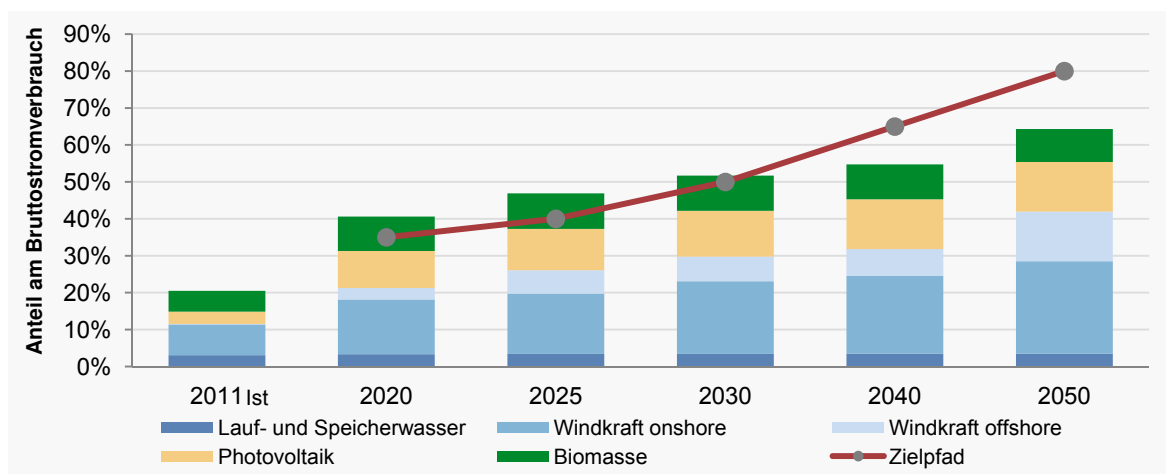
Die Erzeugung aus konventionellen Speicherkraftwerken wird sich nach 2025 deutlich reduzieren. Der Grund hierfür ist die zunehmende Verfügbarkeit anderer Flexibilitätsoptionen, wie beispielsweise Teillastverhalten konventioneller Kraftwerke, Nachfrageflexibilität und internationaler Strom-austausch.

## Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung

(Abschnitte 3.2.4.6 und 8.2.2.3 des Berichts)

Über den gesamten Betrachtungszeitraum nimmt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien deutlich zu. Mittelfristig, bis 2020, werden hauptsächlich Photovoltaik, Windkraft und Biomasseanlagen zugebaut. Längerfristig dominiert das Wachstum der Windenergie. Mit zunehmenden grenzübergreifenden Kooperationen in Europa werden Synergien gehoben und die Kosten der Förderung gedämpft.

Anteil inländischer erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Referenzprognose und Trendszenario nach Energieträgern 2011-2050, in %



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Die energiepolitischen Ziele für Onshore Windenergie werden bis 2020 leicht übertroffen. Das im Koalitionsvertrag genannte Ziel von 6,5 GW Wind Offshore in 2020 wird aufgrund von Verzögerungen bei Netzanschlüssen und Genehmigungsverfahren nicht erreicht. In 2030 steht Windenergie etwa für ein Viertel der gesamten Stromerzeugung. Damit wird Wind zum bedeutendsten Energieträger in der deutschen Stromerzeugung.

Ein weiterer Zuwachs der Stromerzeugung aus Biomasse wird durch die begrenzte Verfügbarkeit von Anbauflächen und Nutzungskonkurrenzen eingeschränkt. Aufgrund limitierter Potenziale bleibt die Erzeugung aus Wasserkraft konstant.

Der starke Ausbau von Photovoltaikanlagen setzt sich bis zur Erreichung des Photovoltaik Deckels von 52 GW fort. Nach einer Überschreitung des Deckels verlangsamt sich der Ausbau bereits vor 2020. Weitere Anlagen werden aufgrund von Eigenerzeugung und Selbstverbrauch dezentral oder an geeigneten Standorten marktgetrieben installiert.

Ab 2020 erfolgt der Ausbau der Erneuerbaren durch zunehmende grenzüberschreitende Kooperationen. Durch Nutzung wind- und sonnenreicherer Standorte lassen sich Kosten dämpfen und die nationalen Ziele leichter erreichen. Die Kosten der Förderung der Erneuerbaren im In- und Ausland zur Erreichung der deutschen Erneuerbaren-Ziele werden auf den deutschen Verbraucher umgelegt. Darum reduziert sich nach 2030 der Zubau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen innerhalb Deutschlands. Nach 2040 wächst Wind offshore aufgrund sinkender Technologiekosten und gleichzeitiger Sättigungseffekte im Bereich der Onshore Windenergie stark.

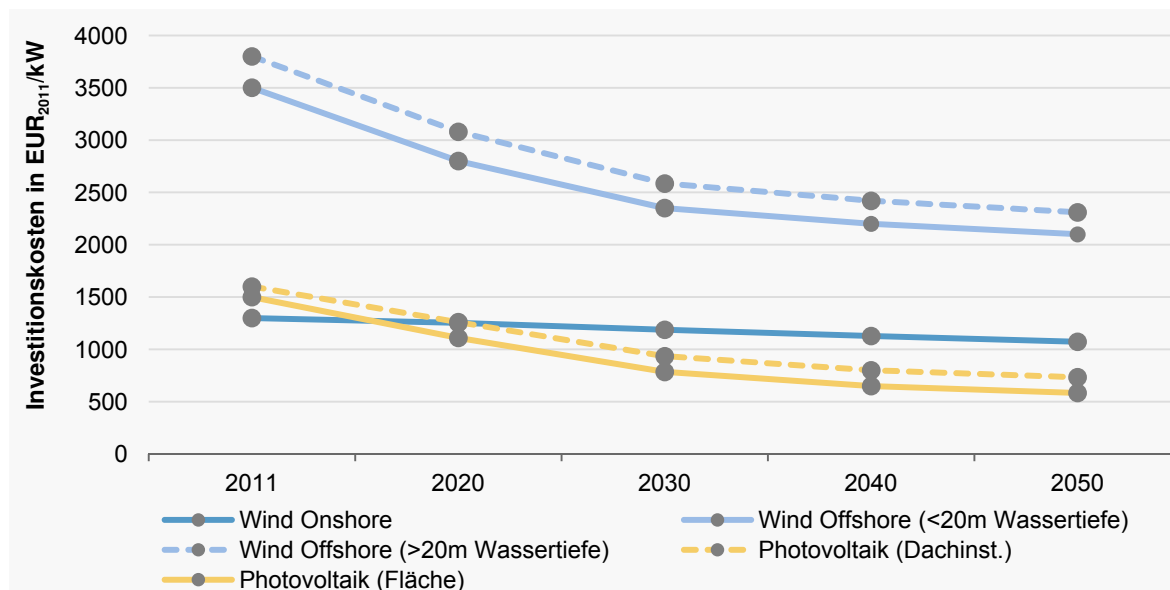


## Techno-ökonomischer Fortschritt bei erneuerbaren Energien

(Abschnitt 8.2.4.1.2 des Berichts)

**Erneuerbare Energien stehen im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken in einem frühen Stadium der Entwicklung. Aufgrund von Lern- und Skaleneffekten sind in diesem Bereich daher in den kommenden Jahren weitere Kostendegressionen vor allem bei Windkraft- und Photovoltaikanlagen zu erwarten.**

*Investitionskosten für Wind- und Photovoltaikanlagen 2011-2050, in EUR<sub>2011</sub>/kW*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Der Zubau von Windkraftanlagen nimmt weltweit zu, sodass durch steigende Produktionsmengen und Lerneffekte Kosten weiter gesenkt werden können. Verbesserungen in der Produktion und optimierte Lieferketten bergen weiteres Potenzial, Kosten zu senken.

Wind Offshore befindet sich noch am Anfang einer großtechnischen Umsetzung. Im Zuge der Erhöhung von Produktionsmengen im Anlagenbau sind durch optimiertes Projektmanagement und Lerneffekte im Komponentenbereich Kostenreduktionen zu erwarten.

Die Photovoltaiktechnologie hat in der Vergangenheit erhebliche Reduktionen in der Kostenstruktur erfahren. Steigende Produktionsvolumina und zunehmender Wettbewerb führten zu sinkenden Herstellungskosten. In Zukunft ist eine Weiterentwicklung dieses Trends aufgrund von Lerneffekten bei den unterschiedlichen Technologievarianten zu erwarten.

Biomasseanlagen bestehen aus technologisch ausgereiften Komponenten, weshalb in Zukunft keine bedeutenden Kostenreduktionen für diesen Anlagentyp zu erwarten sind. Investitionskosten bewegen sich je nach Anlagentyp (gas, flüssig oder fest) zwischen 2.300 und 3.500 EUR<sub>2011</sub>/kW.

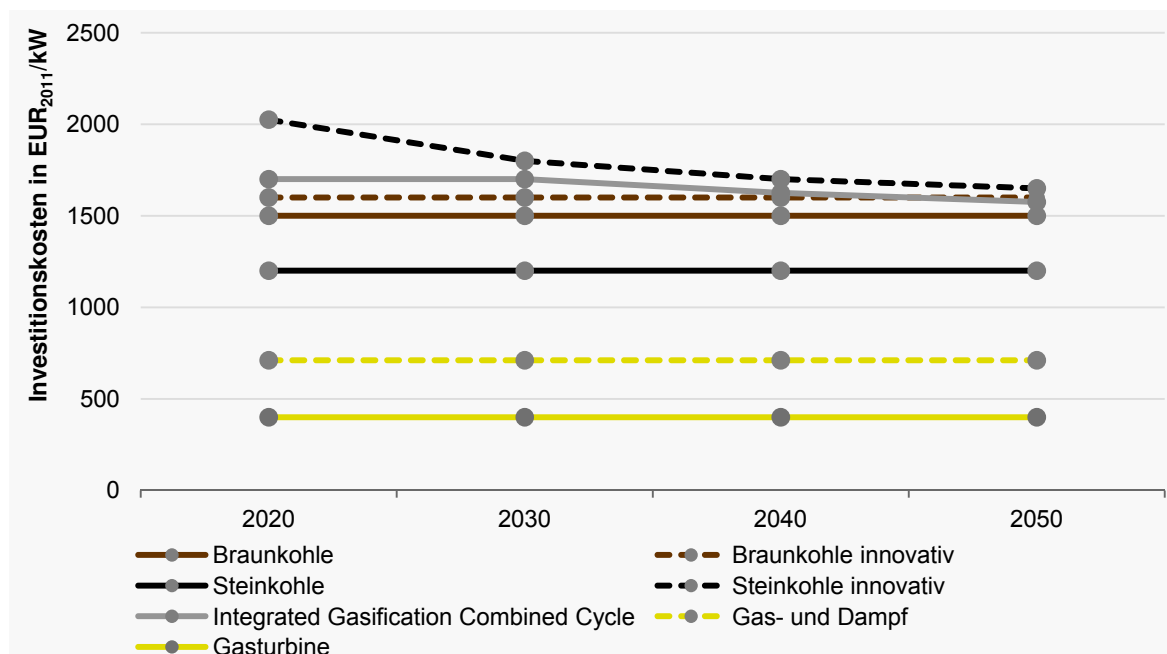
In Projekten zur Tiefengeothermie wird in Zukunft mit merklichen Lerneffekten und entsprechenden Kostenreduktionen im Bereich der Exploration, Bohrung und im Betrieb gerechnet. Die Technologie ist zum heutigen Stand mit Investitionskosten bis zu 15.000 EUR<sub>2011</sub>/kW noch sehr teuer. Allerdings ist zu erwarten, dass sich die Kosten bis 2050 um 40% reduzieren.

## Techno-ökonomischer Fortschritt bei konventionellen Kraftwerkstechnologien

(Abschnitt 8.2.4.1.1 des Berichts)

**Die Investitionskosten konventioneller Kraftwerkstechnologien werden in den nächsten Jahren stabil bleiben. Der Fokus zukünftiger Entwicklungen liegt auf der Optimierung des Teillastverhaltens.**

*Investitionskosten für konventionelle Kraftwerkstypen 2020-2050, in EUR<sub>2011</sub>/kW*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Der Fokus in der technologischen Entwicklung liegt in Zukunft weniger auf einer Steigerung des maximalen Wirkungsgrades unter Vollast als vielmehr auf der Optimierung des Teillastverhaltens. Diese Weiterentwicklungen kommen sowohl bei existierenden Kraftwerken durch Retrofit-Maßnahmen als auch beim Bau von Neuanlagen zum Tragen.

Steinkohlekraftwerke stellen eine ausgereifte und etablierte Erzeugungstechnologie dar. Elektrizität kann bei einem maximalen Wirkungsgrad von bis zu 50 % erzeugt werden. In Braunkohlekraftwerken ist eine Wirkungsgradsteigerung durch innovative Braunkohlevortrocknungsverfahren möglich. Der Wirkungsgrad lässt sich so auf bis zu 47 % steigern.

Während Gasturbinen aufgrund ihrer Flexibilität und niedrigen Investitionskosten zukünftig vor allem zur Bereitstellung von gesicherter Leistung an Bedeutung gewinnen werden, zeichnet Gas- und Dampfkraftwerke ein hoher Wirkungsgrad (bis leicht über 60%) bei ebenfalls vergleichsweise niedrigen Investitionskosten aus.

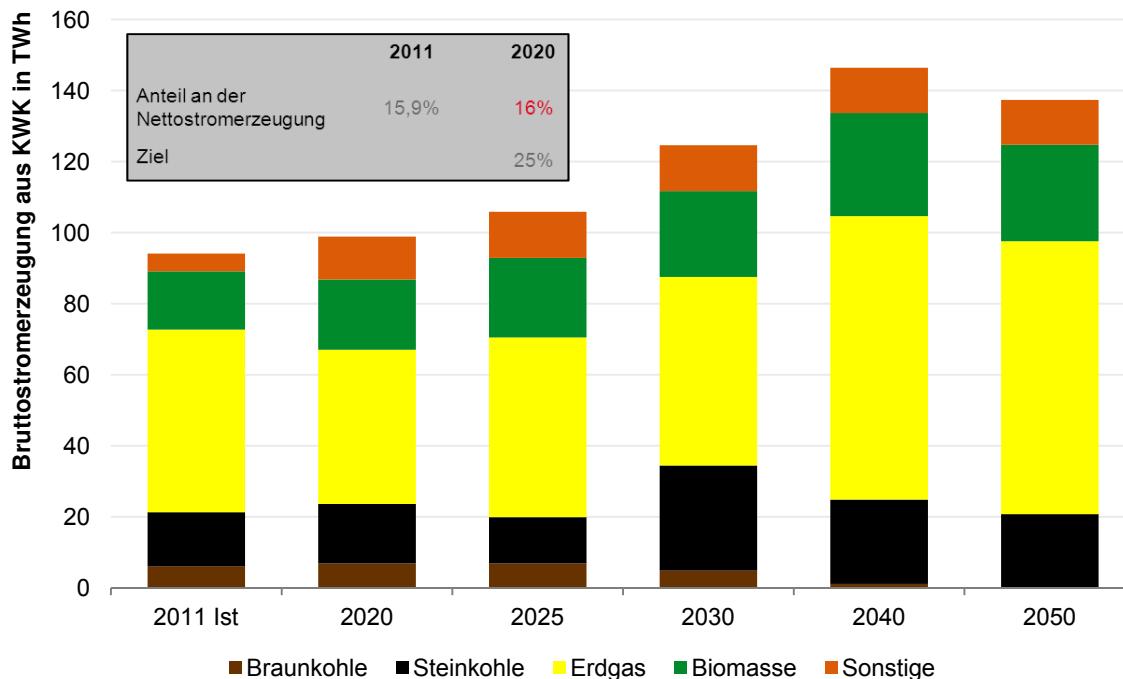
Kombi-Prozesse mit integrierter Vergasung (Integrated Gasification Combined Cycle) sind technisch komplex und damit verfahrenstechnisch aufwändig und weisen vergleichsweise hohe Investitionskosten auf. Wenn die Kosten nicht weiter reduziert werden, ist nicht davon auszugehen, dass diese Technologie im Wettbewerb mit etablierten Technologien bestehen kann.

## Kraft-Wärme-Kopplung und Fernwärme

(Abschnitt 3.2.4.2 des Berichts)

**Die Bruttostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nimmt bis 2040 zu. Aufgrund unterschiedlicher Zielkonflikte bleibt der Ausbau allerdings deutlich hinter den energiepolitischen Erwartungen zurück.**

*Bruttostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in Referenzprognose und Trendszenario nach Energieträgern 2011-2050, in TWh*



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

In der Referenzprognose steigt der Anteil des in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugten Stroms gegenüber 2011 minimal an und erreicht bis 2020 einen Anteil von 16,1 % an der Nettostromerzeugung.

Die Verfehlung des KWK-Ziels von 25% in 2020 resultiert unter anderem aus abnehmenden Residualnachfragen im Elektrizitätsmarkt (durch das Wachstum der erneuerbaren Energien) und im Wärmemarkt (durch Effizienzmaßnahmen). Vor allem Verbesserungen der Energieeffizienz reduzieren das Potenzial für Kraft-Wärme-Kopplung und wirken somit der Erreichung des KWK-Ziels entgegen.

Die Effizienzverbesserungen durch gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme steht darüber hinaus auf der Angebotsseite im Wettbewerb mit hocheffizienten Wärmetechnologien, wie beispielsweise Brennwertkesseln, sowie mit erneuerbaren Energien, die ohne Brennstoffeinsatz Energie bereitstellen.

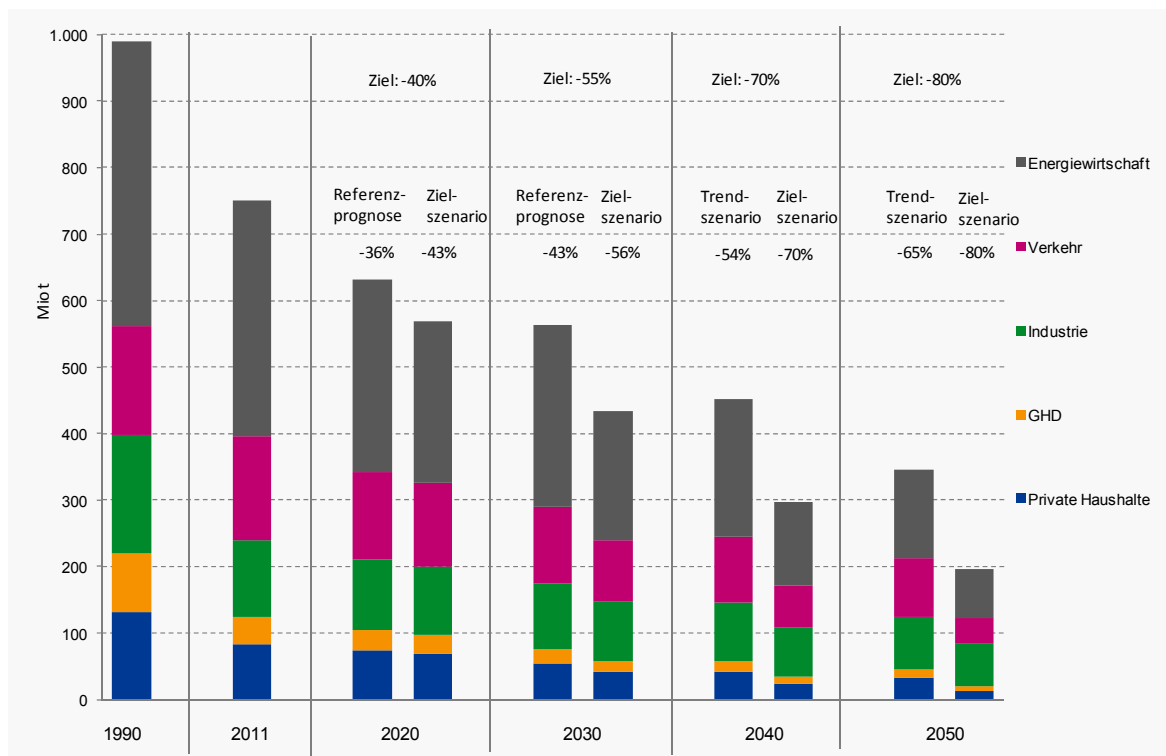
Gegenüber der großtechnischen Erzeugung von Strom und Wärme könnten Anlagen in der dezentralen Objektversorgung einen Beitrag zu Erreichung der Ziele leisten. Allerdings ist auch hier die Rentabilität stark von den jeweiligen (Opportunitäts-) Kosten für den Bezug des elektrischen Stroms aus dem Netz der öffentlichen Versorgung abhängig. Anpassungen in den Regelungen zur Eigenerzeugung und Selbstverbrauch führen dazu, dass dezentrale KWK-Technologien weiterhin eine vergleichsweise geringe Rolle spielen.

## Zielszenario

(Abschnitt 4.1 bis 4.4 des Berichts)

**In Referenzprognose und Trendszenario werden die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung überwiegend nicht erreicht. Das Zielszenario zeigt, was erforderlich wäre, um die im Energiekonzept definierten energie- und Klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen.**

*Energiebedingte Treibhausgasemissionen in Referenzprognose / Trendszenario und Zielszenario 1990 – 2050, in Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Die Zielerreichung erfordert gegenüber dem bereits ambitionierten Referenzszenario und Trendszenario weitere zusätzliche Maßnahmen zur Reduktion von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen, die sich nicht in allen Fällen rechnen. Im Bereich des Endenergieverbrauchs müssen beispielsweise mehr Gebäude besser energetisch saniert, die Effizienzpotenziale in Unternehmen weiter ausgeschöpft und die Elektromobilität verstärkt voran getrieben werden.

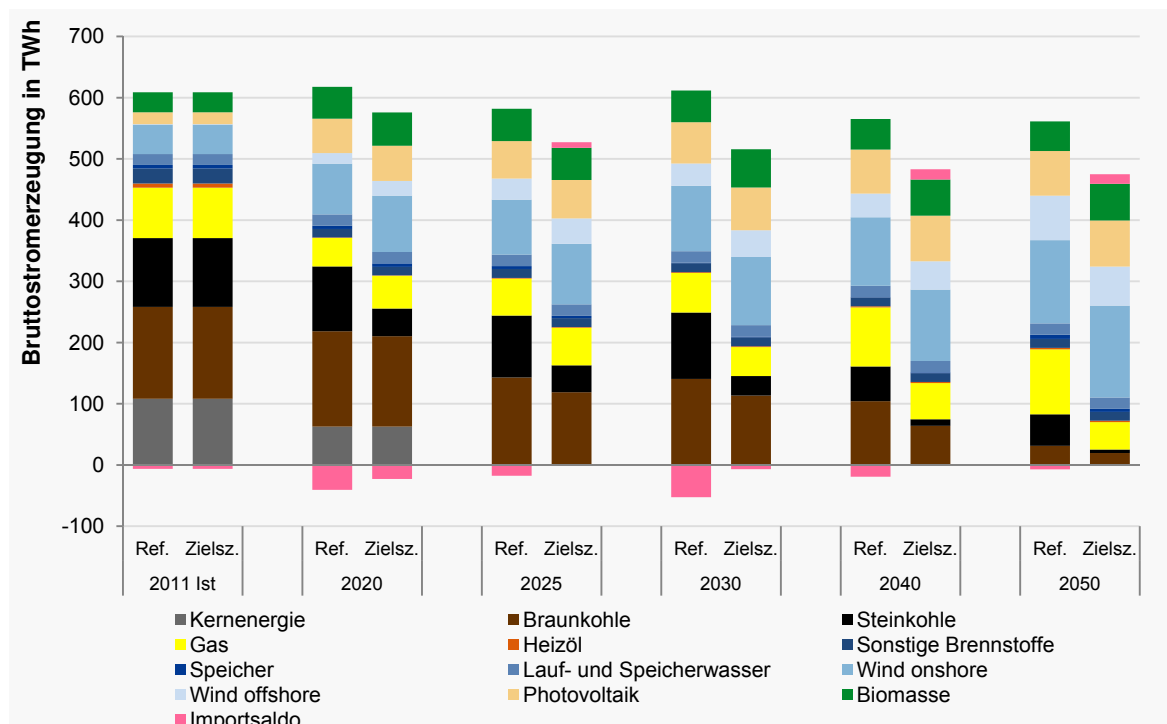
Das Zielszenario geht von anderen Grundvoraussetzungen aus als Referenzprognose und Trendszenario. Es unterstellt, dass die energie- und klimapolitischen Ziele vorrangig verfolgt werden und es der Politik gelingt, in vielen Bereichen bestehende Hemmnisse zu überwinden. Aus Sicht der Autoren ist das nicht wahrscheinlich.

## Zusätzliche Maßnahmen und Ergebnisse im Zielszenario: Strom- und Fernwärmeerzeugung

(Abschnitt 4.5 des Berichts)

Um die energiepolitischen Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen, muss vor allem die Erzeugung aus CO<sub>2</sub>-intensiven Kraftwerken weiter reduziert werden.

Bruttostromerzeugung in Referenzprognose/Trendszenario und Zielszenario nach Energieträgern 2011-2050, in TWh



Quelle Prognos/EWI/GWS 2014

Um die mittel- bis langfristigen nationalen Treibhausgasemissionen auf die Zielwerte des Energiekonzepts (gegenüber 1990 minus 55 % bis 2030 und minus 80 % bis 2050) zu reduzieren, müsste die Erzeugung in CO<sub>2</sub>-intensiven Kraftwerken gegenüber Referenzprognose und Trendszenario stärker gesenkt werden, als dies bei den erwarteten CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreisen im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems (ETS) absehbar ist.

Dazu wären zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass nationale Maßnahmen innerhalb des Energiesektors im EU-ETS den CO<sub>2</sub>-Preis dämpfen und die Emissionen im europäischen Ausland entsprechend erhöhen würden.

Bis 2020 wären zur Erreichung der Ausbauziele der Offshore Windenergie neben einer Sicherung der Finanzierung des Netzausbaus auch die benötigten Planungszeiträume zu reduzieren und bei der Anpassung der Fördersysteme stärker zu berücksichtigen.

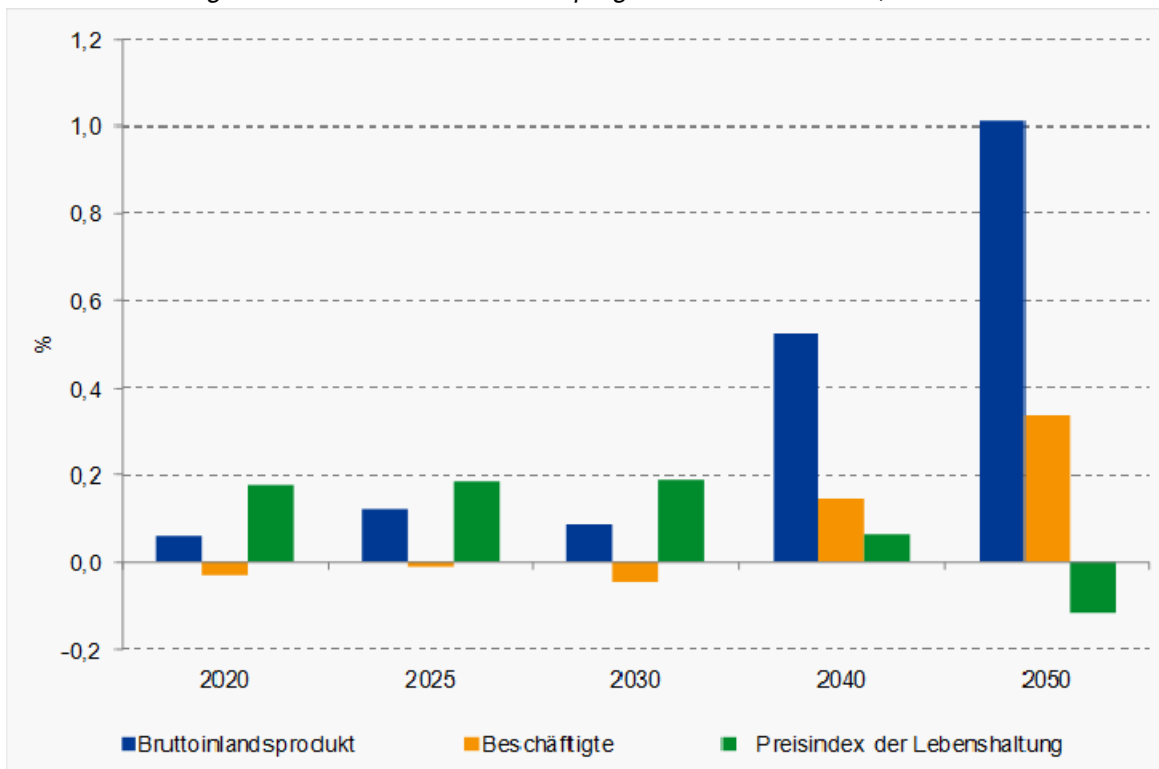
Trotz einer stärkeren Förderung von Klein- und Mikro-KWK-Anlagen wird das KWK-Ziel für 2020 auch im Zielszenario nicht erreicht. Die Ursachen hierfür sind rückläufige residuale Elektrizitäts- sowie Wärmenachfragen und damit Zielkonflikte zwischen Effizienzverbesserungen und Ausbau erneuerbarer Energien einerseits sowie Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung andererseits.

## Gesamtwirtschaftliche Effekte

(Abschnitt 5 des Berichts)

**Die Umsetzung des Zielszenarios anstelle von Referenzprognose / Trendszenario ist mit gesamtwirtschaftlichen Effekten verbunden. Mittelfristig wäre die Umsetzung des Zielszenarios ökonomisch zu verkraften, langfristig hätte sie eher positive Auswirkungen.**

*Abweichungen des Bruttoinlandsprodukts (preisbereinigt), der Beschäftigung und des Preisindex der Lebenshaltung im Zielszenario von Referenzprognose / Trendszenario, 2020 – 2050 in %*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Gesamtwirtschaftliche Effekte des Zielszenarios werden im Vergleich zu Referenzprognose / Trendszenario ausgewiesen. Dazu werden Differenzen zwischen beiden Szenarien u.a. bei Strompreisen und Investitionen in Energieeffizienz in ein gesamtwirtschaftliches Modell eingestellt. Die Effekte beschreiben nicht Wirkungen „der Energiewende“, sondern Differenzen, die sich ergeben, wenn über die Referenzprognose hinaus die Ziele des Energiekonzepts erreicht werden.

Die Erreichung der energie- und Klimaschutzpolitischen Ziele über Referenzprognose / Trendszenario hinaus ist mittelfristig ökonomisch verkraftbar. Bis zum Jahr 2030 bleiben die Wirkungen auf BIP, Beschäftigung und Preisniveau gering.

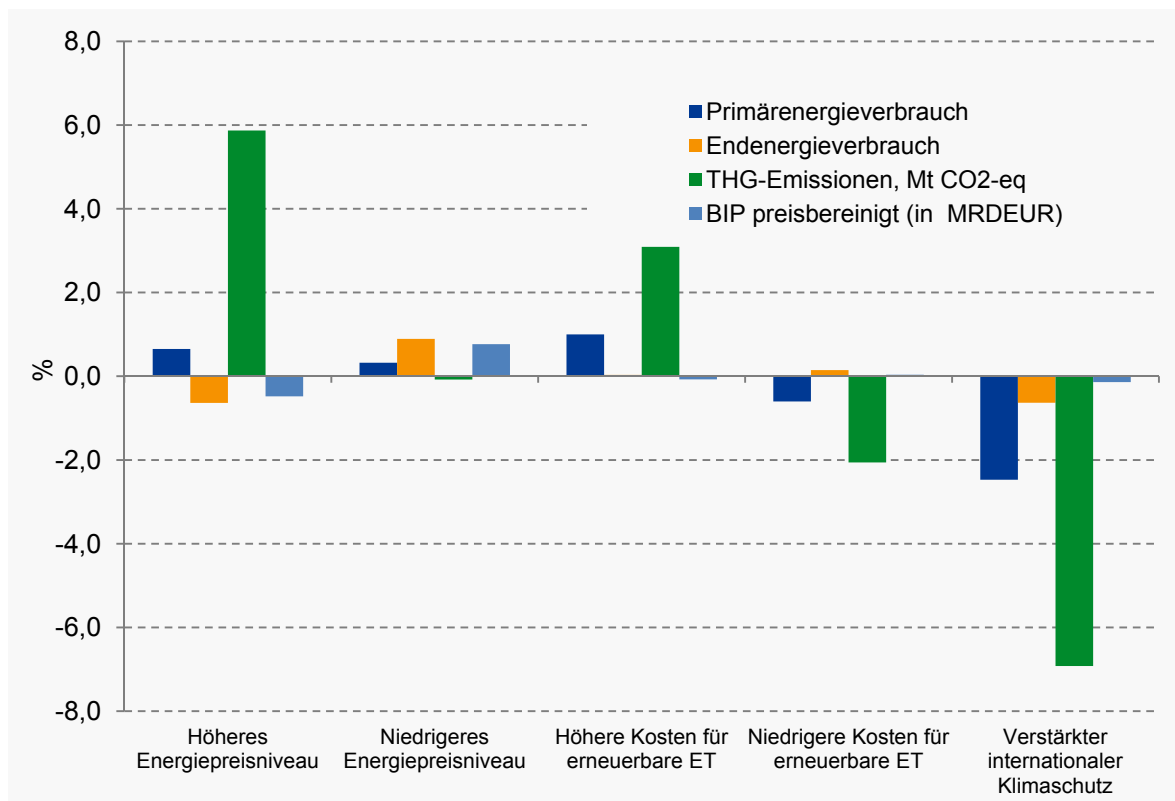
Langfristig zahlen sich die Energieeinsparungen und der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien auch gesamtwirtschaftlich aus. Energieeffizienz leistet dabei den größten Beitrag. Das BIP liegt im Zielszenario im Jahr 2050 um 1,0 % über dem Trendszenario. Die Zahl der Erwerbstätigen ist dann um 118 Tausend höher.

## Sensitivitäten

(Abschnitt 6 des Berichts)

In fünf Sensitivitätsrechnungen wurde geprüft, wie sich unterschiedliche Preise für fossile Energieträger, andere Annahmen für die Kostenentwicklung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie höhere CO<sub>2</sub>-Preise auf zentrale Ergebnisse auswirken. Mit Ausnahme der Sensitivität mit höheren CO<sub>2</sub>-Preisen, die nach 2030 zu einem deutlichen Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen, sind die Effekte gering. Die Grundaussagen der Referenzprognose und des Trendszenarios bleiben auch bei geänderten Annahmen wichtiger Parameter in den Sensitivitäten erhalten.

*Abweichungen des Energieverbrauchs, der THG-Emissionen und des Bruttoinlandsprodukts (preisbereinigt), in den 5 Sensitivitäten von Referenzprognose / Trendszenario, 2050 in %*



Prognos/EWI/GWS 2014

In der mittleren Frist im Jahr 2020 verändern sich zentrale Größen in den Sensitivitäten gegenüber der Referenzprognose nur wenig. Im Jahr 2050 weichen vor allem die THG-Emissionen in mehreren Sensitivitäten um mehrere Prozent von den Werten im Trendszenario ab. Dahinter stehen vor allem Verschiebungen im Brennstoffmix in der Stromerzeugung. Die Effekte auf Endenergieverbrauch und BIP bleiben in allen Sensitivitäten gering.

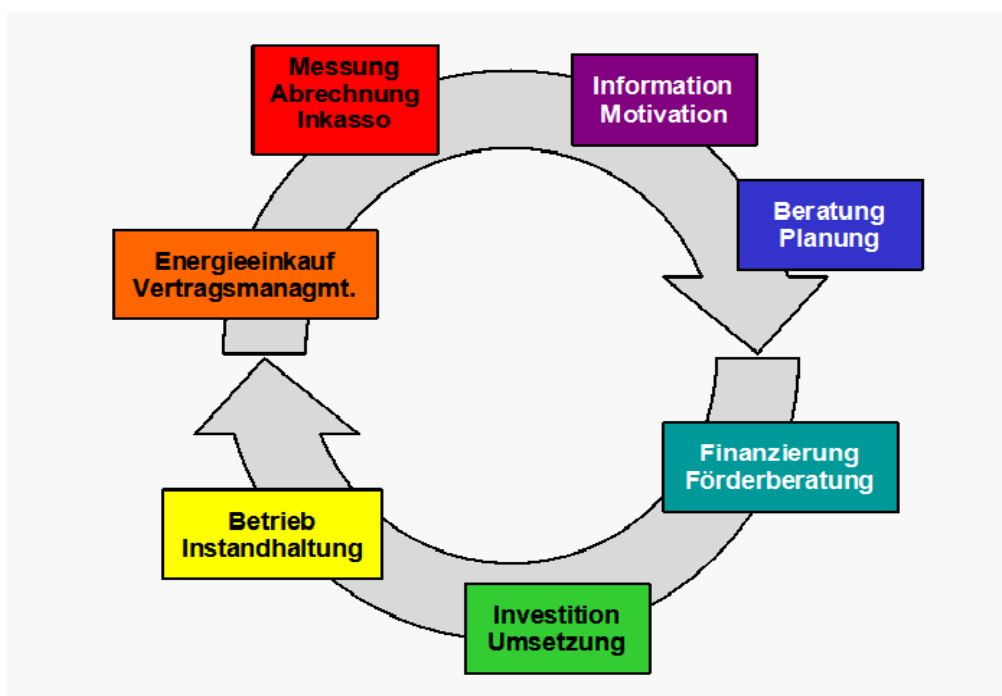
Damit zeigt sich, dass die Ergebnisse der Referenzprognose bzw. des Trendszenarios robust sind mit Blick auf die Annahmen zu internationalen Energiepreisen und Technologiekosten für erneuerbare Energien. Verstärkte internationale Klimaschutzbemühungen würden dagegen bis 2050 die ermittelten THG-Emissionen gegenüber dem Trendszenario deutlich reduzieren.

## Energieeffizienz

(Abschnitt 8.2.3 des Berichts)

Eine effiziente Energienutzung ist eine wesentlich Voraussetzung, um die energie- und Klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen. Die Steigerung der Energieeffizienz erfordert oft Investitionen in Einspartechnologien. In allen Verbrauchssektoren und Anwendungsbereichen bestehen bislang ungenutzte und teilweise wirtschaftliche Potenziale für Energieeinsparungen.

*Schritte zur Steigerung der Energieeffizienz*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Die effiziente Energienutzung ist eine wesentliche Voraussetzung, sollen die energie- und klimapolitischen Ziele erreicht werden. Je weniger Energie bei gegebener Wirtschaftsleistung verbraucht wird, umso leichter fällt es, eine sichere, wirtschaftliche umweltschonende Energieversorgung zu gewährleisten.

In vielen Fällen setzt eine höhere Energieeffizienz technische Maßnahmen und Investitionen in sparsame Technologien voraus. Verbesserte betriebliche Abläufe und aufmerksames Verhalten können ebenfalls dazu beitragen, Energie sparsamer zu nutzen. In der Regel bedarf es einer durchgängigen Wirkungskette angefangen von der Motivation und Information über die zielgerichtete Planung und Investition bis hin zur betrieblichen optimalen Umsetzung einer Maßnahmen, damit die Energieeinsparung tatsächlich realisiert werden kann.

Es bestehen ungenutzte und teilweise wirtschaftlich realisierbare Potenziale für Energieeffizienz und Energieeinsparung in allen Sektoren, in allen Anwendungssystemen und bei allen Verwendungszwecken. In vielen Bereichen bestehen die Potenziale allein aufgrund der Tatsache, dass die technologischen Systeme nicht ausreichend auf den Bedarf hin dimensioniert und betrieben werden.

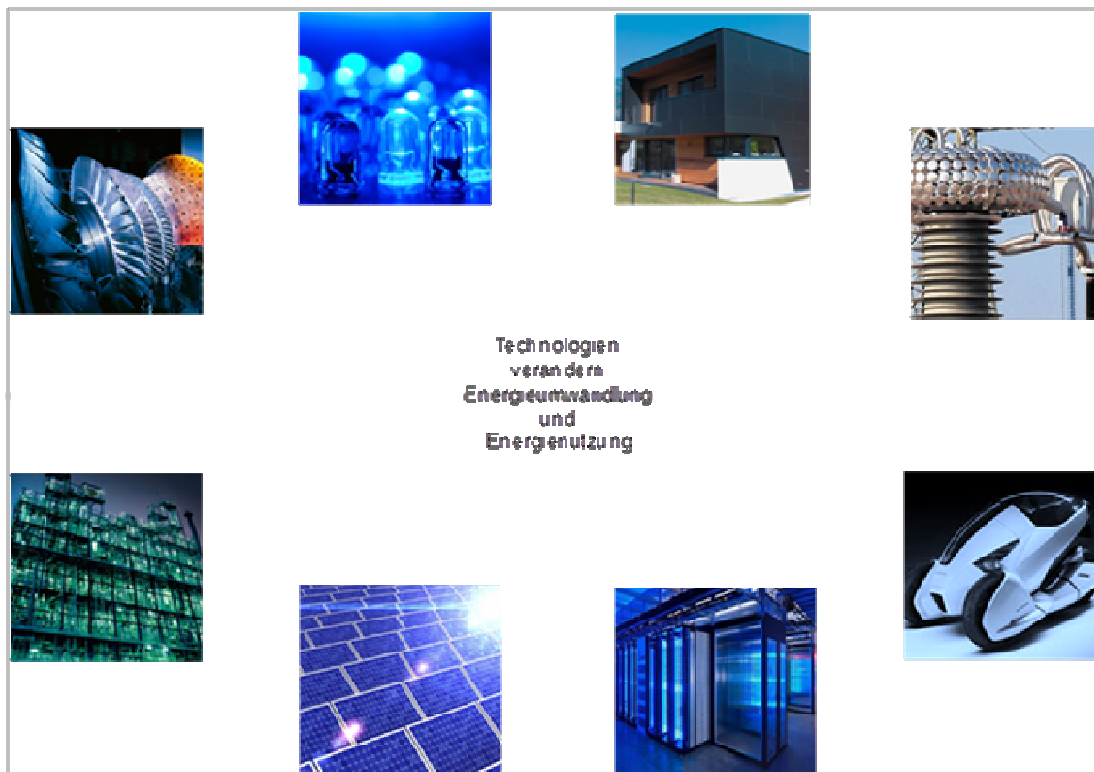


## Langfristige technologische Entwicklung

(Abschnitt 8.2.4 des Berichts)

**Neue und weiterentwickelte Technologien in der Nutzung und Umwandlung von Energie sind die Schlüssel zur Steigerung der Energieeffizienz und zum kostengünstigen Ausbau erneuerbarer Energien. Der Markterfolg neuer Technologien hängt entscheidend vom wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Umfeld ab.**

*Anwendungsbereiche neuer Technologien*



Quelle: Prognos/EWI/GWS 2014

Technologien und Technikentwicklungen spielen in allen Feldern der Energienutzung, der Energiebereitstellung und der Energieversorgung eine wesentliche Rolle. Neue Technologien und technische Weiterentwicklungen führen sowohl zu mehr Energieeffizienz als auch zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien. Darüber hinaus verändern sie Organisation und Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft.

Auf der Nachfrageseite wird der technische Fortschritt auch in Zukunft vor allem im Rhythmus der normalen Investitionszyklen implementiert. Neben anwendungs- und branchenspezifischen Technologien spielen dabei Querschnittstechnologien eine bedeutende Rolle, die in vielen Bereichen eingesetzt werden können. Kurzfristig wirken sich vor allem die Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnik, Vernetzung, Regel- und Steuerungstechnik sowie Miniaturisierungen aus. Mittel- und langfristig werden u.a. neue Werkstoffe, maßgeschneiderte Oberflächen, Bionik und Robotik großen Einfluss haben.

Außer technischen Aspekten sind für die Einführung neuer Technologien wirtschaftliche, ökologische und gesellschaftliche Umfeldbedingungen von zentraler Bedeutung.

## Prognosen und Szenarien Dritter

(Abschnitt 8.4 des Berichts)

**Zur Einordnung der Ergebnisse wurden die im Rahmen des Projekts erstellte Referenzprognose und das Trendszenario sowie das Zielszenario mit ähnlichen Arbeiten Dritter verglichen. Dabei zeigte sich, dass ein Vergleich wegen zum Teil sehr unterschiedlicher Charakteristika und Annahmen nur bedingt aussagekräftig ist.**

Um Referenzprognose und Trendszenario einerseits sowie Zielszenario andererseits in einen größeren Rahmen einzuordnen, wurde deren Ergebnisse mit aktuellen Prognosen und Szenarien Dritter verglichen. Dabei handelt es sich um folgende Arbeiten:

- EU Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, Reference Scenario 2013 (European Commission 2013)
- Energieprognose 2012-2040 (ExxonMobil 2012)
- Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global (BMU 2012)
- Politiksznarien für den Klimaschutz VI (UBA 2012)
- Energieszenarien 2011 (Prognos/EWI/GWS 2011)
- 100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar (SRU 2010)

Wegen zum Teil unterschiedlicher Charakteristika (Prognosen, Politiksznarien, Zielszenarien, BAU-Szenario) sowie zum Teil unterschiedlicher sozioökonomischer Rahmendaten lassen sich die betrachteten Arbeiten nur bedingt vergleichen.

- Der Vergleich der beiden betrachteten Prognosen – der hier erarbeiteten Energierferenzprognose und der Prognose 2012-2040 von ExxonMobil – zeigt ähnliche Entwicklungen der Primärenergieproduktivität. Der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch und in der Stromerzeugung ist in der Energierferenzprognose höher als in der Energieprognose von ExxonMobile. Der Vergleich absoluter Größen wäre wegen deutlich unterschiedlicher sozioökonomischer Rahmendaten nicht aussagekräftig.
- Das im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit erstellte Zielszenario und die vergleichbaren Zielszenarien des BMU 2012 zeigen eine ähnliche Absenkung des Primärenergieverbrauchs. Um diese zu erreichen, ist in unserem Zielszenario wegen der optimistischeren Wachstumsannahmen eine stärkere Steigerung der Primärenergieproduktivität erforderlich als in den BMU-Szenarien. Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern sich wegen des in den BMU-Zielszenarien schnelleren Ausbaus der erneuerbaren Energien weiter als im aktuellen Szenario.