



Gesamtwirtschaftliche Einordnung der ESG

Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWi

BMWi-Projekt-Nr.: 102/16-01-1

Berlin, Basel, Freiburg, Düsseldorf, 2017

Impressum.

Autoren.

Hauptbearbeiter:

Nils Thamling, Prognos AG
Goethestraße 85, 10623 Berlin
Tel.: +49 30 520059 - 271
Mail: nils.thamling@prognos.com

Bearbeiter:

Dr. Andreas Kemmler, Prognos AG
Marco Wunsch, Prognos AG
Dominik Rau, Prognos AG
Hanno Falkenberg, Prognos AG
Anissa Schlichting, Prognos AG

Dr. Andreas H. Hermelink, Ecofys
Albrechtstraße 10c, 10117 Berlin
Tel: +49 (0)30 29773579-50
Mail: a.hermelink@ecofys.com

Uwe Bigalke, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Michael Müller, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Reviewer:

André Schnelte, PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Dr. Borge Hess, PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Janina Karthaus, PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

Inhalt

1	Ergebniszusammenfassung	5
2	Hintergrund	10
3	Zielsetzung	12
4	Methodisches Vorgehen	13
4.1	Energiewirtschaftlicher Rahmen.....	13
4.2	Gesamtwirtschaftliche Berechnungen / Prognos VIEW	14
5	Eingangsdaten für die makroökonomischen Berechnungen	16
5.1	Investitionen in Wohngebäude	16
5.2	Investitionen in Nichtwohngebäuden	17
5.3	Investitionen im Bereich Strom-Erzeugung und -Verteilung.....	18
5.4	Investitionen im Bereich Fernwärme-Erzeugung und -Verteilung	19
5.5	Investitionen Erdgasverteilung	20
5.6	Importe von Brennstoffen	20
5.7	Zusammenfassung.....	23
6	Makroökonomische Effekte	24
6.1	Effekte auf die Gesamtwirtschaft.....	24
6.2	Verteilung der Effekte auf die Branchen	26
6.3	Sensitivität der Effekte auf Energiepreisschwankungen	27
7	Qualitative Einordnungen zum Gesamtenergiesystem	28
7.1	Einsatz von Biomasse in Gebäuden, Industrie und Verkehr	28
7.2	Elektromobilität und Wärmepumpen.....	31
7.3	Robustheit der Szenarien.....	33

8	Weitere Verteilungsaspekte	35
8.1	Effekte auf Wohnkosten für Mieter und selbst genutztes Wohneigentum	35
8.2	Verteilung der Investitionen auf die Akteure des Wohnungsmarktes	36
9	Tabellenverzeichnis.	38
10	Abbildungsverzeichnis.	39
11	Literaturverzeichnis	40
12	Abkürzungen	42
13	Makroökonomische Berechnungen - Tabellen	43

1 Ergebniszusammenfassung

Ziel dieser Studie ist eine gesamtwirtschaftliche Einordnung der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) durch die Analyse der beiden Zielszenarien, die im Rahmen der Begleitforschung zur ESG erstellt wurden (Prognos/IWU/ifeu 2016). Mit dem hier vorliegenden Bericht werden die Wirkungen der Umsetzung der Zielszenarien auf andere Bereiche des Energiesystems sowie auf die Gesamtwirtschaft analysiert und mit einer Referenzentwicklung abgeglichen. Im Fokus stehen dabei makroökonomische Effekte, Rückwirkungen auf das Energiesystem sowie Verteilungsfragen.

Beide Zielszenarien kombinieren die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen und den Einsatz erneuerbarer Energien. Das Zielszenario EnEff setzt dabei verstärkt auf Energieeffizienz (insbesondere die energetische Sanierung der Gebäudehülle) während das EE-Wärme-Szenario auf den Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung (Dekarbonisierung) setzt. Auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche und der energietechnischen Auswertung der Szenarien wurde der aus der Umsetzung der Szenarien resultierende Handlungsbedarf im Bereich der Erzeugungs- und Verteilungsinfrastrukturen für Strom, Erdgas und Fernwärme bewertet und die Differenzinvestitionen abgeschätzt. Der Investitionsbedarf für Wohngebäude wurde dem Hintergrundpapier ESG entnommen (Prognos/IWU/ifeu 2016). Für die Nichtwohngebäude wurden die Investitionen anhand der Methode der anlegbaren Kosten aus den Energiekosteneinsparungen geschätzt.

Analyse des Handlungsbedarfs in den Bereichen der Erzeugungs- und Verteilungsinfrastrukturen für Strom, Erdgas und Fernwärme sowie Wohn- und Nichtwohngebäude

Die Zusammenstellung in Tabelle 1 verdeutlicht die Verteilung der Investitionen in den Sektoren Immobilienwirtschaft und Energiewirtschaft.

Die Investitionen in die Wohngebäude und die Nichtwohngebäude werden von den Eigentümern der Gebäude getragen. Für die Analysen wurden keine eigenständigen Szenarien für das gesamte Energiesystem berechnet, sondern die Auswirkungen in Einzelbetrachtungen abgeschätzt. Diese Vereinfachung erscheint zulässig, da der Effekt der Szenarien auf das Gesamtsystem vergleichsweise gering ist und kein grundlegend anders strukturiertes Energiesystem erfordert. Im Bereich der Energienetzinfrastruktur fallen Mehrinvestitionen lediglich im Bereich der Fernwärme an. Im Bereich Kraftwerkspark sind überwiegend weniger Investitionen erforderlich als im Referenzszenario.

	Investitions- onsgut	EnEff				EE-Wärme			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Wohngebäude	Anlagen	177	601	1.076	1.352	343	2.048	2.713	3.281
Wohngebäude	Bauten	2.227	5.986	6.887	6.687	114	734	898	954
Nichtwohn- gebäude	Bauten und Anlagen	5.645	4.483	3.781	2.951	5.256	2.522	1.737	1.511
Gasnetz	Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0
Stromnetz	Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärmenetz	Anlagen	79	95	170	193	63	61	162	191
Kraftwerkspark	Anlagen	-419	-511	-614	-815	47	72	-251	-320
Summe	-	7.709	10.653	11.299	10.369	5.823	5.438	5.259	5.616

Tabelle 1: Zusammenfassung der Investitionsimpulse im Szenario EnEff und EE-Wärme im Vergleich zum Referenzszenario. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

Makroökonomische Effekte

Die mit der Umsetzung der Szenarien verbundenen Mehrinvestitionen haben einen unmittelbaren Nachfrageeffekt und erhöhen mittelbar das Produktionspotenzial. Die privaten Haushalte können ihre Ausgaben für Energie reduzieren und haben trotz der auf sie umgelegten Investitionskosten zusätzliches Budget für den Konsum übrig.

Im Szenario EnEff steigt das BIP sichtbar stärker als im Szenario EE-Wärme und liegt im Jahr 2050 2,2 % (EnEff) bzw. 1,4 % (EE-Wärme) über dem Referenzszenario. Weiterhin werden gegenüber der Referenz mit 400 Tsd. deutlich mehr Beschäftigte im Szenario EnEff geschaffen als im Szenario EE-Wärme (250 Tsd.). Das Preisniveau ist in beiden Fällen nur wenig verändert. Der Konsum der privaten Haushalte steigt bis zum Jahr 2050 aufgrund der zusätzlichen Beschäftigung gegenüber dem Referenzszenario um 64 Mrd. Euro im Szenario EnEff bzw. 42 Mrd. Euro im Szenario EE-Wärme. Die Einnahmen des Staates steigen in beiden Szenarien an. Sie wachsen real bis zum Jahr 2050 auf 40 Mrd. Euro /a im Szenario EnEff und 26 Mrd. Euro/a im Szenario EE-Wärme auf.

Die Umsetzung der in den Szenarien beschriebenen Maßnahmen weisen vergleichsweise große Multiplikatorwirkungen für die Gesamtwirtschaft auf, da sie auf verschiedene Weise positiv auf diese einwirken. Je investierten Euro erhöht sich damit das Bruttoinlandsprodukt um 3,5 (Szenario EnEff) bzw. 3,7 Euro (Szenario EE-Wärme).

Die Durchführung einer Sensitivitätsrechnung mit einem niedrigen Energiepreisfad (in Anlehnung an das 450 ppm Szenario des World Energy Outlooks der IEA) zeigt, dass die Ergebnisse auch bei niedrigen Preisen fossiler Energieträger stabil bleiben. Das 450 ppm Szenario geht im Vergleich zum New-Policy Szenario von weltweit deutlich gesteigerten Klimaschutzanstrengungen und hieraus resultierend einer niedrigen Nachfrage nach fossilen Brennstoffen aus.

Energetische Nutzung von Biomasse im Gebäudebereich

Der Umfang des zur energetischen Nutzung verfügbaren Biomassepotenzials ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Mit Blick auf das Gesamtsystem muss Biomasse daher mit Bedacht eingeplant werden, da es einige Anwendungsbereiche gibt, in denen Brennstoffe schwer oder gar nicht ersetzt werden können. Dies betrifft den Sektor Industrie, den Flugverkehr, die Schifffahrt, ggf. weitere Teilbereiche des Schwerlastverkehrs sowie des Umwandlungssektors.

Aus diesem Grunde sollte in Anwendungen, bei denen Brennstoffe durch andere Optionen substituiert werden können (z.B. durch Wärmepumpen, Solarthermie, EE-Wärmenetze, Abwärme), auf den Einsatz von Biomasse verzichtet werden. Anderenfalls führt dies zu erhöhten Risiken für die Erreichung der Klimaschutzziele und aufgrund von potenziellen Knappheiten zu hohen Preisrisiken sowohl für Nutzer/-innen von Gebäuden als auch für die Bereiche Mobilität, Industrie und Stromerzeugung.

Elektromobilität und Wärmepumpen

Die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele ist überall dort, wo Brennstoffe substituiert werden können, durch den Wechsel von fossilen Brennstoffen hin zu strombasierten Technologien geprägt. Auf der Ebene der Haushalte betrifft dieses zum einen die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser mittels Wärmepumpen sowie den Umstieg auf Elektromobilität. Beides wird den Strom- und den Leistungsbedarf der privaten Haushalte signifikant steigern. Dem stehen Stromeinsparungen durch zunehmend energieeffizientere Haushaltsgeräte gegenüber. Im Zielszenario der Energie-referenzprognose des BMWi sinkt der EEV Strom (ohne Raumwärme und Warmwasserbereitung) in Haushalten um etwa 40 % ggü. dem Jahr 2011 (Prognos et. al. 2014).

Für den Stromverbrauch zeigt sich, dass Wärmepumpen und Elektromobilität jeweils etwa auf dem Niveau des heute üblichen Haushaltsstromverbrauchs liegen. Für einen Haushalt, der bereits heute komplett auf Wärmepumpe und Elektromobilität umsteigt, verdreifacht sich der Strombedarf damit etwa – gleichzeitig werden entsprechende Mengen fossiler Brennstoffe eingespart.

Weiterhin ist mit leicht höheren vorzuhaltenden Anschlussleistungen „vollelektrischer“ Haushalte zu rechnen. Durch Lastmanagement (Koordination des Betriebs von Wärmepumpen, Ladestationen und Haushaltsstrom) auf Haushaltsebene dürften aber Häufigkeit und Stärke von Lastspitzen gering bleiben. Ein Pluspunkt der Elektromobilität im Vergleich zur Wärmepumpe ist die Flexibilität der Stromnachfrage. Durch die hohen Leistungen der Ladestationen reichen zwei Ladestunden aus, um den Tagesbedarf eines E-PKW vollständig zu decken.

Robustheit der Szenarien

Bereits im Hintergrundpapier zur ESG wurde eine erste Einordnung der Zielszenarien vorgenommen. Das Konsortium kam seinerzeit zu der Schlussfolgerung, dass sich die beiden Zielszenarien deutlich im Charakter unterscheiden. Zur Umsetzung des Energieeffizienz-Szenarios (mit den besonders gut gedämmten Gebäuden) sind zwar höhere Investitionen notwendig, die Robustheit dieses Szenarios ist jedoch aus folgenden Gründen dem EE-Wärme-Szenario gegenüber deutlich überlegen:

- Werden die im EE-Wärme-Szenario anzustrebenden Mindest-Effizienzziele verfehlt, ist eine Zielerreichung nicht mehr, bzw. nur mit hohem finanziellen Aufwand und mit Belastungen anderer Sektoren möglich, da die nachhaltig und realistisch verfügbaren EE-Wärme-Potenziale bereits ausgeschöpft sind. Dies führt zu hohen Preisrisiken auf den Märkten insbesondere für Bioenergieträger.
- Weiterhin besteht für das EE-Wärme-Szenario das Risiko, dass Wärmepumpen bei geringer Wärmedämmung nicht mehr effizient eingesetzt werden können, mit geringen Jahresarbeitszahlen operieren und dadurch Stromverbrauch sowie winterliche Lastspitzen und damit die Anforderungen an den Umwandlungssektor spürbar erhöhen.
- Die ambitionierten Effizienzmaßnahmen im EnEff-Szenario verringern den Energieverbrauch erheblich und entlasten dadurch das Gesamtenergiesystem. Eine hohe Energieeffizienz reduziert darüber hinaus die Pfadabhängigkeit von anderen Entwicklungen und erhöht die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung. Die effizienteren Gebäude sind eher „immun“ gegen ein Scheitern der Dekarbonisierungs-Strategie bei Strom und Fernwärme. Selbst bei moderatem Verfehlen der Effizienzziele, kann im EnEff-Szenario mit zusätzlichen Maßnahmen im Umwandlungssektor gegengesteuert werden.
- Werden hohe THG-Minderungen von bis zu minus 95 % angestrebt, so hat das Szenario EnEff deutliche Vorteile gegenüber dem Szenario EE-Wärme, da zusätzliche THG-Minderungen durch eine stärkere Ausschöpfung der EE-Wärmepotenziale vergleichsweise leicht realisierbar sind. Das Szenario EE-Wärme hingegen schöpft schon bei einer 80%igen THG-Reduktion die als verfügbaren geltenden EE-Wärme-Potenziale komplett aus. Eine nachträgliche Erhöhung der Energieeffizienz durch eine zweite energetische Sanierung vor 2050 scheidet aufgrund der üblichen Sanierungszyklen im Gebäudebestand (30 bis 50 Jahre) als Option aus. Insofern bliebe nur der – mutmaßlich ebenfalls sehr kostenintensive Weg – die THG-Emissionen durch zusätzliche erneuerbare Energien zu senken. Hierfür müssten Optionen für den Wärmemarkt gezogen werden, die in allen gängigen Gutachten aus Kostengründen nicht zum Zuge kommen.

Verteilungsfragen

Die Berechnungen der Begleitforschung (Prognos/IWU/ifeu 2016) haben gezeigt, dass sowohl in den Zielszenarien als auch im Referenzszenario mit leicht steigenden Kosten des Wohnens zu rechnen ist. Dabei fällt der Anstieg im Szenario EE-Wärme, trotz nachfragebedingt höherer Biomassepreise, am geringsten aus. Im Szenario EE-Wärme liegen die Kosten des Wohnens 1,2 % unter dem Referenzszenario, während sie im Szenario EnEff 5,9 % darüberliegen. Die Effekte sind im selbstgenutzten Wohneigentum etwas stärker ausgeprägt als bei den Mieterhaushalten. Die Berechnungen zeigten weiterhin, dass die Unterschiede zwischen Haushalten im Niedrigeinkommens- und Transferbereich und allen anderen Haushalten kaum spürbar sind.

Der Konsum der privaten Haushalte, aus dem auch die Kosten des Wohnens gedeckt werden, steigt nach den makroökonomischen Berechnungen deutlich stärker als die Kosten des Wohnens (s.o.).

Die Umsetzung der Szenarien führt im Vergleich zur Referenzentwicklung zu höheren Investitionen. Diese sind zu etwa 90 % von den privaten Haushalten (Selbstnutzer und private Vermieter) zu erbringen. Ihre Aktivierung ist der zentrale Schlüssel zur Umsetzung der Zielszenarien. Von den Investitionen profitieren insbesondere das Baugewerbe sowie die konsumnahen Dienstleistungen.

Zusammenfassende Bewertung

Tabelle 2 zeigt eine zusammenfassende, qualitative Bewertung der beiden Zielszenarien der ESG im Vergleich zum Referenzszenario. Aus der Gesamtwirtschaftlichen Perspektive weist das Szenario EnEff Vorteile gegenüber dem Szenario EE-Wärme hinsichtlich BIP und Beschäftigung auf. Hinsichtlich Multiplikatorwirkungen sowie Wirkungen auf die Außenhandelsbilanz liegen beide etwa gleich auf.

Aus der Perspektive der privaten Haushalte und der Eigentümer von Wohnraum ergibt sich kein eindeutiger Trend. Das Szenario EE-Wärme hat Vorteile gegenüber dem Szenario EnEff, da die von den privaten Haushalten zu leistenden Investitionen sowie die Kosten der Unterkunft niedriger sind als im Szenario EnEff. Andererseits steigt der Konsum der privaten Haushalte, aus dem auch die Kosten des Wohnens gedeckt werden, im Szenario EnEff stärker.

Mit Blick auf das Energiesystem hat das Szenario EnEff deutliche Vorteile gegenüber dem EE-Wärme-Szenario. Es ist deutlich robuster gegenüber Störeinflüssen und nutzt Biomasse im angemessenen Rahmen. Sehr eindeutig fällt die Bewertung mit Blick auf hoch ambitionierte Klimaschutzziele aus: diese dürften mit dem Effizienzstandard des Szenarios EE-Wärme nicht, oder nur mit sehr hohem Kostenaufwand erreichbar sein. Die Gefahr von Lockin-Effekten ist hier dementsprechend groß.

In Summe spricht aus gesamtgesellschaftlicher Sicht vieles dafür, sich bei der Umsetzung auf den Pfad des Szenarios Energieeffizienz zu konzentrieren. Die zusätzlichen Investitionen sind gut angelegt. Ihnen stehen zusätzliche Einnahmen des Staates in beträchtlichem Umfang gegenüber, die bei der Schaffung positiver Rahmenbedingungen für die beteiligten Akteure helfen können.

Gesamtwirtschaftliche Perspektive	EnEff	EE-Wärme
BIP	++	+
Beschäftigung	++	+
Außenhandelsbilanz	o	o
Multiplikatorwirkung	+	+
Nutzerperspektive / Haushalte / Investoren		
Kosten der Unterkunft (Kaltmiete)	--	-
Kosten für Heizung und Warmwasser	+	+
Investitionsbedarf bei privaten Haushalten	-	o
Konsum privater Haushalte	++	+
Energiesystem		
Biomassenachfrage (Menge)	o	--
Stromnachfrage (Menge & Leistung)	+	o
Robustheit ggü. Störeinflüssen	++	+
Eignung für 95%-Welten	++	o

Tabelle 2: Qualitative Einordnung der Szenarien der ESG im Vergleich zur Referenzentwicklung
 „++“ für wünschenswerte bzw. positive Effekte bis „-“ für nicht wünschenswerte bzw. negativ Effekte.
 Quelle: Prognos AG (2017)

2 Hintergrund

Mit der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) hat die Bundesregierung das Ziel des nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes bestätigt: Der Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie für Raumwärme, Raumkühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung in Gebäuden sowie Beleuchtung in Nicht-Wohngebäuden soll bis 2050 um 80 % gegenüber dem Jahr 2008 sinken. Die Erstellung der ESG wurde im Jahr 2015 durch ein Forschungsvorhaben begleitet, mit dem der Handlungsbedarf und -spielraum für Politik und Gesellschaft durch eigenständige Szenario-Berechnungen aufgezeigt wurden (Prognos/IWU/ifeu 2016). Hauptanliegen der Begleitforschung war es, die Potenziale und Grenzen von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien zu ermitteln und hieraus den Korridor zur Zielerreichung bis 2050 abzuleiten. Dieser Korridor sollte dabei „ambitioniert-realistische“ Grenzen ausloten (Abbildung 1).

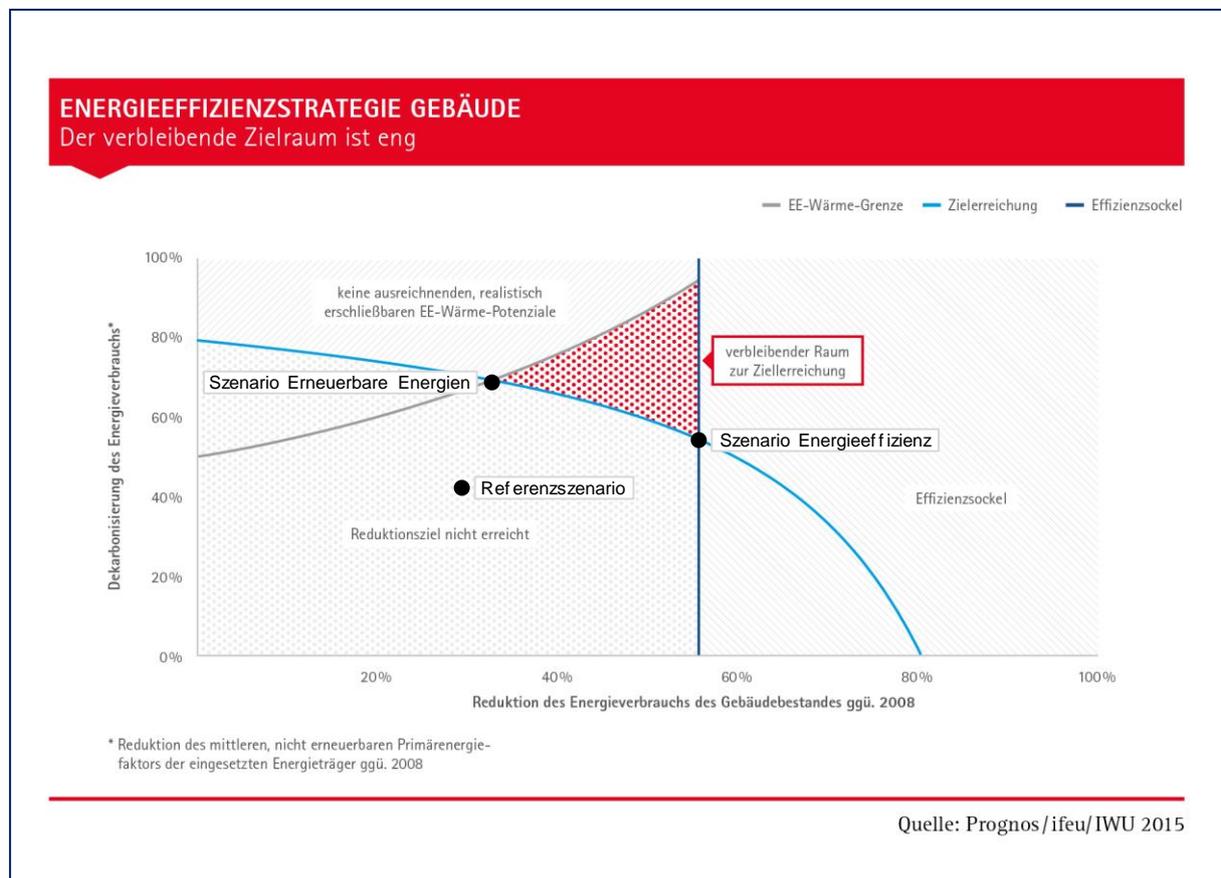


Abbildung 1: Verbleibender Korridor zur Zielerreichung im Gebäudebereich.

Quelle: Prognos/IWU/ifeu 2016

Die durchgeführte Metaanalyse von Potenzialstudien und knapp 30 Zielszenarien zeigte, dass das Ziel mit sehr unterschiedlichen Gewichtungen von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien erreichbar ist. Weiterhin wurde deutlich, dass die Potenziale sowohl der Energieeffizienz als auch der erneuerbaren Energien begrenzt sind und der verbleibende Zielkorridor – trotz der großen Bandbreite an Gewichtungen – bereits recht eng ist. Für die Ränder des sich ergebenden Korridors wurden die beiden Zielszenarien „Energieeffizienz“ (EnEff) und „Erneuerbare Energien“ (EE-Wärme) berechnet (vgl. Abbildung 1), die mit diesem Gutachten weiteren Untersuchungen unterzogen werden:

- Das Zielszenario Effizienz (EnEff) steht exemplarisch für den rechten Rand des Zielkorridors. Hauptmaßnahme für die Zielerreichung ist die Reduktion des Endenergieverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen, insbesondere die energetische Sanierung der Gebäudehülle, wobei bekannte Dämmrestriktionen berücksichtigt werden.
- Das Zielszenario Erneuerbare Energien (EE-Wärme) steht exemplarisch für den linken Rand des Zielkorridors. Hauptmaßnahme für die Zielerreichung ist der Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien (Dekarbonisierung). Begrenzend wirkt die Verfügbarkeit der einsetzbaren erneuerbaren Energien.

Neben den beiden Zielszenarien wurde ein Referenzszenario berechnet, das das Ende 2013 vorhandene energie- und klimaschutzpolitische Instrumentarium ohne Verschärfung in die Zukunft fort-schreibt und einen moderaten, autonomen technischen Fortschritt unterstellt. Das Referenzszenario wird in diesem Gutachten als zentrale Vergleichsgröße herangezogen.

3 Zielsetzung

Ziel dieser Studie ist eine gesamtwirtschaftliche Einordnung der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) durch die Analyse der beiden Zielszenarien. Mit dem hier vorliegenden Bericht werden die Wirkungen der Umsetzung der Zielszenarien der ESG auf andere Bereiche des Energiesystems sowie auf die Gesamtwirtschaft analysiert und mit einer Referenzentwicklung abgeglichen.

Die Leistungsbeschreibung formuliert folgende Kernfrage: „*Welche gesamtwirtschaftlichen (systemischen) Kosten sind mit dem Erreichen des Ziels eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes in den beiden Zielszenarien der ESG, „Szenario Energieeffizienz“ und im „Szenario Erneuerbare Energien“ netto verbunden?*“

Für die Analysen wurden keine eigenständigen Szenarien für das gesamte Energiesystem berechnet. Somit konnten die konkreten Auswirkungen lediglich abgeschätzt werden. Wie sich zeigt, ist diese Vereinfachung zulässig, da der Effekt der Szenarien auf das Gesamtsystem vergleichsweise gering ist (Kapitel 4 und 5) und kein grundlegend anders strukturiertes Energiesystem erfordert.

Um Aussagen bezüglich der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen treffen zu können, wurde der aus der Umsetzung der Szenarien resultierende Handlungs- und Investitionsbedarf abgeschätzt und als Eingangsgröße für das Gesamtwirtschaftsmodell VIEW der Prognos AG genutzt. Folgende Aspekte wurden neben den Investitionen in den Gebäudebestand näher untersucht:

- Wirkungen auf das Stromsystem
- Wirkungen auf das Fernwärmesystem
- Wirkungen auf das Erdgassystem
- Wirkungen auf den Import von Energieträgern

Um die Stabilität und mögliche Unsicherheiten der volkswirtschaftlichen Berechnungsergebnisse überprüfen und einordnen zu können, wurden die Berechnungen für einen zweiten Energiepreispfad durchgeführt.

Darüber hinaus wurden qualitative Einschätzungen zu Risiken eines hohen Biomasseeinsatzes in Gebäuden, zum Zusammenwirken von Elektromobilität und Wärmepumpen, zur Robustheit der Szenarien und zu Verteilungsaspekten erarbeitet.

4 Methodisches Vorgehen

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in zwei Arbeitspakete. Mit Arbeitspaket 1 erfolgt eine Bestandsaufnahme und Bewertung vorliegender Studien/Ansätze von Kosten und Vorteilen des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor. Diese Leistungen wurden federführend von ecofys durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes fließen in die Berechnung der Eingangsdaten für die makroökonomischen Berechnungen im Arbeitspaket 2 ein.

Im zweiten Arbeitspaket erfolgt die gesamtwirtschaftliche Analyse der beiden ESG-Zielszenarien. Diese Leistungen wurden von der Prognos federführend erbracht. Hierfür wurden die relevanten gesellschaftlichen Akteure einer Analyse unterzogen und – soweit dies möglich war – der jeweilige Handlungsbedarf dieser Akteure mit Investitionen hinterlegt. Die berechneten Investitionsimpulse (Kapitel 5.1 bis 5.6) dienen als Eingangsdaten für das Gesamtwirtschaftsmodell VIEW der Prognos AG, mit dem die makroökonomischen Untersuchungen (Kapitel 6) durchgeführt wurden. Nicht alle mit der Leistungsbeschreibung gestellten Fragen lassen sich mit diesem Modell beantworten. Für einzelne Teilaspekte wurden daher zusätzliche Einordnungen (Kapitel 7 und 8) vorgenommen. Alle Modellrechnungen starten im Jahr 2015 – dieses ist also das erste, in dem Effekte auftreten.

4.1 Energiewirtschaftlicher Rahmen

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der Erarbeitung der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) wurden zwei Zielszenarien für den gesamten Gebäudebestand berechnet, die zu einer 80%igen Reduktion des Primärenergieeinsatzes in Gebäuden führen (Prognos et. al. 2016).

Der energiewirtschaftliche und sozio-demographische Rahmen wurde mit Ausnahme des Energiepreispfades vollständig aus der Energiereferenzprognose (ERP) (Prognos/EWI/GWS 2014) übernommen. Der Energiepreispfad wurde an den Ölpreisverfall im Winter 2014/2015 am aktuellen Rand angepasst.

Für die Einordnung der Signifikanz der Effekte der ESG-Szenarien erfolgt ein Abgleich mit dem gesamten Endenergieverbrauch aller Verbrauchsbereiche. Hierfür wurde vereinfachend angenommen, dass die restlichen Energieverbrauchssektoren und der Umwandlungssektor im Vergleich zum Zielszenario der ERP unverändert bleiben (vgl. Abbildung 2).

Der Kraftwerkspark wurde ebenfalls aus dem Zielszenario der ERP abgeleitet und entsprechend der geänderten Stromnachfrage aus Gebäuden unter der Maßgabe angepasst, dass der Energieträgermix der Stromerzeugung unverändert bleibt. Diese Vereinfachung ist zulässig, da der Effekt der Szenarien auf den gesamten Nettostromverbrauch unter 10 % liegt und davon ausgegangen werden kann, dass kein grundlegend anders strukturierter Stromerzeugungspark benötigt wird.

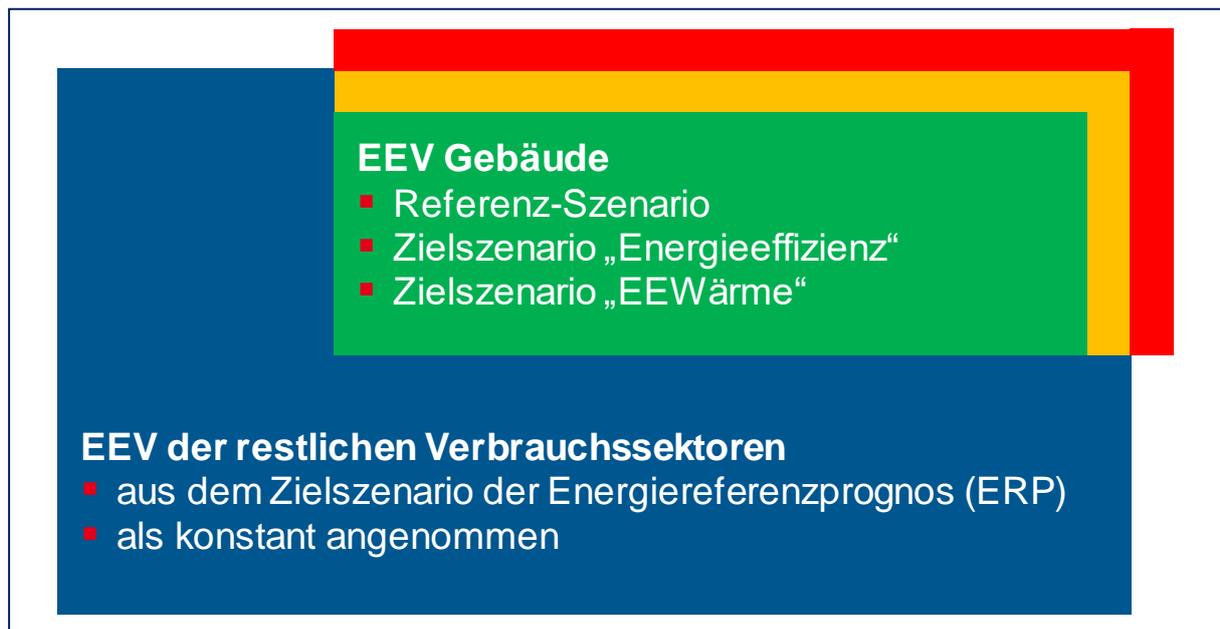


Abbildung 2: Darstellung des methodischen Vorgehens zur Einordnung der Effekte der ESG-Szenarien auf das gesamte Energiesystem. Quelle: Prognos AG (2017)

4.2 Gesamtwirtschaftliche Berechnungen / Prognos VIEW

Die gesamtwirtschaftlichen und branchenspezifischen Effekte der energiewirtschaftlichen Maßnahmen werden mit dem Weltwirtschaftsmodell VIEW der Prognos AG berechnet. VIEW setzt sich aus einzelnen Modellen für insgesamt 42 Länder zusammen. Interaktionen und Rückkopplungen zwischen den Ländern via Außenhandel und Preisrelationen werden in dem Modellverbund explizit berücksichtigt. In einem einzelnen Landmodell ist die entstehungs-, verwendungs- und verteilungsseitige Betrachtung des Bruttoinlandsproduktes nach ca. 700 Variablen differenziert. In einem auf dynamischen Input-Output-Tabellen basierendem Submodell werden Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung für 72 Branchen abgeleitet.¹

Aus den energiewirtschaftlichen Maßnahmen resultieren verschiedene ökonomische Impulse, welche auf unterschiedliche Weise in das Modell eingehen:

■ Mehrinvestitionen

Der Investitionsimpuls ist nach Ausrüstungen und Bauinvestitionen differenziert. Zusätzliche Ausgaben für diese führen im Modell unmittelbar zu einem positiven Nachfrageeffekt, welcher nachgelagert auch andere Verwendungskomponenten ansteigen lässt (primär den privaten Konsum). Mehrinvestitionen weisen insofern einen Doppelcharakter auf, als sie zusätzlich zum direkten Nachfrageeffekt über den durch sie höheren Kapitalstock auch das gesamtwirtschaftliche Produktionspotenzial positiv beeinflussen. Im Modell führt ein gestiegenes Produktionspotenzial über diverse Anpassungskanäle mittel- und langfristig auch zu einem proportional höheren Bruttoinlandsprodukt (d.h.

¹ Eine ausführliche Beschreibung des VIEW-Modells ist verfügbar unter:
<https://www.prognos.com/publikationen/prognos-economic-outlook-r/modell-view-r/>

die Potenzialauslastung ist langfristig näherungsweise identisch). Im VIEW-Modell ist daher der langfristige Multiplikator der Mehrinvestitionen signifikant größer Eins.

■ Investitionskosten / Einsparungen Energieverbrauch

Die Investitionskosten sind direkt oder indirekt (als Mieter) von den privaten Haushalten zu tragen. Die Kosten werden im Modell jährlich in Form eines Tilgungsdarlehens mit 25 Jahren Laufzeit und mit einem realen Zinssatz von 1,5 % berechnet. Diesen zusätzlichen Ausgaben der privaten Haushalte stehen die Minderausgaben für den eingesparten Energieverbrauch in ähnlicher Größenordnung gegenüber. Nach der vollständigen Tilgung der Darlehen verbleibt ein positiver Effekt auf den privaten Konsum. Die Differenz wird annahmegemäß für andere Konsumgüter ausgegeben. Dieser Mehrkonsum ist wiederum mit zusätzlichen Importen verbunden (siehe folgenden Punkt).

■ Minderimporte

Die Minderimporte sind Resultat der geringeren Ausgaben der privaten Haushalte für Energie. Da die Importquote der Energieträger deutlich höher ist als die der übrigen Verwendungszwecke (etwa 75 % zu 10 %), reduzieren sich rechnerisch die Importe insgesamt für den privaten Konsum. Hieraus resultiert ein positiver Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt.

Die aus den energiewirtschaftlichen Maßnahmen resultierenden gesamtwirtschaftlichen Effekte werden einer Referenzentwicklung gegenübergestellt, welche an der aktuellen Basisprognose der Prognos AG angelehnt ist. Der Ergebnisausweis im vorliegenden Bericht ist stark komprimiert; bei Bedarf kann dieser ausgeweitet werden.

5 Eingangsdaten für die makroökonomischen Berechnungen

5.1 Investitionen in Wohngebäude

Die energiebedingten Investitionen in Wohngebäuden setzen sich im Wesentlichen aus Kosten für die Modernisierung der Gebäudehülle sowie Kosten für die Erneuerung der Anlagentechnik zusammen. Sie wurden aus der Begleitforschung der ESG (Prognos/IWU/ifeu 2016) übernommen und auf die Investitionsgüter „Anlagentechnik“ und „Gebäudehülle“ verteilt. Dabei wird angenommen, dass die jährliche Instandhaltungsleistung (instandgehaltene und sanierte Flächen) in allen drei Szenarien identisch ist, da die Lebensdauer und damit Ersatzbedürftigkeit der Bauteile unabhängig von energetischen Standards ist. In den Zielszenarien ist der Anteil der energetisch wirksamen Baumaßnahmen allerdings höher als im Referenzszenario. Bei der Berechnung der Differenzinvestitionskosten für die gesamtwirtschaftliche Rechnung werden daher nur die energiebedingten Mehrkosten betrachtet. Für die Bewertung der Verteilungswirkungen (Kapitel 8) erfolgt eine Aufschlüsselung nach Gebäudetypen (Ein- und Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser).

Für die drei betrachteten Szenarien liegen die Investitionen aggregiert für den gesamten Wohngebäudebestand für Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Wärmeversorgung sowie die sanierten Flächen aus der Begleitforschung zur „Effizienzstrategie Gebäude“ (Prognos/IWU/ifeu 2016) für jedes Jahr vor. Für die Analyse wurden die Daten nach Gebäudetypen disaggregiert.

Bauten		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EnEff	EZFH	485	1.490	3.708	3.948	4.422	4.308	4.423	4.178
	MFH	226	737	1.789	2.038	2.600	2.579	2.773	2.509
	Summe	712	2.227	5.497	5.986	7.023	6.887	7.196	6.687
EE-Wärme	EZFH	91	82	404	550	661	559	579	575
	MFH	4	33	140	184	273	339	389	379
	Summe	95	114	544	734	933	898	967	954

Tabelle 3: Energiebedingte Differenzinvestitionen in die Gebäudehülle der Zielszenarien zum Referenzszenario in Mio. € (netto). Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

Die Flächen sind jeweils für Ein-, Zwei- und Mehrfamiliengebäude sowie für sonstige Wohngebäude vorhanden und zusätzlich nach Baujahr des Gebäudes aufgeschlüsselt. Für verschiedene Baualterklassen und Sanierungszeitpunkte liegen ebenfalls spezifische Kosten für die komplette Modernisierung, sowie den energiebedingten Anteil daran vor. Mit dieser Grundlage konnten nun aufgeteilt auf Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH), Mehrfamilienhäuser (MFH) inkl. sonstige Wohngebäude (SOG) die jährlichen energiebedingten Modernisierungskosten ermittelt werden. Die Differenzinvestitionen

der beiden Zielszenarien (Effizienz und Erneuerbare) für die Gebäudehülle bei Wohngebäuden im Vergleich zum Referenzszenario sind in Tabelle 3 dargestellt.

Für die Investitionen in Wärmeerzeuger wurde ebenfalls auf Ergebnisse aus der vorhergehenden Studie zurückgegriffen, konkret auf das Modell zur Entwicklung des Anlagenbestands. Die Flächen, die in den modellierten Jahren durch eine bestimmte Technologie mit Wärme versorgt werden, konnten mit flächenspezifischen Anlagenkosten (jeweils für EZFH, MFH inkl. SOG verschieden) für die jeweilige Technologie verrechnet werden. Dafür wurden leistungsabhängige Preise für verschiedene Erzeugertypen sowie typische Leistungen je Fläche berücksichtigt. Durch die jährlichen Veränderungen aus dem Modell, zusammen mit der Annahme einer mittleren Lebenszeit eines Wärmeerzeugers von 25 Jahren (4% Austausch je Jahr) wurden die jährlichen Kosten für die Anlagentechnik der verschiedenen Gebäudetypen für die verschiedenen Szenarien berechnet. Die Differenzkosten zum Referenzszenario sind in der folgenden Tabelle 4 dargestellt.

Anlagen		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EnEff	EZFH	19	115	167	483	692	899	1.013	1.138
	MFH	10	62	83	118	159	177	206	214
	Summe	30	177	249	601	851	1.076	1.219	1.352
EE-Wärme	EZFH	45	267	1.325	1.841	2.110	2.384	2.569	2.847
	MFH	13	76	202	207	301	330	360	434
	Summe	57	343	1.527	2.048	2.411	2.713	2.929	3.281

Tabelle 4: Differenzinvestitionen in Wärmeerzeuger der Zielszenarien zum Referenzszenario in Mio. € (netto). Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

5.2 Investitionen in Nichtwohngebäuden

Für Nichtwohngebäude in Deutschland liegen keine detaillierten und fortschreibungsfähigen Daten zum Gebäudebestand (Flächen, Anzahl Gebäude, Gebäudetypen, Baualtersklassen) vor. Für die Bestimmung der Investitionen in Nichtwohngebäuden kann daher nicht auf ein Gebäudebestandsmodell zurückgegriffen werden (Tabelle 5).

Szenario	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EnEff	5.691	5.645	5.389	4.483	4.056	3.781	3.702	2.951
EE-Wärme	8.354	5.256	3.589	2.522	2.184	1.737	1.773	1.511

Tabelle 5: Differenzinvestitionen im Bereich GHD der Zielszenarien zum Referenzszenario in Mio. € (netto). Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

Für die Bestimmung der Investitionsimpulse im Bereich Nichtwohngebäude wurde daher auf die Methode der anlegbaren Investitionen zurückgegriffen. Anhand der jährlichen Endenergieeinsparungen der ESG-Szenarien und den Endkundenenergiepreisen werden die maximal möglichen Investitionen mit der Barwertmethode bestimmt. Dabei wurde ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und ein realer Zinssatz von 2,5 % angenommen. Durch diese Methode ist die Gesamtsumme der Investitionen bekannt, jedoch nicht die Aufteilung in Anlagen- und Baukosten. Für das Effizienzscenario wurde eine Aufteilung in 90 % Bauten und 10 % Anlagen getroffen. Im Erneuerbaren-Szenario werden die Kosten zu jeweils 50 % aufgeteilt.

5.3 Investitionen im Bereich Strom-Erzeugung und -Verteilung

Die Differenzkosten im Bereich Stromerzeugung ergeben sich aus dem Verhältnis der Stromnachfrage des jeweiligen Zielszenarios (EnEff; EE-Wärme) zu der Stromnachfrage des Referenzszenarios in den Jahren von 2015 bis 2050. Wie im Kapitel 4.1 angeführt, ergibt sich die Stromnachfrage in den beiden Zielszenarien aus einer Variation des Endenergieverbrauchs im Gebäudesektor. Während im Zielszenario EnEff die Stromnachfrage in allen Jahren geringer ausfällt als im Referenzszenario weist das Zielszenario EE-Wärme in den Jahren von 2018 bis 2032 eine leicht höhere Stromnachfrage als im Referenzszenario auf, bevor diese anschließend bis 2050 im Verhältnis leichtfällt. Gemäß diesen Differenzen wurde im Folgeschritt der im Referenzszenario angenommene Kraftwerkspark skaliert, um somit eine zur Versorgungssicherheit ausreichende Kraftwerksleistung in den beiden Szenarien zu bestimmen. Insgesamt lässt sich an dieser Stelle bereits anführen, dass die Variation der Stromnachfrage mit -8% im Zielszenario Effizienz bzw. -2 % im Zielszenario EE-Wärme gegenüber der gesamten Stromnachfrage im Referenzszenario gering ausfällt.

Unter der Annahme einer gleichbleibenden Struktur der zum Einsatz kommenden Erzeugungstechnologien ist eine Skalierung des Kraftwerksparks um den jährlichen Zusatz- bzw. Minderbedarf aussagekräftig. Des Weiteren ist die Verteilung der Differenzinvestitionen über einen längeren Zeitraum (anstatt beispielsweise in einem Jahr anfallende Investitionskosten) durch die Annahme der Annuität der Investitionskosten zu vertreten. Die hieraus resultierende Erhöhung bzw. Minderung der Kapazität wurde mittels spezifischer Investitionskosten für die jeweilige Technologie aus (DIW, 2013) in jährliche Investitionskosten umgerechnet. Es ergeben sich Investitionersparnisse von kumuliert 22 Mrd. Euro für das Zielszenario EnEff, bzw. 4 Mrd. Euro für das Zielszenario EE-Wärme gegenüber dem Referenzszenario.

Szenario	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EnEff	-456	-419	-532	-511	-637	-614	-837	-815
EE-Wärme	52	47	75	72	-259	-251	-328	-320

Tabelle 6: Jährliche Differenzinvestitionen zwischen den Zielszenarien und dem Referenzszenario im Bereich der Stromerzeugung, in Mio. Euro. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

Weitere Differenzinvestitionen resultieren aus der sich ändernden Transportaufgabe im Strombereich. Hier gilt grundsätzlich, dass die Investitionersparnisse, welche sich aus einer geringeren Stromerzeugung ergeben, sich im Generellen weder auf das Übertragungsnetz noch auf das Verteilnetz auswirken werden, da die installierte Leistung sich nur geringfügig ändert und die technologie- und standort-spezifische Verteilung des Referenzszenarios auch für die Zielszenarien angenommen wird. So wird beispielsweise die Notwendigkeit des Ausbaus des Übertragungsnetzes zum Transport von Strom aus Windkraftanlagen im Norden durch die geringfügigen Nachfrageänderungen nicht beeinflusst. Argumentativ ergeben sich somit Differenzkosten für beide Zielszenarien gegenüber dem Referenzszenario von 0 Mrd. Euro.

5.4 Investitionen im Bereich Fernwärme-Erzeugung und -Verteilung

Die Differenzinvestition im Bereich der Fernwärme-Erzeugung und -Verteilung ergeben sich aus dem Ausbau des Fernwärmenetzes zwischen den Jahren 2015 und 2050 in den Zielszenarien EnEff und EE-Wärme gegenüber dem Referenzszenario. Die Anzahl der Fernwärmeanschlüsse in Wohngebäuden leitet sich aus dem bereits 2016 veröffentlichtem Hintergrundpapier zur ESG (Prognos/IWU/ifeu 2016) ab. Während im Referenzszenario zwischen 2015 und 2050 etwa 411.000 Fernwärmeanschlüsse in Wohngebäuden hinzukommen, sind es in den Zielszenarien EnEff und EE-Wärme 832.000 bzw. 789.000. Des Weiteren kann ein Verhältnis von Nichtwohngebäuden zu Wohngebäuden von 50 % angenommen werden (vgl. BMVBS 2011), welche in den jeweiligen Szenarien auch berücksichtigt werden müssen.

Die Mehrinvestitionen sowohl in die Fernwärmeanschlüsse als auch die Kosten für den Ausbau des Fernwärmenetzes stammen aus dem Endbericht zum Wärmegesetz (Öko-Institut et. al. 2010). In der Studie werden Kostenabschätzungen für die Versorgung von Häusern in verschiedenen Siedlungskategorien ausgegeben, welche sich je nach Siedlungskategorie zu etwa zwischen 86-95 Prozent aus den Leitungskosten und 5-14 Prozent aus Fixkosten am Haus ergeben. Unter Berücksichtigung der dort getroffenen Schätzungen ergeben sich über alle Siedlungstypen gemittelte Investitionskosten von 9.299 Euro pro Fernwärmeanschluss für die Verstärkung der Leitungen sowie den Hausanschluss. Die sich aus der Ausweitung der Fernwärmeanschlüsse in den Zielszenarien gegenüber dem Referenzszenario ergeben Differenzinvestitionen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Szenario	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EnEff	53	79	76	95	121	170	205	193
EE-Wärme	84	63	68	61	115	162	183	191

Tabelle 7: Jährliche Differenzinvestitionen zwischen den Zielszenarien und dem Referenzszenario im Bereich der Fernwärmeversorgung, in Mio. Euro. Quelle: Berechnungen Prognos (2017)

5.5 Investitionen Erdgasverteilung

Die Differenzkosten im Bereich der Erdgasverteilung ergeben sich zum einen aus der Nachfrage nach Erdgas zur Wärmeerzeugung sowie zur Stromerzeugung zum anderen. Während die Zahl der gasgefeuerten Wärmeerzeuger im Referenzszenario von etwa 6,9 Millionen in 2015 auf 7,2 Millionen in 2050 ansteigt, fällt die Anzahl ebendieser in den Zielszenarien EnEff und EE-Wärme stetig auf 3,8 Millionen respektive 1,4 Millionen in 2050. Aus dem Wärmesektor ist somit in beiden Zielszenarien keine zusätzliche Gasnachfrage zu erwarten. Bei der Stromerzeugung kommt es, wie in Kapitel 0 genannt, nur im Zielszenario EE-Wärme mittelfristig zu einer Ausweitung der Erzeugungskapazität und damit zu einer höheren Nachfrage nach Gas. Die Ausweitung der Kapazität der gasgefeuerten Stromerzeugungsanlagen ist jedoch im Bereich von etwa 100 MW anzusiedeln und somit der Effekt auf die Nachfrage verschwindend gering und zu vernachlässigen. Die Nachfrage nach Gas fällt in allen Zielszenarien gegenüber dem Referenzszenario, was eine geringere Transportaufgabe und eine vermeintlich geringere Infrastrukturanforderung zur Folge hätte.

Einen Rückbau der gegebenen Gasinfrastruktur wird in dieser Studie aus zwei Gründen ausgeschlossen. Dies beruht zum einen auf der Überlegung, dass eine Minderung der Gesamtnachfrage nicht zwangsläufig mit einer Minderung der Spitzenlast einhergeht. So kann es beispielsweise sein, dass Gaskraftwerke zwar deutlich weniger Benutzungsstunden in einem Jahr aufweisen, in gegebenen Stunden oder Tagen allerdings den gleichen Spitzenbedarf abdecken. Da das Gasnetz zur Versorgungssicherheit auch für diese Stunden ausgelegt ist, müsste es auch in diesen Stunden noch in vollem Umfang die Nachfrage bedienen können.

Zum anderen beruht es auf der Überlegung, dass der Erhalt des Gasnetzes auf strategischen – weiter in die Zukunft reichenden – Interessen fußt. Gerade in Zeiten der Dekarbonisierung des Energiesektors sind die Alternativen zur Energieversorgung noch nicht geklärt. Das Gasnetz könnte in der langfristigen Zukunft für den Transport synthetischer gasförmiger Energieträger zum Einsatz kommen. Eine so zentrale Infrastruktur sollte deshalb aus strategischen Gesichtspunkten auf ihrem Stand erhalten bleiben, bis ihre Rolle in der zukünftigen Energieversorgung abschließend geklärt ist. Als weiteres Argument ließe sich zudem noch die Rolle der deutschen Gasinfrastruktur für die Versorgung europäischer Nachbarländer anführen, welche während einer Transformation ihres Stromerzeugungsparks von Kohle und Atomstrom auf eine ausgeweitete Stromerzeugung mittels Erdgas setzen könnten.

Die Differenzinvestitionen in das Erdgasnetz belaufen sich somit argumentativ auf 0 Mrd. Euro in beiden Szenarien, da das Netz trotz geringerer Nachfrage nach Gas auf dem Stand des Referenzszenarios gehalten wird.

5.6 Importe von Brennstoffen

Fossile Brennstoffe sowie ein Teil der benötigten Biomasse zur Deckung des Wärmebedarfs müssen importiert werden. Die damit verbundenen Importkosten hängen von den importierten Mengen und Energiepreisen ab. Importmengen werden im Wesentlichen durch den Energieverbrauch in den jeweiligen Szenarien bestimmt (Prognos/IWU/ifeu 2016). Die genutzten Mineralölprodukte (überwiegend Heizöl) werden in deutschen Raffinerien aus importiertem Rohöl hergestellt. Dabei werden die Verbrauchsmengen der Mineralölprodukte um den Faktor 6% erhöht, um Umwandlungsverluste und den

Eigenverbrauch in den Raffinerien zu berücksichtigen. Aufgrund der begrenzten lokalen Biomassepotenziale wird angenommen, dass bei Überschreitung der Nutzung von Biomasse im Gebäudereich von 300 PJ ein zusätzlicher Biomasseimport notwendig wird (vgl. Kapitel 7).

Für die Berechnung der Importkosten werden die Importmengen mit den Grenzübergangspreisen (GüP) verknüpft. Grundlage für die Bestimmung der GüP bilden die globalen Energiepreispfaden der International Energy Agency (IEA; World Energy Outlook 2016). Als Referenzpreis-Szenario wird das „New Policies Scenario“ verwendet. Es berücksichtigt politische Verpflichtungen und Pläne, die von den Ländern im Rahmen der Klimaverhandlungen angekündigt wurden. In einer Sensitivität wird die Entwicklung unter dem „450 ppm Szenario“ betrachtet, das von weltweit stark gesteigerten Klimaschutzanstrengungen und entsprechend geringerer Nachfrage nach fossilen Brennstoffen ausgeht. Der Rohölpreis verringert sich gegenüber dem „New Policies-Szenario“ bis 2050 um über 35 %. Die Energiepreise der IEA werden in einem iterativen Prozess berechnet, bei dem die Preise ein Niveau erreichen müssen, das die Förderung der zur Deckung der Nachfrage nötigen Energiemengen wirtschaftlich macht. Da die Energienachfrage im „New Policies Szenario“ höher ist und die Erschließung neuer Energiequellen tendenziell immer teurer wird, sind auch die Preise in diesem Szenario höher als im „450 ppm Szenario“. Die IEA-Preisszenarien enthalten Angaben für die Energieträger Rohöl, Erdgas (EU) und Kohle (EU) bis ins Jahr 2040. Für die Fortschreibung bis 2050 wurden die jeweiligen jährlichen Wachstumsraten zwischen 2030 und 2040 benutzt. Abbildung 3 zeigt die historische Entwicklung sowie die drei Szenarien des World Energy Outlook für den internationalen Rohölpreis.

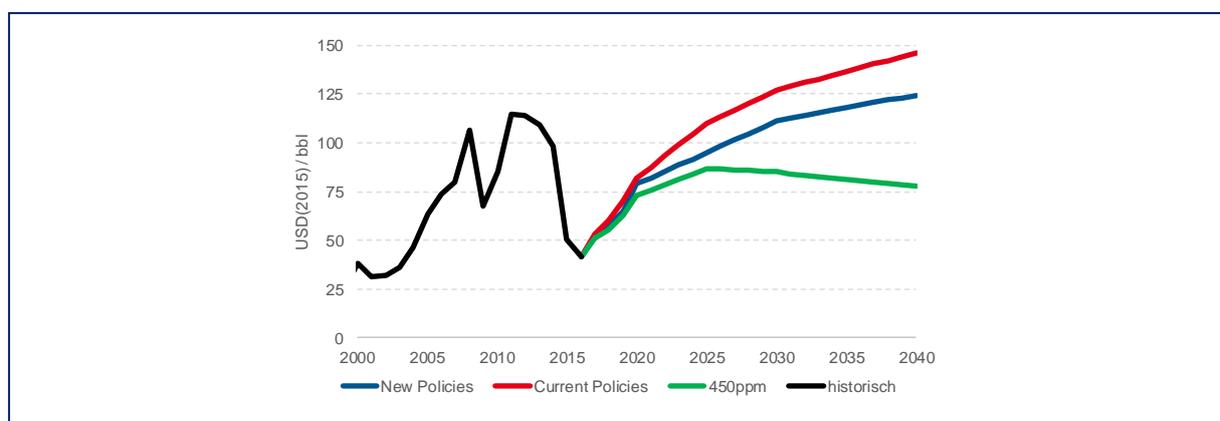


Abbildung 3: Ölpreis- Szenarien des World Energy Outlook 2016 der IEA, real in USD(2015)/bbl.

Quelle: iea (2016)

Um aus den IEA-Energiepreispfaden die GüP abzuleiten, wurden die deutschen Importpreise (BMW, 2016a) der Jahre bis 2015 analysiert und die Korrelationen mit den Weltmarktpreisen bestimmt. Neben den globalen Energiepreisen beeinflussen die Inflation und Wechselkurse (Euro zu Dollar) die Importpreise. Die zukünftige Entwicklung dieser Faktoren wurde dem Weltreport (Prognos, 2016) entnommen. Der Grenzübergangspreis für Biomasse im Gebäudesektor wurde näherungsweise aus dem Preis für Kaminholz abzüglich der Mehrwertsteuer bestimmt. Die Prognose des Kaminholzpreises beruht auf einer berechneten Korrelation gegenüber dem Ölimportpreis. In der nachfolgenden Tabelle 8 sind die berechneten GüP beschrieben (reale Preise, Basis 2015).

	Szenario New Policies				Szenario 450 ppm			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Rohöl	10,7	15,7	17,9	20,5	9,8	12,0	11,3	10,6
Erdgas	5,3	8,0	9,2	10,5	5,1	7,3	7,9	8,5
Steinkohle	2,3	2,7	2,8	2,9	2,1	2,1	1,9	1,7
Biomasse	14,4	21,2	24,3	27,8	13,3	16,3	15,3	14,4

Tabelle 8: Reale Grenzübergangspreise, in EUR₂₀₁₅/GJ – Szenarien NEP und 450.

Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

Generell gilt: Je grösser der Importbedarf, desto höher fallen die Importkosten aus. Die höchsten Importkosten ergeben sich im Referenzszenario (2050: 15,4 Mrd. EUR₂₀₁₅, Preispfad „New Policies Szenario“). Entsprechend dem Anteil am Verbrauch machen die Gasimporte den größten Anteil aus. Im Szenario „Energieeffizienz“ wird der Energieverbrauch am stärksten reduziert, es ergeben sich die tiefsten Importkosten (2050: 5,9 Mrd. EUR₂₀₁₅). Im Szenario „Erneuerbare Energien“ belaufen sich die Importkosten im Jahr 2050 auf 8,6 Mrd. EUR₂₀₁₅, ins Gewicht fallen hier insbesondere die Importe von Biomasse (4,8 Mrd. EUR₂₀₁₅). Mit den tieferen Preisen des "450 ppm Szenario" ergeben sich tiefere Importkosten. Die Einsparungen in den Zielszenarien gegenüber der Referenz fallen geringer aus.

	Szenario New Policies				Szenario 450 ppm			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
EnEff-Szenario								
Mineralölprodukte	-904	-2.447	-3.320	-3.880	-808	-1.853	-2.086	-2.015
Erdgas	-462	-2.140	-3.678	-5.140	-416	-1.916	-3.155	-4.207
Steinkohle	-19	-36	-39	-40	-17	-28	-25	-22
Biomasse	+432	+492	-462	-470	+401	+381	-291	-243
Gesamt	-952	-4.132	-7.497	-9.528	-840	-3.416	-5.557	-6.488
EE-Wärme-Szenario								
Mineralölprodukte	-1.511	-3.412	-4.255	-4.852	-1.395	-2.607	-2.672	-2.508
Erdgas	-546	-2.556	-4.329	-6.233	-528	-2.318	-3.702	-5.032
Steinkohle	-35	-47	-44	-41	-32	-36	-29	-23
Biomasse	+1.328	+3.317	+3.937	+4.309	+1.227	+2.551	+2.501	+2.270
Gesamt	-765	-2.697	-4.690	-6.816	-727	-2.410	-3.902	-5.293

Tabelle 9: Differenz der Energieimporte nach Szenarien, in Mio. EUR₂₀₁₅ – Energiepreispfade Szenario New Policies und 450 ppm. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

5.7 Zusammenfassung

Tabelle 10 fasst die Differenzen zum Referenzszenario für die Investitionsimpulse und die Effekte auf die Energieimporte beider Zielszenarien, die in den gesamtwirtschaftlichen Berechnungen (Kapitel 6) eingehen, zusammen. Die Zusammenstellung verdeutlicht die Aufteilung der Kosten nach den unterschiedlichen Sektoren (Immobilienwirtschaft, Energiewirtschaft). Die Investitionen in die Wohngebäude werden von den Eigentümern der Gebäude getragen. In Kapitel 8.2 erfolgt eine Aufteilung der Investitionen auf die Akteure am Wohnungsmarkt. Die Investitionen in Nichtwohngebäude werden ebenfalls von den Eigentümern der Gebäude und damit vorwiegend von den Sektoren GHD und Industrie getragen. Im Bereich der Energienetzinfrastruktur fallen Mehrinvestitionen lediglich im Bereich der Fernwärme an. Im Bereich Kraftwerkspark sind überwiegend weniger Investitionen erforderlich als im Referenzszenario.

Bereich	Investitions- onsgut	EnEff				EE-Wärme			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Investitionsimpulse									
Wohngebäude	Anlagen	177	601	1.076	1.352	343	2.048	2.713	3.281
Wohngebäude	Bauten	2.227	5.986	6.887	6.687	114	734	898	954
Nichtwohn- gebäude	Bauten und Anlagen	5.645	4.483	3.781	2.951	5.256	2.522	1.737	1.511
Gasnetz	Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0
Stromnetz	Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärmenetz	Anlagen	79	95	170	193	63	61	162	191
Kraftwerkspark	Anlagen	-419	-511	-614	-815	47	72	-251	-320
Summe	-	7.709	10.653	11.299	10.369	5.823	5.438	5.259	5.616
Energieimporte									
Szenario New Policies		-952	-4.132	-7.497	-9.528	-765	-2.697	-4.690	-6.816
450 ppm Szenario		-840	-3.416	-5.557	-6.488	-727	-2.410	-3.902	-5.293

Tabelle 10: Zusammenfassung der Investitionsimpulse im Szenario EnEff und EE-Wärme sowie der veränderten Energieimporte jeweils im Vergleich zum Referenzszenario in Mio. Euro₂₀₁₅.

Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

6 Makroökonomische Effekte

Nachfolgend werden ausgewählte Aspekte der makroökonomischen Berechnungen erläutert. Im Tabellenanhang (Abschnitt 13) finden sich detaillierte Ergebnistabellen.

6.1 Effekte auf die Gesamtwirtschaft

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, erfährt das Bruttoinlandsprodukt durch die Mehrinvestitionen, den Mehrkonsum sowie die Minderimporte einen positiven Impuls – zum einen aufgrund des unmittelbaren Nachfrageeffektes und zum anderen durch den positiven Einfluss der Mehrinvestitionen auf das Potenzialoutput. Vergleicht man die für den Zeitraum 2015 bis 2050 kumulierten Werte für die drei Impulse mit den kumulierten Abweichungen beim Bruttoinlandsprodukt (gegenüber dem Referenzszenario), so liegt dieser „Multiplikator“ bei Werten zwischen 3,5 und 3,7 (vgl. Tabelle 11). Der Multiplikator fällt für das Szenario EE-Wärme geringfügig höher aus, weil hier der Anteil der Ausrüstungsinvestitionen am Gesamtimpuls wesentlich höher ist als der der Bauinvestitionen und erstere eine stärkere Wirkung auf das Potenzialoutput aufweisen.

	Eingangsgrößen / Impulse				Ergebnisse	
	Investitionen	Privater Konsum	Import	Gesamtimpuls	BIP	Impuls / BIP ²
Szenario EnEff	373	84	-167	624	2.195	3,5
Szenario EE-Wärme	208	79	-108	395	1.444	3,7

Tabelle 11: Impulse und Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt, kumuliert, in Mrd. Euro, 2015-2050.

Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)

Die folgende Abbildung 4 illustriert die Effekte auf die Verwendungskomponenten des Bruttoinlandsproduktes für die beiden Zielszenarien im Vergleich zum Referenzszenario (Erläuterung der Szenarien siehe Kapitel 2). Unmittelbar gesteigert werden in beiden Fällen hier die Bruttoanlageinvestitionen (im Modell differenziert nach Ausrüstungen, Wohnbauten und Nicht-Wohnbauten) sowie der private Konsum, während der relative Importbedarf des privaten Konsums reduziert wird. Im Szenario EnEff liegen die Investitionen nach dem Hochlaufen ab 2025 recht konstant 5 % über der Referenz. Im Szenario EE-Wärme liegen die Investitionen ebenfalls konstant 3 % höher. Die Importe insgesamt bestimmen sich im Modell über mit den übrigen Verwendungskomponenten verknüpften Importquoten, welche im Zeitverlauf leicht zunehmen. Erhöhen sich nun aufgrund des positiven Nachfrageschocks die Verwendungskomponenten, so hätte dies ceteris paribus einen proportionalen Anstieg des Importbe-

² Der Gesamtimpuls berechnet sich als Summe der kumulierten Abweichungen der Mehrinvestitionen, des Mehrkonsums und der Minderimporte (mal -1) gegenüber den entsprechenden Werten des Referenzszenarios. Die kumulierten Abweichungen beim Bruttoinlandsprodukt gegenüber dem Referenzszenario werden für die Bestimmung des „Multiplikators“ diesem Gesamtimpuls gegenübergestellt.

darfs zur Folge. Da jedoch die Importquote des privaten Konsums wie beschrieben aufgrund der geringeren Nachfrage nach Energie gedämpft wird, gehen die zuerst deutlich positiven Abweichungen bei den Importen insgesamt im Zeitverlauf wieder leicht zurück. Die Bilanz zwischen Import und Export fällt in beiden Szenarien positiv aus. Die Importe steigen stärker als die Exporte. Im Jahr 2050 liegen die zusätzlichen Importe im Szenario EnEff um 27 Mrd. über den zusätzlichen Exporten; im Szenario EE-Wärme liegt dieser Wert bei 17 Mrd. Euro.

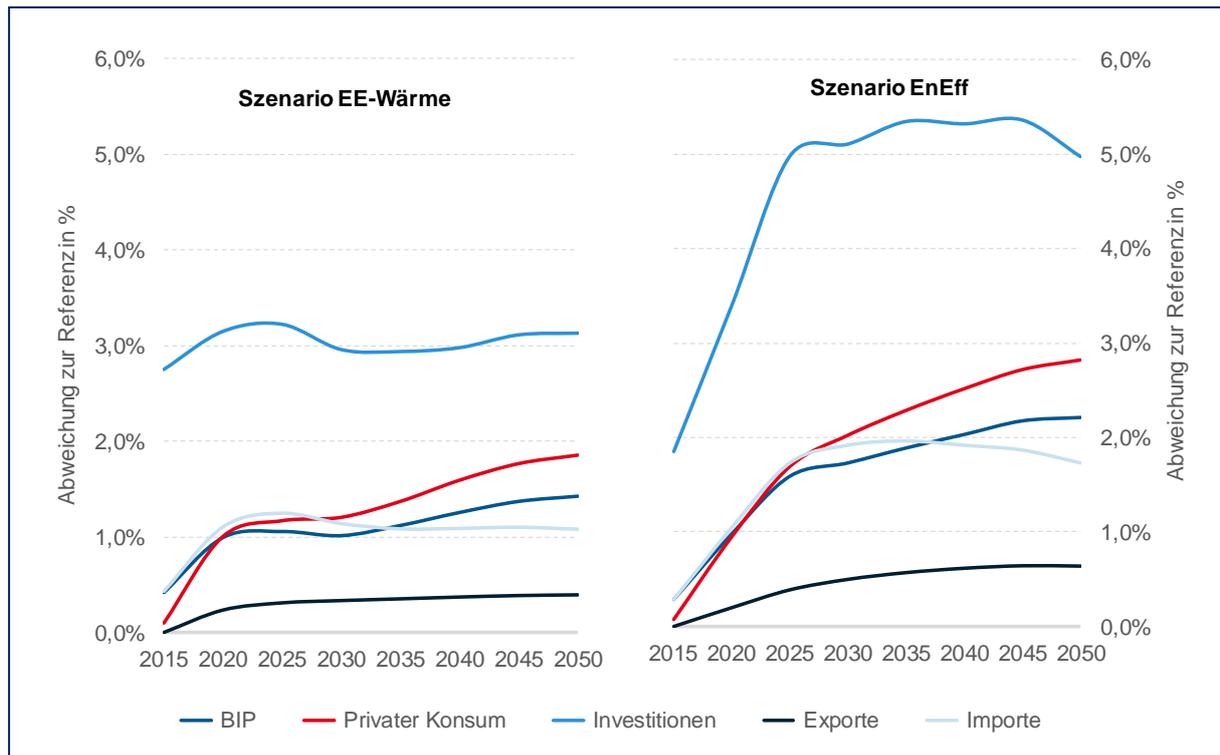


Abbildung 4: Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt und Verwendungskomponenten der Zielszenarien im Vergleich zum Referenzszenario, 2015 bis 2050. Quelle: Berechnungen Prognos AG

Die Abweichung beim Bruttoinlandsprodukt steigt bis 2050 kontinuierlich an und liegt dann bei 2,2 % beim Szenario EnEff und 1,4 % im Szenario EE-Wärme. Der Private Konsum und die Investitionen liegen mit ihren jeweiligen Abweichungen über dem gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt, während die energiewirtschaftlichen Maßnahmen keine direkten Effekte auf die Exporte haben und diese nur aufgrund der leicht verbesserten preislichen Wettbewerbsfähigkeit sowie des gestiegenen gesamtwirtschaftlichen Wachstumspotenzials geringfügig über dem Referenzniveau liegen.

Die energiewirtschaftlichen Maßnahmen wirken sich in vielerlei Hinsicht auf die Gesamtwirtschaft aus. Das höhere Arbeitsvolumen schlägt sich in einer gestiegenen Erwerbstätigenzahl und vor allem in einer höheren durchschnittlichen Jahresarbeitszeit nieder. Dies wird primär durch eine Verringerung des Anteils der Teilzeitstellen realisiert. In Summe entspricht das zusätzliche Arbeitsvolumen im Szenario EnEff einem Umfang von etwa 400 Tsd. Beschäftigten und im Szenario EE-Wärme etwa 250 Tsd. Beschäftigte (Abbildung 5). Die spiegelt sich auch im Konsum der privaten Haushalte wieder, der im Jahr

2050 im Szenario EnEff um 64 Mrd. Euro und im Szenario EE-Wärme um 42 Mrd. Euro über dem Referenzszenario liegt. Angesichts des bereits im Referenzszenario knappen Arbeitsangebotes und der erhöhten Auslastung der Produktionsfaktoren in den Abweichungsszenarien liegt in diesen die Lohn- und Preisdynamik über dem Referenzniveau: die durchschnittliche Wachstumsrate fällt hier 0,05 bzw. 0,02 Prozentpunkte höher aus. Mehr Einkommen auf Seiten der privaten Haushalte und der Unternehmen, die höhere Preisdynamik sowie eine nochmals geringere Arbeitslosigkeit erleichtern die Rückführung der Schuldenstandsquote des Staates. Die Mehreinnahmen des Staates wachsen real bis zum Jahr 2050 auf 40 Mrd. Euro /a im Szenario EnEff und 26 Mrd. Euro/a im Szenario EE-Wärme auf.

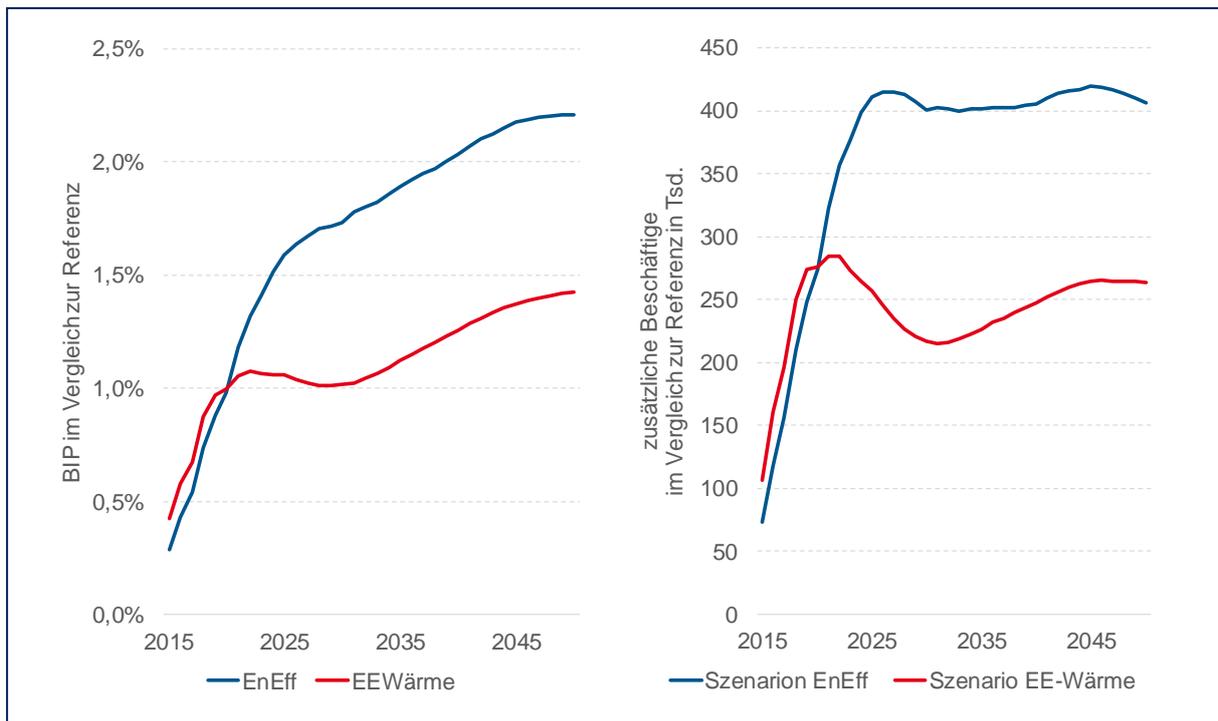


Abbildung 5: Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigte der Zielszenarien im Vergleich zum Referenzszenario, 2015 bis 2050. Quelle: Berechnungen Prognos AG

6.2 Verteilung der Effekte auf die Branchen

Der Investitions-, Konsum- und Importimpuls führen zu abweichenden Entwicklungen auf Seiten der Verwendungskomponenten, welche wiederum auf Produktion und Wertschöpfung der Wirtschaftsbereiche zurückwirken. Von den Impulsen profitieren primär diejenigen Branchen, welche vorrangig die inländischen Investitionen sowie den privaten Konsum in Deutschland beliefern. Besonders exportorientierte Branchen erfahren hingegen nur einen unterdurchschnittlichen Impuls, da die energiepolitischen Maßnahmen sich kaum auf die deutschen Exporte auswirken.³ Es sind entsprechend insbesondere das Baugewerbe sowie die konsumnahen Dienstleistungen, welche überdurchschnittlich höhere

³ Der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes von 2012 zufolge liefert beispielsweise der deutsche Maschinenbau ca. 16 % seiner Produktion in die Ausrüstungsinvestitionen, und mehr als 60 % gehen in den Export. Der Maschinenbau profitiert daher nur unterdurchschnittlich von den hier dargestellten energiepolitischen Maßnahmen.

Wachstumsraten in den Abweichungsszenarien aufweisen. Die Wertschöpfung der Industrie liegt im Szenario EnEff 9 Mrd. Euro über der Referenz (Dienstleistungen: 80 Mrd. Euro), während es im Szenario EE-Wärme 6 Mrd. Euro sind (Dienstleistungen: 51 Mrd. Euro). Die Beschäftigungsgewinne verhalten sich näherungsweise proportional zu den Abweichungen bei der Wertschöpfung: im Szenario EnEff sind beispielsweise im Jahre 2050 knapp 8 Tsd. Personen mehr im Verarbeitenden Gewerbe beschäftigt als in der Referenz (Dienstleistungen: 102 Tsd. Personen), während der entsprechend Wert im Szenario EE-Wärme 6 Tsd. Personen beträgt (Dienstleistungen: 71 Tsd. Personen).

6.3 Sensitivität der Effekte auf Energiepreisschwankungen

Um die Stabilität und mögliche Unsicherheiten der volkswirtschaftlichen Berechnungsergebnisse überprüfen und einordnen zu können, wurden die Berechnungen für einen zweiten Energiepreispfad durchgeführt. Hierfür wurde der in Kapitel 5.6 beschriebene Energiepreispfad genutzt. Dieser orientiert sich am 450 ppm Szenario des aktuellen World Energy Outlook der IEA und führt zu einem deutlich niedrigeren Energiepreisniveau als der der Energierferenzprognose des BMWi und der ESG zugrundeliegende Preisfad (WEO: New Policies Scenario).

Trotz niedriger Energiepreise und deutlich veränderter Energieimporte (Mrd. Euro) bleiben die Ergebnisse und Kernaussagen der makroökonomischen Berechnungen stabil.

Fazit

Die energiewirtschaftlichen Maßnahmen weisen vergleichsweise große Multiplikatorwirkungen für die Gesamtwirtschaft auf (3,5 im Szenario EnEff bis 3,7 im Szenario EE-Wärme), da sie auf verschiedene Weise positiv auf diese einwirken: Mehrinvestitionen haben einen unmittelbaren Nachfrageeffekt und erhöhen mittelbar das Produktionspotenzial. Die privaten Haushalte können ihre Ausgaben für Energie reduzieren und haben trotz der auf sie umgelegten Investitionskosten zusätzliches Budget für den Konsum übrig. Im Szenario EnEff steigt das BIP sichtbar stärker als im Szenario EE-Wärme.

Weiterhin werden mit 400 Tsd. deutlich mehr Beschäftigte im Szenario EnEff gesichert als im Szenario EE-Wärme (250 Tsd.). Der Konsum der privaten Haushalte liegt im 2050 im Szenario EnEff um 64 Mrd. Euro und im Szenario EE-Wärme um 42 Mrd. Euro über dem Referenzszenario. Die Einnahmen des Staates steigen in beiden Szenarien an. Sie wachsen real bis zum Jahr 2050 auf 40 Mrd. Euro/a im Szenario EnEff und 26 Mrd. Euro/a im Szenario EE-Wärme auf.

Von den Investitionen profitieren insbesondere das Baugewerbe und das Handwerk sowie die konsumnahen Dienstleistungen und befördern damit die inländische Wertschöpfung. Der Fachkräftebedarf steigt in diesem Branchen am stärksten an. Da die Energieträger eine deutlich überdurchschnittliche Importquote aufweisen, kann die durchschnittliche Importquote des privaten Konsums insgesamt reduziert werden, was wiederum positive Rückkopplungen für die Gesamtwirtschaft mit sich bringt.

Die Sensitivitätsrechnung mit einem niedrigen Energiepreispfad (in Anlehnung an das 450 ppm Szenario des WEO) zeigt, dass die Ergebnisse auch bei niedrigen Preisen fossiler Energieträger stabil sind.

7 Qualitative Einordnungen zum Gesamtenergiesystem

7.1 Einsatz von Biomasse in Gebäuden, Industrie und Verkehr

Wie schon im Hintergrundpapier zur ESG (Prognos/IWU/ifeu 2016) konstatiert, sind die Potenziale der Wärme aus erneuerbaren Energien für den Gebäudebereich begrenzt. Diese Begrenzung führt dazu, dass der Anteil nicht erneuerbarer Energien am Energieträgermix nicht beliebig weit reduziert werden kann. Je höher der verbleibende Endenergieverbrauch ist, desto mehr fossile Energien oder alternative erneuerbare Energien werden zur Deckung der Nachfrage benötigt. Vor diesem Problem stehen alle Verbrauchssektoren und auch der Umwandlungssektor.

Für die Biomasse ist die Bandbreite der Annahmen zum verfügbaren, energetisch nutzbaren Potenzial wie auch die Verteilung dieses Potenzials auf die Sektoren sehr breit. Das verfügbare Potenzial speist sich aus drei Bereichen:

- Das lokale Potenzial von Rest- und Abfallstoffen zur energetischen Nutzung in Deutschland wird mit 700 bis 1.000 PJ/a abgeschätzt (Borowski et. al. 2015).
- Schätzungen zum Flächenpotenzial für Anbaubiomasse gehen weit auseinander. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR 2016) geht davon aus, dass der Energiepflanzenanbau in Deutschland 2050 unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Restriktionen auf bis zu 4 Millionen Hektar mit einem Beitrag von bis zu 740 PJ machbar ist.
- Neben den lokalen Potenzialen ist zusätzlich der Import von Bioenergieträgern möglich.

Der Ansatz eines globalen Pro-Kopf-Bioenergiebudgets (Prognos et al. 2009 und Öko-Institut et al. 2014) basiert auf der Annahme, dass das weltweite Biomassepotenzial gemäß der bis zum Jahr 2050 zu erwartenden Bevölkerungsentwicklung gleichmäßig pro Kopf verteilt wird. Bei einem globalen Biomassepotenzial von 100 bis 300 EJ/a (IPCC 2011) und einer Weltbevölkerung von knapp 9,725 Mrd. Menschen (UN 2015) sowie etwa 75 Mio. in Deutschland lebenden Menschen resultiert eine Potenzialschwankweite von 770 bis 2.310 PJ/a im Jahr 2050. In der ersten Modellierungsrunde der Klimaschutzszenarien (Öko-Institut et. al. 2014) und der ERP (Prognos/EWI/GWS 2014) wurde das Biomassepotenzial auf 2.100 PJ festgelegt. Dieser Ansatz berücksichtigt aber nicht den Flächenfußabdruck Deutschlands in anderen Ländern (z.B. für Futtermittelimporte) und kann daher allenfalls als obere Abschätzung gesehen werden.

In der Konsequenz wurde für aktuelle Langfristszenarien (z.B. Öko-Institut et al. 2015, FhG ISI et. al. 2016) die obere Grenze des für energetische Zwecke einsetzbaren Biomassepotenzials auf 1.200 PJ/a begrenzt. Vor der Setzung dieser unteren Potenzialgrenze wurde das zuvor als verfügbar geltende Potenzial von 2.100 PJ in den Szenarien weitgehend ausgenutzt. Abbildung 2 zeigt den Einsatz von Biomasse für das Jahr 2050 in aktuellen Langfristszenarien und die Konsequenz aus der Begrenzung des Biomassepotenzials.

Während der Umwandlungsbereich und der industrielle Sektor in Summe auf ähnlichem Niveau verharren, wird der Einsatz von Biomasse in den Sektoren Verkehr, GHD und PHH deutlich zurückgenommen. Zu erklären ist dies mit dem Umstand, dass in einigen Anwendungsbereichen Brennstoffe nur schwer oder gar nicht ersetzt werden können. Dies betrifft den Sektor Industrie, Teilbereiche des Verkehrssektors sowie des Umwandlungssektors.

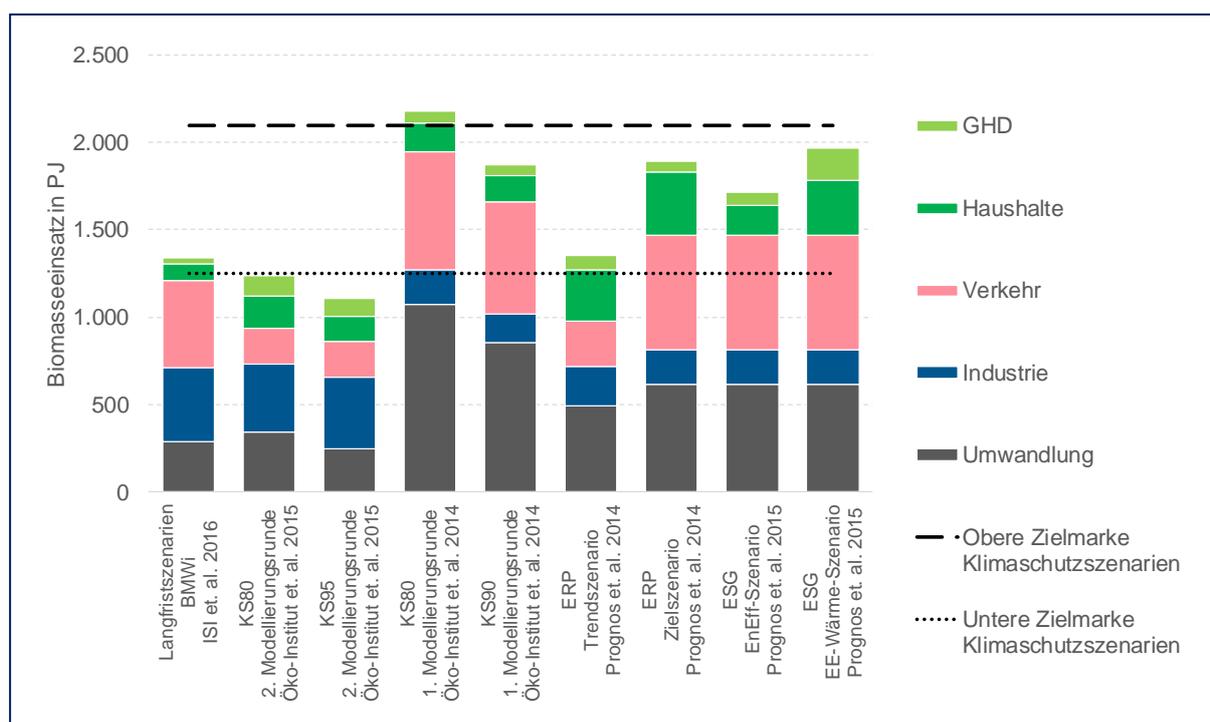


Abbildung 6: Sektorale Zuordnung von Biomassepotenzialen in aktuellen Szenarien zum gesamten Energiesystem im Jahr 2050 in PJ⁴. Quelle: Prognos AG (2017)

Verkehr

Die Elektromobilität gilt als das Kernelement der Verkehrswende im gesamten Personenverkehr sowie in Teilen des Güterverkehrs. Die direkte Nutzung von Strom stellt dabei die energieeffizienteste, ökologischste und meist auch ökonomischste Variante dar (agora Verkehrswende 2016).

Es gibt allerdings Teilbereiche des Verkehrssektors, in denen aus heutiger Perspektive auch langfristig keine Elektroantriebe einsetzbar sein werden. So liegen für den Flugverkehr sowie die Seeschifffahrt bislang keine tragfähigen Konzepte ohne Einsatz von flüssigen Brennstoffen vor. Hier werden Biokraftstoffe der 2. Generation aus Restholz und -stroh aber auch stromgenerierte Kraftstoffe wie PtG-Methan und PtL eine wichtige Rolle spielen. Biokraftstoffe der 2. Generation sind schon heute verfügbar, jedoch stehen nur begrenzte Mengenpotenzial zur Verfügung. Stromgenerierte Kraftstoffe benötigen große Mengen erneuerbaren Strom, um tatsächlich THG-Emissionen zu reduzieren (INFRAS et. al. 2015).

⁴ Hinweis: Die industrielle Stromerzeugung wird teils dem Umwandlungssektor und teils dem Industriesektor zugeordnet.

Industrie

Der Endenergieverbrauch für die Wärmebereitstellung im Industriesektor schwankte im Zeitraum 2005 bis 2014 zwischen 490 und 540 TWh/a. Ein gutes Drittel des EEV wird für Prozesstemperaturen oberhalb von 1.000 °C eingesetzt. Weitere 20 % im Temperaturbereich von 500 bis 1.000 °C und etwa 25 % im Bereich zwischen 100 und 500 °C. Auf den Temperaturbereich unter 100 °C entfallen etwa 20 % des EEV (Prognos et. al. 2016).

Aktuelle Zielszenarien, die eine THG-Reduktion von 80 % ggü. 1990 erreichen, gehen von einer Reduktion des EEV im Industriesektor von 27 bis 34 % aus (Öko-Institut et. al. 2015, Prognos et. al. 2014). Um eine 80%ige Reduktion des Primärenergieeinsatzes zu erreichen, muss der Industriesektor daher stark auf erneuerbare Energieträger setzen. Deren Einsatzmöglichkeiten sind jedoch insbesondere bei hohen Prozesstemperaturen begrenzt. Dies betrifft die Geothermie, nicht-konzentrierende Solarthermie sowie Wärmepumpen (Naegler 2016). Aufgrund der niedrigen Schmelztemperatur der Aschen eignen sich feste Biomassen für den Temperaturbereich bis etwa 1.000 °C (Kaltschmitt et. al. 2016), auf den mit 350 TWh/a etwa 60 % des aktuellen Endenergieverbrauchs für die Wärmebereitstellung des Sektors Industrie entfällt (Prognos et. al. 2016). Für Temperaturen oberhalb von 1.000 °C stehen aus heutiger Perspektive vorwiegend Strom, synthetische Gase (Elektrolyse von Wasserstoff und ggf. Methanisierung) sowie aufbereitetes Biogas zur Verfügung. Strom für die direkte Nutzung und für die Elektrolyse muss aus erneuerbaren Quellen stammen.

Die Biomasse stellt damit für die Industrie im Temperaturbereich oberhalb von 100 °C eine zentrale und kaum substituierbare Option zum Erreichen der Klimaschutzziele dar.

Umwandlungssektor

Die langfristige Bedeutung der Biomasse für den Umwandlungssektor ist nicht eindeutig geklärt. Jedoch sehen alle aktuellen Langfristszenarien den Einsatz von Biomasse für die Stromerzeugung im öffentlichen und im industriellen Bereich und für die Fernwärmerzeugung vor. Biomasse ist ein speicherbarer erneuerbarer Energieträger und kann damit im Stromsystem und in der Fernwärme helfen, die fluktuierenden erneuerbaren Energien besser zu integrieren.

Fazit

Der Umfang des zur energetischen Nutzung verfügbaren Biomassepotenzials ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Mit Blick auf das Gesamtsystem muss Biomasse daher mit Bedacht eingeplant / eingesetzt werden.

Dort, wo Brennstoffe durch andere Optionen substituiert werden können (z.B. durch Wärmepumpen, Solarthermie, EE-Wärmenetze, Abwärme), sollte auf den Einsatz von Biomasse verzichtet werden. Eine starke Nutzung von Biomasse in Gebäuden kann aufgrund der Knappheit von Biomasse zu hohen Preisrisiken sowohl für Nutzer/-innen von Gebäuden als auch für die Bereiche Mobilität, Industrie und Stromerzeugung führen.

7.2 Elektromobilität und Wärmepumpen

Die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele ist überall dort, wo Brennstoffe substituiert werden können, durch den Wechsel von fossilen Brennstoffen hin zu strombasierten Technologien geprägt. Auf der Ebene der Haushalte betrifft dieses zum einen die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser mittels Wärmepumpen sowie den Umstieg auf Elektromobilität. Beide werden den Strom- und den Leistungsbedarf der privaten Haushalte signifikant steigern. Dem stehen Stromeinsparungen durch zunehmend energieeffizientere Haushaltsgeräte gegenüber; im Zielszenario der Energierferenzprognose des BMWi sinkt der EEV Strom (ohne Raumwärme und Warmwasserbereitung) in Haushalten um etwa 40 % ggü. dem Jahr 2011 (Prognos et. al. 2014).

Die nachfolgende qualitative Einordnung gibt einen Überblick über das Zusammenwirken der ESG-Szenarien mit dem Transportsektor zu diesen Aspekten auf der Ebene einzelner Haushalte:

- Vergleich der Strommengen, die für Wärme und Mobilität benötigt werden
- Vergleich der für Wärme und Mobilität benötigten elektrischen Leistung
- Lastverschiebepotenzial

Hierfür werden die in Tabelle 12 dargestellten Fallkonstellationen genutzt. Die Fahrleistung orientiert sich an den Angaben des Kraftfahrtbundesamtes. Demnach liegt die Jahresfahrleistung eines durchschnittlichen PKW in Deutschland bei 14.000 km, was 40 km / Tag entspricht. Der spezifische Stromverbrauch je 100 km orientiert sich nicht an Normverbräuchen der Hersteller, sondern an Messungen an realen Touren (Heise 2016). Die Größe der Ladestationen richtet sich nach marktverfügbaren Anlagen. Sie wurde darauf ausgelegt, den Tagesbedarf des E-PKW innerhalb von zwei Stunden decken zu können.

	Durchschnitt	Hoher Verbrauch	Niedriger Verbrauch
Elektromobilität	Mittelklassewagen ■ 40 km / Tag ⁵ ■ 20 kWh / 100km ■ 10 KW Ladestation	Mittelklassewagen ■ 80 km / Tag ■ 25 kWh / 100km ■ 22 KW Ladestation	Kleinwagen ■ 20 km / Tag ■ 15 kWh / 100km ■ 4 KW Ladestation
Wärmepumpe	durchschnittlicher Haushalt ⁶ ■ 80 m ² WFl. ■ 170 kWh/m ² /a ■ JAZ: 2,3 ■ 2 Personen	EFH Neubau, groß ■ 160 m ² WFl. ■ 60 kWh/m ² /a ■ JAZ: 3,5 ■ 4 Personen	Wohnung MFH saniert ■ 60 m ² WFl. ■ 90 kWh/m ² /a ■ JAZ: 3,0 ■ 2 Personen

Tabelle 12: Beschreibung der Fallkonstellationen. Quelle: Prognos AG (2017)

⁵ Entspricht einer jährlichen Fahrleistung von 14.000 km / PKW und damit der mittleren Jahresleistung eines PKW in Deutschland nach KBA 2016

⁶ Werte nach StBA 2016 und eigenen Berechnungen

Für die Wärmepumpen wurden ebenfalls drei Fallkonstellationen gewählt, wobei die durchschnittliche Wohneinheit mit einem jährlichen Wärmeverbrauch von 170 kWh/m²/a für monovalente Wärmepumpen nicht gut geeignet ist. Aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen wurde eine JAZ von 2,3 für den jährlichen Strombedarf und ein COP von 1,5 zur Leistungsabschätzung bei sehr niedrigen Temperaturen angesetzt (Schmidt 2017).

Tabelle 13 stellt den jährlichen Strombedarf sowie den Leistungsbedarf und eine qualitative Einordnung zum Lastverschiebepotenzial für Elektromobilität und Wärmepumpen zusammen und vergleicht diese mit den Werten für den aktuellen Haushaltsstromverbrauch.

	Strommenge	Leistungsbedarf	Lastverschiebung
	MWh / Haushalt / a	kW / Haushalt	-
Elektromobilität	0,5 bis 4 MWh	4 bis 22 kW	Gut, da Tagesbedarf in 2 Stunden gedeckt werden kann. Öffentliche Ladestationen an Parkplätzen erhöhen Flexibilität.
Wärmepumpe	2 bis 6 MWh	2 bis 10 kW	Im Sommer und Übergangszeiten gut. An sehr kalten Tagen jedoch nahezu keine Lastverschiebung möglich.
Haushaltsstrom	1 bis 5 MWh	15 kW / 35 kW ⁷	Nur begrenzt bei einzelnen Anwendungen (Kühlschrank, Spülmaschine).

Tabelle 13: Strom- und Leistungsbedarf je Haushalt für Wärmepumpen und Elektromobilität sowie qualitative Bewertung von Lastverschiebemöglichkeiten im Vergleich zum Haushaltsstromverbrauch.

Quelle: Prognos AG (2017)

Für den Stromverbrauch zeigt sich, dass Wärmepumpen und Elektromobilität jeweils etwa auf dem Niveau des heute üblichen Haushaltsstromverbrauchs liegen. Für einen Haushalt, der komplett auf Wärmepumpe und Elektromobilität umsteigt, verdreifacht sich der Strombedarf damit etwa – gleichzeitig werden entsprechende Mengen fossiler Brennstoffe eingespart.

Die Elektromobilität kann zu einem deutlich erhöhten Leistungsbedarf einzelner Haushalte von bis zu 22 kW führen. Dies liegt etwa in der Größenordnung, die laut DIN 18015-1 für Hausanschlüsse mit elektrischer Warmwasserbereitung zusätzlich vorzusehen ist. Die Wärmepumpe führt an dieser Stelle streng genommen zu einer Reduktion des Leistungsbedarfs, wenn sie eine direktelektrische Warmwasserbereitung ersetzt. Stellt ein Haushalt aber vollständig auf Wärmepumpe und E-PKW um, so dürfte die Anschlussleistung von 35 kW, die nach DIN 18015-1 für Hausanschlüsse mit elektrischer Warmwasserbereitung vorgesehen ist, nicht mehr ausreichen. Die Einführung eines Lastmanagements (Koordinierung des Betriebs von Wärmepumpen, Ladestationen und Haushaltsstrom) auf Haushaltsebene dürfte aber Anzahl und Stärke von Lastspitzen gering halten.

⁷ ohne / mit elektrischer Warmwasserbereitung, in Anlehnung an DIN 18015-1

Ein Pluspunkt der Elektromobilität im Vergleich zur Wärmepumpe ist die Flexibilität der Stromnachfrage. Durch die hohen Leistungen der Ladestationen reichen zwei Ladestunden aus, um den Tagesbedarf eines E-PKW vollständig zu decken. Stehen neben der privaten Ladestation zusätzlich öffentliche Ladestationen an Parkplätzen oder am Arbeitsplatz zur Verfügung, wirkt sich dies zusätzlich positiv auf die Möglichkeiten zur Lastverschiebung aus, da das Laden zeitlich nicht mehr an die eigene Ladestation gebunden ist. Wärmepumpen sind in Kombination mit einem Wärmespeicher grundsätzlich ebenfalls flexibel einsetzbar. Allerdings müssen Wärmepumpen an besonders kalten Tagen nahezu dauerhaft laufen, um die benötigte Raumwärme zur Verfügung zu stellen.

Fazit

Die Umstellung auf Wärmepumpen und Elektromobilität wird den Stromverbrauch der betreffenden Haushalte signifikant steigern und Einsparungen durch Effizienztechnologien beim Haushaltsstrom mindestens ausgleichen. Weiterhin ist mit leicht höheren vorzuhaltenden Anschlussleistungen dieser Haushalte zu rechnen, selbst wenn Lastmanagement für Haushalte eingeführt wird.

7.3 Robustheit der Szenarien

Bereits im Hintergrundpapier zur ESG wurde eine erste Einordnung der Zielszenarien vorgenommen. Das Konsortium kam seinerzeit zu der Schlussfolgerung, dass sich die beiden Zielszenarien deutlich im Charakter unterscheiden. Zur Umsetzung des Energieeffizienz-Szenarios (mit den besonders gut gedämmten Gebäuden) sind zwar höhere Investitionen notwendig, die Robustheit dieses Szenarios ist aus folgenden Gründen dem EE-Wärme-Szenario gegenüber deutlich überlegen:

- Werden die im EE-Wärme-Szenario anzustrebenden Mindest-Effizienzziele verfehlt, ist eine Zielerreichung nicht mehr, bzw. nur mit hohem finanziellen Aufwand und mit Belastungen anderer Sektoren möglich. Ein Nachsteuern durch den Einsatz zusätzlicher erneuerbarer Energie ist aus heutiger Sicht kaum möglich, da die nachhaltig und realistisch verfügbaren EE-Wärme-Potenziale bereits ausgeschöpft sind. Dies führt zu hohen Preisrisiken auf den Märkten insbesondere für Bioenergieträger.
- Weiterhin besteht für das EE-Wärme-Szenario das Risiko, dass Wärmepumpen bei geringer Wärmedämmung nicht mehr effizient eingesetzt werden können, mit geringen Jahresarbeitszahlen operieren und dadurch Stromverbrauch sowie winterliche Lastspitzen und damit die Anforderungen an den Umwandlungssektor spürbar erhöhen.
- Die ambitionierten Effizienzmaßnahmen im EnEff-Szenario verringern den Energieverbrauch erheblich und entlasten dadurch das Gesamtenergiesystem. Die Nachfrage nach Biomasse bleibt – auch bei einer unteren Zielmarke der Klimaschutzszenarien – für das energetisch nutzbare Biomassepotenzial von 1.250 PJ in einem vertretbaren Maß. Das Szenario erhöht damit auch die Versorgungssicherheit für andere Sektoren.
- Eine hohe Energieeffizienz reduziert darüber hinaus die Pfadabhängigkeit von anderen Entwicklungen und erhöht damit die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung. Die effizienteren Gebäude sind eher „immun“ gegen ein Scheitern der Dekarbonisierungs-Strategie bei Strom und Fernwärme.

Selbst bei moderatem Verfehlen der Effizienzziele, kann im EnEff-Szenario mit zusätzlichen Maßnahmen im Umwandlungssektor gegengesteuert werden.

- Werden hohe THG-Minderungen von bis zu minus 95 % angestrebt, so hat das Szenario EnEff deutliche Vorteile gegenüber dem Szenario EE-Wärme, da zusätzliche THG-Minderungen durch eine stärkere Ausschöpfung der EE-Wärmepotenziale vergleichsweise leicht realisierbar sind. Das Szenario EE-Wärme hingegen schöpft schon bei einer 80%igen THG-Reduktion die als verfügbaren geltenden EE-Wärme-Potenziale komplett aus. Eine nachträgliche Erhöhung der Energieeffizienz durch eine zweite energetische Sanierung vor 2050 scheidet aufgrund der üblichen Sanierungszyklen im Gebäudebestand (30 bis 50 Jahre) als Option aus. Insofern bliebe nur der – mutmaßlich ebenfalls sehr kostenintensive Weg – die THG-Emissionen durch zusätzliche erneuerbare Energien zu senken. Hierfür müssten Optionen für den Wärmemarkt gezogen werden, die in gängigen Gutachten aus Kostengründen nicht zum Zuge kommen, wie:
 - Eine hohe Anzahl von Wärmepumpen in Gebäuden, die hierfür eigentlich nicht gut genug gedämmt sind – dies führt infolge von niedrigen Jahresarbeitszahlen zu einem hohen Stromverbrauch und hohen technischen Anforderungen an die EE-Stromerzeugung durch hohe Stromlastspitzen in Kaltwettersituationen.
 - Massive Bioenergieimporte, die zu einer deutlichen Überschreitung des globalen Pro-Kopf-Bioenergiebudgets führen dürften.
 - Große Mengen synthetischer Brennstoffe, für die große Mengen an zusätzlichen EE-Strom erzeugt werden oder weitere Biomassen importiert werden müssten.

Die Tatsache, dass ein hohes Maß an Energieeffizienz die Robustheit von Szenarien gegenüber Störeinflüssen steigert, wird durch diverse aktuelle Gutachten bestätigt (z.B.: Fraunhofer IWES/IBP 2017, Öko-Institut et al. 2015, FhG ISI et. al. 2016).

Fazit

Das EnEff-Szenario weist gegenüber dem EE-Wärme-Szenario deutliche Vorteile hinsichtlich Robustheit gegenüber Störeinflüssen auf. Aufgrund der vollständigen Ausschöpfung der nachhaltig verfügbaren EE-Wärme-Potenziale ist das EE-Wärme-Szenario für hohe THG-Minderungen im Bereich von 95 % nicht geeignet.

8 Weitere Verteilungsaspekte

8.1 Effekte auf Wohnkosten für Mieter und selbst genutztes Wohneigentum

Mit der Begleitforschung wurden anhand eines Mikrosimulationsmodells bereits Berechnungen zum Einfluss der Szenarien auf die Kosten des Wohnens, die sich aus den Kosten der Bereitstellung von Wohnraum (Unterkunftskosten) und den Wärmenutzungskosten zusammensetzen, erstellt (Prognos/IWU/ifeu 2016). Demnach lagen die gesamten Kosten des Wohnens in Deutschland im Jahr 2008 bei etwa 230 Mrd. Euro/a. Die Berechnungen zeigten, dass in allen Szenarien mit steigenden Kosten des Wohnens zu rechnen ist, wobei der Anstieg im Szenario EE-Wärme, trotz nachfragebedingt höherer Biomassepreise, am geringsten ausfiel.

Im EE-Wärme-Szenario sind die Kosten des Wohnens im Jahr 2050 um 2,8 Mrd. Euro/a (-1,2 %) niedriger als im Referenzszenario, während sie im EnEff-Szenario um 14 Mrd. Euro/a (+5,9 %) darüberliegen (Tabelle 14). Dabei sind die Effekte im selbstgenutzten Wohneigentum etwas stärker ausgeprägt als bei den Mieterhaushalten. Dem stehen jedoch die positiven makroökonomischen Effekte gegenüber (vgl. Kapitel 6): der private Konsum erhöht sich im Jahr 2050 gegenüber dem Referenzszenario im Szenario EE-Wärme um 42 Mrd. Euro/a und im Szenario EnEff um 64 Mrd. Euro. Nach Abzug der zusätzlichen Aufwendungen für das Wohnen verbleiben somit 45 Mrd. Euro im Szenario EE-Wärme bzw. 50 Mrd. Euro im Szenario EnEff für zusätzlichen Konsum auf (Tabelle 14).

	EE-Wärme		EnEff	
	Mrd. Euro/a	Änderung ggü. Ref	Mrd. Euro/a	Änderung ggü. Ref
Kosten des Wohnens (Prognos/IWU/ifeu 2016)				
Mieter	- 1,7	- 1,3%	+ 5,9	+ 4,6%
Eigentümer	- 1,1	- 1,0%	+ 8,1	+ 7,4%
Gesamt	- 2,8	- 1,2%	+ 14,0	+ 5,9%
Zusätzlicher Konsum (Kapitel 6)	+ 42,0	+ 1,8%	+ 64,0	+ 2,8%
Zusätzlicher Konsum abzüglich Kosten des Wohnens	+ 44,8		+ 50,0	

Tabelle 14: Absolute und prozentuale Be- und Entlastung von Mieter- und Eigentümerhaushalten und zusätzlicher Konsum im Vergleich zum Referenzszenario.

Die Berechnungen zeigten weiterhin, dass die Unterschiede zwischen Haushalten im Niedrigeinkommens- und Transferbereich und allen anderen Haushalten kaum spürbar sind. Unter der Voraussetzung, dass die Angemessenheitsgrenzen und Höchstbeträge bei Transferleistungen (Wohngeld, Mindestsicherung) im Umfang des sanierungsbedingten Anstiegs der Unterkunftskosten angehoben werden, liegen die Transferleistungen im EE-Wärme-Szenario 0,7 % unter dem Referenzszenario; im EnEff-Szenario liegen sie 3,8 % höher.

8.2 Verteilung der Investitionen auf die Akteure des Wohnungsmarktes

Ein wesentlicher Treiber für die Kosten des Wohnens und gleichzeitig signifikantes Hemmnis sind die zur Umsetzung der Szenarien notwendigen Investitionen (Kapitel 5.1) von durchschnittlich zusätzlich 2,6 Mrd. Euro_{2015/a} im EE-Wärme-Szenario bzw. 6,4 Mrd. Euro_{2015/a} im Szenario EnEff.

Mit Blick auf die Anbieterstruktur im Deutschen Wohnungsmarkt (Zensus 2011) ergibt sich die in Abbildung 7 gezeigte Verteilung der Differenzinvestitionen auf die Akteure. Sie zeigt eindrücklich, dass in beiden Zielszenarien trotz unterschiedlicher Differenzinvestitionen etwa 90 % der zusätzlichen Investitionen durch private Haushalte (Selbstnutzer und private Vermieter) zu erbringen sind und nur etwa 10 % von Professionell-gewerblichen Anbietern (Genossenschaften, Kommunale WU, Öffentliche WU, Kirchliche Träger und Gewerbliche WU). Dies liegt zum einen daran, dass die privaten Selbstnutzer und privaten Vermieter etwa 80 % der Wohneinheiten in Deutschland besitzen, die zum überwiegenden Teil in Ein- und Zweifamilienhäusern liegen, die spezifisch höhere Investitionen aufweisen.

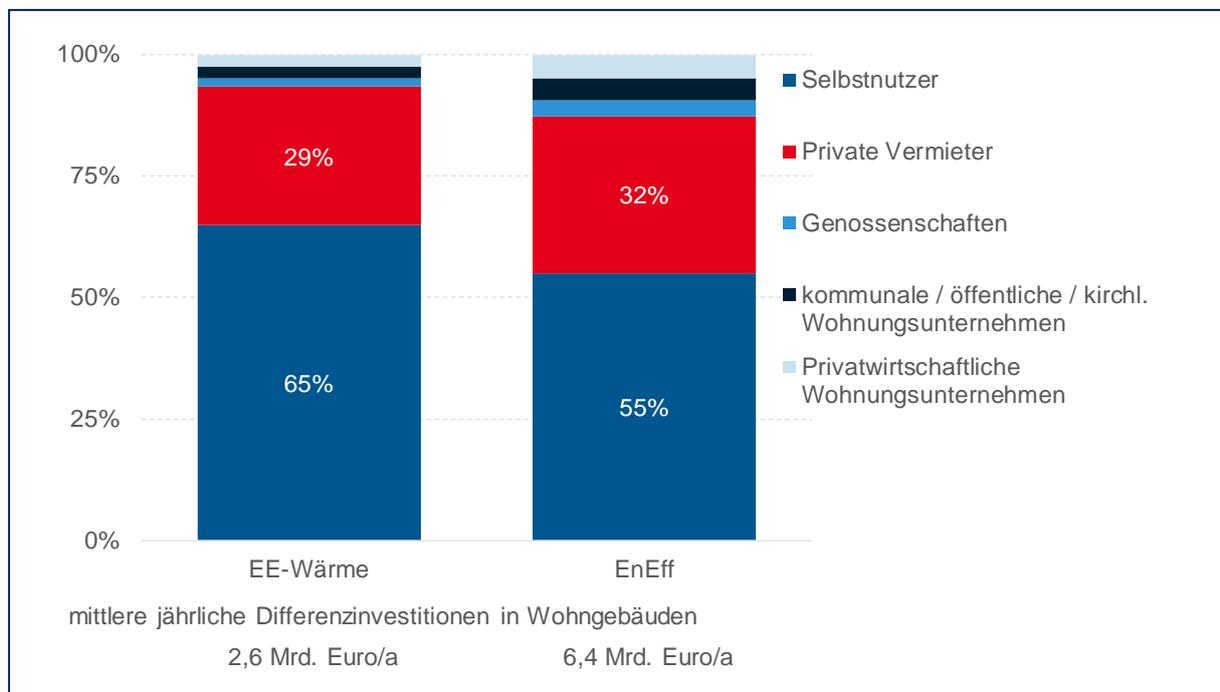


Abbildung 7: Verteilung der Differenzinvestitionen auf Akteure im Wohnungsmarkt.

Quelle: Prognos AG (2017)

Ein Schlüssel zur Umsetzung der Zielszenarien wird es also sein, diese Gruppe der privaten Haushalte zu aktivieren. Sie ist daher zurecht Ziel diverser Untersuchungen (z.B. ENEF Haus 2010) und steht im Fokus von Förderprogrammen zur energetischen Gebäudesanierung.

Mit Blick auf die bisherigen Fortschritte (BMW i 2016) wird deutlich, dass das bisherige Investitionsvolumen im Gebäudebestand nicht ausreichend ist, um die Energiewendeziele zu erreichen. Die Anreize zur Investition sollten – im Besonderen für die privaten Haushalte – verbessert werden. Die mit der Umsetzung der Szenarien verbundenen Mehreinnahmen des Staates (vgl. Abschnitt 6.2) ggü. der Referenz liegen deutlich über dem heutigen Volumen von Förderprogrammen zur energetischen Gebäudesanierung und bieten somit Spielraum für die Verbesserung der Anreizwirkungen.

Fazit

Die Umsetzung der Szenarien führt im Vergleich zur Referenzentwicklung zu höheren Investitionen und im Falle des EnEff-Szenarios auch zu leicht erhöhten Kosten des Wohnens. Dabei unterscheiden sich Eigentümerhaushalte und Mieterhaushalte nur geringfügig.

Die Mehrbelastungen im Bereich Wohnen fallen deutlich kleiner aus, als der durch die Umsetzung der Szenarien zusätzlich ermöglichte private Konsum, aus dem auch die Kosten des Wohnens gedeckt werden.

Die Investitionen in den Gebäudebestand sind zu etwa 90 % von den privaten Haushalten (Selbstnutzer und private Vermieter) zu erbringen. Ihre Aktivierung ist der zentrale Schlüssel zur Umsetzung der Zielszenarien.

9 Tabellenverzeichnis.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Investitionsimpulse im Szenario EnEff und EE-Wärme im Vergleich zum Referenzszenario. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017).....	6
Tabelle 2: Qualitative Einordnung der Szenarien der ESG im Vergleich zur Referenzentwicklung Quelle: Prognos AG (2017)	9
Tabelle 3: Energiebedingte Differenzinvestitionen in die Gebäudehülle der Zielszenarien zum Referenzszenario in Mio. € (netto). Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)	16
Tabelle 4: Differenzinvestitionen in Wärmeerzeuger der Zielszenarien zum Referenzszenario in Mio. € (netto). Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)	17
Tabelle 5: Differenzinvestitionen im Bereich GHD der Zielszenarien zum Referenzszenario in Mio. € (netto). Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)	17
Tabelle 6: Jährliche Differenzinvestitionen zwischen den Zielszenarien und dem Referenzszenario im Bereich der Stromerzeugung, in Mio. Euro. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)	18
Tabelle 7: Jährliche Differenzinvestitionen zwischen den Zielszenarien und dem Referenzszenario im Bereich der Fernwärmeversorgung, in Mio. Euro. Quelle: Berechnungen Prognos (2017).....	19
Tabelle 8: Reale Grenzübergangspreise, in EUR ₂₀₁₅ /GJ – Szenarien NEP und 450. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017)	22
Tabelle 9: Differenz der Energieimporte nach Szenarien, in Mio. EUR ₂₀₁₅ – Energiepreispfade Szenario New Policies und 450 ppm. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017).....	22
Tabelle 10: Zusammenfassung der Investitionsimpulse im Szenario EnEff und EE-Wärme sowie der veränderten Energieimporte jeweils im Vergleich zum Referenzszenario in Mio. Euro ₂₀₁₅ . Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017).....	23
Tabelle 11: Impulse und Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt, kumuliert, in Mrd. Euro, 2015-2050. Quelle: Berechnungen Prognos AG (2017).....	24
Tabelle 12: Beschreibung der Fallkonstellationen. Quelle: Prognos AG (2017)	31
Tabelle 13: Strom- und Leistungsbedarf je Haushalt für Wärmepumpen und Elektromobilität sowie qualitative Bewertung von Lastverschiebemöglichkeiten im Vergleich zum Haushaltsstromverbrauch. Quelle: Prognos AG (2017)	32
Tabelle 14: Absolute und prozentuale Be- und Entlastung von Mieter- und Eigentümerhaushalten und zusätzlicher Konsum im Vergleich zum Referenzszenario.	35
Tabelle 15: Gesamtwirtschaftliches Referenzszenario und Abweichungen in den Szenarien EnEff und EE-Wärme, 2015 bis 2050. Quelle: Prognos AG (2017).....	43
Tabelle 16: Bruttowertschöpfung nach Branchen im Referenzszenario und Abweichungen im Szenario EnEff, 2015 bis 2050, Mrd. Euro real. Quelle: Prognos AG (2017)	44

Tabelle 17: Bruttowertschöpfung nach Branchen im Referenzszenario und Abweichungen im Szenario EE-Wärme, 2015 bis 2050, Mrd. Euro real. Quelle: Prognos AG (2017)..... 45

10 Abbildungsverzeichnis.

Abbildung 1: Verbleibender Korridor zur Zielerreichung im Gebäudebereich. Quelle: Prognos/IWU/ifeu 2016	10
Abbildung 2: Darstellung des methodischen Vorgehens zur Einordnung der Effekte der ESG-Szenarien auf das gesamte Energiesystem. Quelle: Prognos AG (2017)	14
Abbildung 3: Ölpreis- Szenarien des World Energy Outlook 2016 der IEA, real in USD(2015)/bbl. Quelle: IEA (2016)	21
Abbildung 4: Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt und Verwendungskomponenten der Zielszenarien im Vergleich zum Referenzszenario, 2015 bis 2050. Quelle: Berechnungen Prognos AG.....	25
Abbildung 5: Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigte der Zielszenarien im Vergleich zum Referenzszenario, 2015 bis 2050. Quelle: Berechnungen Prognos AG	26
Abbildung 6: Sektorale Zuordnung von Biomassepotenzialen in aktuellen Szenarien zum gesamten Energiesystem im Jahr 2050 in PJ. Quelle: Prognos AG (2017)	29
Abbildung 7: Verteilung der Differenzinvestitionen auf Akteure im Wohnungsmarkt. Quelle: Prognos AG (2017).....	36

11 Literaturverzeichnis

agora Verkehrswende (2016): Vortrag „Die Dekarbonisierung des Verkehrs in Deutschland – Herausforderungen 2050 und Zwischenschritte 2020, 2030 und 2040. Nach Paris und vor dem Klimaschutzplan 2050 – Wie kann der deutsche Energiesektor dekarbonisiert werden?“ Christian Hochfeld. Berlin. 05. April 2016.

BMVBS (2011). Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS. Berlin. 2011. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/DL_ON162011.pdf;jsessionid=756C76B0E229C70FB297ED78780D5A16.live11293?__blob=publicationFile&v=2

BMWi (2016a): Fünfter Monitoring-Bericht "Energie der Zukunft" – Berichtsjahr 2015. BMWi. Berlin. 2016.

BMWi (2016b): Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi. Letzte Aktualisierung: 30.01.2017. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>. Letzter Abruf am 01.04.2017.

FhG ISI et. al. 2016: BMWi Langfristszenarien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin. In Arbeit.

FNR (2016): <https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/biomasse/biomasse-potenziale/>. Letzter Abruf am 20.03.2017.

Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende

Heise (2016): Abenteuer Reichweite. <https://heise.de/-3073803>. Letzter Abruf am 02.04.2017

INFRAS et. al. (2015): Postfossile Energieversorgungsoptionen für einen treibhausgasneutralen Verkehr im Jahr 2050: Eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2015.

International Energy Agency (2016): World Energy Outlook. 2016.

Kaltschmitt et. al. (2016): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. Auflage

KBA (2016): Verkehr in Kilometern der deutschen Kraftfahrzeuge im Jahr 2015. Kraftfahrtbundesamt. Flensburg. 2016. Naegler (2016): Potenziale für erneuerbare Energien in der industriellen Wärmeerzeugung. Temperaturanforderungen limitieren Einsatz erneuerbarer Energien bei der Prozesswärmebereitstellung. Tobias Naegler, Sonja Simon, Martin Klein, Hans Christian Gils. DLR. 2016

Öko-Institut et al. (2014): Klimaschutzszenarien, 1. Modellierungsrunde. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. 2014

Öko-Institut et al. (2015): Klimaschutzszenarien, 2. Modellierungsrunde. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. 2015.

Prognos/EWI/GWS 2014: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin. 2014

(Prognos/IWU/ifeu 2016): Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin. 2016

Prognos et. al. (2016): Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 – 2014. Prognos AG, Fraunhofer ISI und TU München im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Prognos (2016): Prognos Economic Outlook® (PEO®). Basel, Berlin. 2017.

Schmidt (2017): Vortrag „*Wärmewende 2030 Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor*“. Tekn. Dr. Dietrich Schmidt Fraunhofer IBP / Fraunhofer IWES. Vortrag am 15. Februar 2017 anlässlich der Studienvorstellung „*agora Wärmewende 2030*“ in Berlin.

StBA (2016): Bestand und Struktur der Wohneinheiten Fachserie 5 Heft 1 - Mikrozensus-Zusatzerhebung 2014. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden. 2016.

Zensus (2011): Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014.

12 Abkürzungen

EE Erneuerbare Energien

EnEff Energieeffizienz

ESG Effizienzstrategie Gebäude

ERP Energierferenzprognose

EZFH Ein- und Zweifamilienhaus

GüP Grenzübergangspreise

IEA Internationale Energieagentur

MFH Mehrfamilienhaus

SOG Sonstige Wohngebäude

WEO World Energy Outlook

13 Makroökonomische Berechnungen - Tabellen

Referenzszenario	2015	2020	2030	2040	2050	d % p.a. 2015- 2050
Bevölkerung Insgesamt, Tsd. Personen	81.340	82.125	81.250	79.344	76.624	-0,2%
Bevölkerung 15-64 Jahre, Tsd. Personen	53.465	53.083	48.854	46.179	44.347	-0,5%
Bruttoinlandsprodukt, Mrd. Euro real	2.786	2.988	3.394	3.839	4.353	1,3%
Bruttoinlandsprodukt pro Kopf, Tsd. Euro	34	36	41	48	56	1,4%
Privater Konsum, Mrd. Euro real	1.531	1.616	1.834	2.045	2.280	1,1%
Staatlicher Konsum, Mrd. Euro real	527	572	629	711	796	1,2%
Bruttoanlageinvestitionen, Mrd. Euro real	555	568	620	665	719	0,7%
Exporte, Mrd. Euro real	1.340	1.579	2.095	2.689	3.328	2,6%
Importe, Mrd. Euro real	1.140	1.329	1.777	2.268	2.768	2,6%
Preisindex Privater Konsum, Index 2010=100	103	113	140	174	211	2,1%
Arbeitnehmerentgelt je Stunde, nominal, Euro/h	30	34	50	74	106	3,7%
Reale Stundenproduktivität, Euro/h	47	50	59	68	80	1,5%
Kapitalstock, Gesamtwirtschaft, Mrd. Euro real	9.277	10.325	12.146	13.730	15.167	1,4%
Arbeitsvolumen, Mio. Stunden	58.817	59.403	57.958	56.049	54.717	-0,2%
Erwerbstätige, Tsd. Personen	43.020	43.404	41.497	39.667	38.296	-0,3%
Schuldenstand des Staates, Mrd. Euro	2.175	2.088	1.993	1.994	2.022	-0,2%
Schuldenstandsquote (% des BIP nominal)	73%	61%	42%	30%	23%	
EnEff	Abweichung zum Referenzszenario (absolut und Wachstumsrate)					
Bruttoinlandsprodukt, Mrd. Euro real		29	59	78	96	0,05%
Bruttoinlandsprodukt per Capita, Tsd. Euro		0,4	0,7	1,0	1,2	0,06%
Privater Konsum, Mrd. Euro real		15	37	51	64	0,08%
Staatlicher Konsum, Mrd. Euro real		6	14	18	23	0,08%
Bruttoanlageinvestitionen, Mrd. Euro real		19	32	35	36	0,09%
Exporte, Mrd. Euro real		3	10	17	21	0,02%
Importe, Mrd. Euro real		14	34	43	48	0,04%
Preisindex Privater Konsum, Index 2010=100		0,0	0,4	0,7	1,1	0,02%
Arbeitnehmerentgelt je Stunde, nominal, Euro/h		0,1	0,5	1,0	1,8	0,05%
Reale Stundenproduktivität, Euro/h		0,2	0,4	0,7	0,9	0,03%
Kapitalstock, Gesamtwirtschaft, Mrd. Euro real		85	311	513	672	0,12%
Arbeitsvolumen, Mio. Stunden		384	561	568	569	0,02%
Erwerbstätige, Tsd. Personen		189	187	142	124	0,01%
Schuldenstand des Staates, Mrd. Euro		-10	1	2	5	
Schuldenstandsquote (% des BIP nominal)		-0,9%	-0,9%	-0,8%	-0,7%	
EE-Wärme	Abweichung zum Referenzszenario (absolut und Wachstumsrate)					
Bruttoinlandsprodukt, Mrd. Euro real		30	34	48	62	0,03%
Bruttoinlandsprodukt per Capita, Tsd. Euro		0,4	0,4	0,6	0,8	0,03%
Privater Konsum, Mrd. Euro real		16	22	33	42	0,05%
Staatlicher Konsum, Mrd. Euro real		7	7	11	14	0,05%
Bruttoanlageinvestitionen, Mrd. Euro real		18	18	20	22	0,01%
Exporte, Mrd. Euro real		4	7	10	13	0,01%
Importe, Mrd. Euro real		15	20	25	30	0,02%
Preisindex Privater Konsum, Index 2010=100		0,0	0,3	0,4	0,7	0,01%
Arbeitnehmerentgelt je Stunde, nominal, Euro/h		0,1	0,3	0,6	1,1	0,03%
Reale Stundenproduktivität, Euro/h		0,2	0,3	0,4	0,6	0,02%
Kapitalstock, Gesamtwirtschaft, Mrd. Euro real		97	224	313	393	0,07%
Arbeitsvolumen, Mio. Stunden		387	303	346	369	0,01%
Erwerbstätige, Tsd. Personen		200	102	91	87	0,00%
Schuldenstand des Staates, Mrd. Euro		-8	3	-2	-1	
Schuldenstandsquote (% des BIP nominal)		-0,9%	-0,5%	-0,6%	-0,5%	

Tabelle 15: Gesamtwirtschaftliches Referenzszenario und Abweichungen in den Szenarien EnEff und EE-Wärme, 2015 bis 2050. Quelle: Prognos AG (2017)

Referenzszenario	2015	2020	2030	2040	2050	d % p.a. 2015- 2050
A Land-/Forstwirtschaft, Fischerei	17,9	17,9	18,3	19,0	20,3	0,4%
B-E Industrie (ohne Baugewerbe)	660,3	698,5	781,7	877,4	994,5	1,2%
C Verarbeitendes Gewerbe	579,3	612,9	686,0	770,9	875,2	1,2%
C20-C21 Chemie, Pharmazie	64,3	70,4	82,6	96,0	111,7	1,6%
C24-C25 Metallherzeugung, Metallherzeugnisse	72,6	74,8	79,7	86,3	95,5	0,8%
C26-C27 Elektroindustrie	81,7	88,8	103,5	120,0	139,4	1,5%
C28 Maschinenbau	88,1	94,9	110,1	127,1	147,1	1,5%
C29-C30 Kraftwagen, sonstiger Fahrzeugbau	117,7	126,1	143,8	163,8	187,5	1,3%
D-E Energie, Wasser, Abfall	76,9	81,9	92,5	103,5	116,3	1,2%
F Baugewerbe	104,5	108,0	117,5	124,0	132,0	0,7%
G-U Dienstleistungen	1.724,2	1.868,5	2.158,0	2.480,0	2.835,2	1,4%
G-I Handel, Verkehr, Gastgewerbe	396,1	419,5	469,4	524,4	586,1	1,1%
J Information, Kommunikation	133,8	151,8	191,1	231,8	276,5	2,1%
K Finanz-/Versicherungsdienstleistungen	107,1	110,2	117,7	126,9	138,6	0,7%
L Grundstücks-/Wohnungswesen	280,7	301,1	347,8	393,1	443,0	1,3%
M-N unternehmensnahe Dienstleistungen	269,9	299,9	364,7	436,6	515,1	1,9%
O-Q Staat, Gesundheits-/Sozialwesen	439,9	483,0	551,4	637,8	730,7	1,5%
R-U Private Haushalte, sonst. Dienstleistungen	96,8	102,9	115,8	129,4	145,2	1,2%
Insgesamt - Alle NACE-Wirtschaftszweige	2.506,8	2.692,9	3.075,5	3.500,6	3.982,0	1,3%
EnEff-ESG	Abweichung zum Referenzszenario (absolut und Wachstumsrate)					
A Land-/Forstwirtschaft, Fischerei		0,2	0,3	0,4	0,4	0,059%
B-E Industrie (ohne Baugewerbe)		3,9	6,8	9,0	11,3	0,033%
C Verarbeitendes Gewerbe		3,2	5,3	7,0	8,9	0,029%
C20-C21 Chemie, Pharmazie		0,3	0,5	0,7	0,9	0,024%
C24-C25 Metallherzeugung, Metallherzeugnisse		0,4	0,6	0,8	1,0	0,029%
C26-C27 Elektroindustrie		0,4	0,7	1,0	1,4	0,028%
C28 Maschinenbau		0,4	0,6	0,9	1,2	0,023%
C29-C30 Kraftwagen, sonstiger Fahrzeugbau		0,4	0,8	1,1	1,5	0,024%
D-E Energie, Wasser, Abfall		0,7	1,4	1,9	2,3	0,057%
F Baugewerbe		3,8	6,2	6,8	6,8	0,145%
G-U Dienstleistungen		20,8	46,8	64,0	79,7	0,080%
G-I Handel, Verkehr, Gastgewerbe		4,5	9,8	13,2	16,0	0,078%
J Information, Kommunikation		2,0	4,8	6,9	8,9	0,092%
K Finanz-/Versicherungsdienstleistungen		1,3	2,7	3,5	4,2	0,086%
L Grundstücks-/Wohnungswesen		3,1	6,8	9,2	11,3	0,073%
M-N unternehmensnahe Dienstleistungen		4,0	8,3	11,3	13,9	0,077%
O-Q Staat, Gesundheits-/Sozialwesen		4,8	11,7	16,1	20,8	0,081%
R-U Private Haushalte, sonst. Dienstleistungen		1,2	2,7	3,7	4,7	0,091%
Insgesamt - Alle NACE-Wirtschaftszweige		28,7	60,1	80,1	98,2	0,071%

Tabelle 16: Bruttowertschöpfung nach Branchen im Referenzszenario und Abweichungen im Szenario EnEff, 2015 bis 2050, Mrd. Euro real. Quelle: Prognos AG (2017)

Referenzszenario	2015	2020	2030	2040	2050	d % p.a. 2015- 2050
A Land-/Forstwirtschaft, Fischerei	17,9	17,9	18,3	19,0	20,3	0,4%
B-E Industrie (ohne Baugewerbe)	660,3	698,5	781,7	877,4	994,5	1,2%
C Verarbeitendes Gewerbe	579,3	612,9	686,0	770,9	875,2	1,2%
C20-C21 Chemie, Pharmazie	64,3	70,4	82,6	96,0	111,7	1,6%
C24-C25 Metallerzeugung, Metallerzeugnisse	72,6	74,8	79,7	86,3	95,5	0,8%
C26-C27 Elektroindustrie	81,7	88,8	103,5	120,0	139,4	1,5%
C28 Maschinenbau	88,1	94,9	110,1	127,1	147,1	1,5%
C29-C30 Kraftwagen, sonstiger Fahrzeugbau	117,7	126,1	143,8	163,8	187,5	1,3%
D-E Energie, Wasser, Abfall	76,9	81,9	92,5	103,5	116,3	1,2%
F Baugewerbe	104,5	108,0	117,5	124,0	132,0	0,7%
G-U Dienstleistungen	1.724,2	1.868,5	2.158,0	2.480,0	2.835,2	1,4%
G-I Handel, Verkehr, Gastgewerbe	396,1	419,5	469,4	524,4	586,1	1,1%
J Information, Kommunikation	133,8	151,8	191,1	231,8	276,5	2,1%
K Finanz-/Versicherungsdienstleistungen	107,1	110,2	117,7	126,9	138,6	0,7%
L Grundstücks-/Wohnungswesen	280,7	301,1	347,8	393,1	443,0	1,3%
M-N unternehmensnahe Dienstleistungen	269,9	299,9	364,7	436,6	515,1	1,9%
O-Q Staat, Gesundheits-/Sozialwesen	439,9	483,0	551,4	637,8	730,7	1,5%
R-U Private Haushalte, sonst. Dienstleistungen	96,8	102,9	115,8	129,4	145,2	1,2%
Insgesamt - Alle NACE-Wirtschaftszweige	2.506,8	2.692,9	3.075,5	3.500,6	3.982,0	1,3%
EEWärme-ESG	Abweichung zum Referenzszenario (absolut und Wachstumsrate)					
A Land-/Forstwirtschaft, Fischerei		0,2	0,2	0,2	0,3	0,040%
B-E Industrie (ohne Baugewerbe)		4,0	4,6	6,4	8,1	0,024%
C Verarbeitendes Gewerbe		3,3	3,7	5,2	6,6	0,022%
C20-C21 Chemie, Pharmazie		0,3	0,3	0,5	0,6	0,016%
C24-C25 Metallerzeugung, Metallerzeugnisse		0,4	0,4	0,6	0,7	0,021%
C26-C27 Elektroindustrie		0,4	0,5	0,7	1,0	0,020%
C28 Maschinenbau		0,4	0,6	0,9	1,1	0,022%
C29-C30 Kraftwagen, sonstiger Fahrzeugbau		0,5	0,6	0,9	1,2	0,019%
D-E Energie, Wasser, Abfall		0,7	0,8	1,2	1,5	0,038%
F Baugewerbe		3,4	2,9	3,1	3,4	0,074%
G-U Dienstleistungen		21,8	27,2	38,8	50,9	0,052%
G-I Handel, Verkehr, Gastgewerbe		4,6	5,8	8,0	10,2	0,050%
J Information, Kommunikation		2,1	2,9	4,2	5,7	0,060%
K Finanz-/Versicherungsdienstleistungen		1,3	1,6	2,2	2,7	0,056%
L Grundstücks-/Wohnungswesen		3,1	4,0	5,7	7,3	0,047%
M-N unternehmensnahe Dienstleistungen		3,9	4,9	6,7	8,8	0,049%
O-Q Staat, Gesundheits-/Sozialwesen		5,6	6,5	9,7	13,2	0,052%
R-U Private Haushalte, sonst. Dienstleistungen		1,3	1,6	2,3	3,0	0,059%
Insgesamt - Alle NACE-Wirtschaftszweige		29,4	34,9	48,6	62,7	0,045%

Tabelle 17: Bruttowertschöpfung nach Branchen im Referenzszenario und Abweichungen im Szenario EE-Wärme, 2015 bis 2050, Mrd. Euro real. Quelle: Prognos AG (2017)

