

CLIMATE CHANGE

19/2019

Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz: Gesamtwirtschaftliche Effekte einer investitionsorientierten Klimaschutzpolitik

CLIMATE CHANGE 19/2019

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 14 1060
FB000087/ZB,3

Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz (III): Gesamtwirtschaftliche Effekte einer investitionsorientierten Klimaschutzpolitik

von

Malte Oehlmann, Manuel Linsenmeier, Walter Kahlenborn
adelphi, Berlin

Ulrike Lehr, Markus Flaute
GWS, Osnabrück

Ralph Büchele, Patrick Andrä
Roland Berger, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

adelphi
Alt-Moabit 91
10559 Berlin

Abschlussdatum:

April 2018

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4
Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
Beate Hollweg

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Um das im Übereinkommen von Paris festgelegte Ziel zu erreichen, die globale Erderwärmung auf deutlich unter 2° Celsius und möglichst auf 1,5° Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, ist ein ambitionierter Klimaschutz nötig. Eine ambitionierte Klimaschutzpolitik senkt nicht nur die Treibhausgasemissionen, sondern bietet darüber hinaus vielfältige wirtschaftliche Chancen. In dieser Studie werden die gesamtwirtschaftlichen Effekte einer investitionsorientierten Klimaschutzpolitik in ausgewählten Handlungsfeldern bis zum Jahr 2030 beziffert. Für jedes der Handlungsfelder werden die Mehrinvestitionen in einem Szenario mit Mehrinvestitionen im Vergleich zu einem Referenzszenario ermittelt.

Die im Vergleich zum Referenzszenario identifizierten Mehrinvestitionen sind erheblich. Sie steigen über den Betrachtungszeitraum an und betragen im Jahr 2030 rund 49 Mrd. Euro. Der mit Abstand größte Anteil der Mehrinvestitionen im Jahr 2030 entfällt auf das Handlungsfeld „Energetische Gebäudesanierung“. Die Mehrinvestitionen führen im Jahr 2030 dazu, dass die Investitionsquote des Szenarios mit Mehrinvestitionen die Investitionsquote des Referenzszenarios um etwa fünf Prozent übertrifft. Zudem liegt das Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2030 etwa zwei Prozent über dem Wert der Referenz und es werden 220.000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen. Die Treibhausgasemissionen des Szenarios mit Mehrinvestitionen sind im Jahr 2030 etwa 33 Prozent geringer als im Referenzszenario und liegen etwa 63 Prozent unter den Emissionen im Basisjahr 1990.

Abstract

To achieve the goal of the Paris agreement to keep global warming below two degrees Celsius compared to preindustrial levels or even limit it to no more than 1.5 degrees Celsius, an ambitious climate action is needed. An ambitious climate action policy does not only reduce greenhouse gas emissions, it also offers various economic benefits. This study quantifies the economic effects of an innovation oriented climate action policy in selected areas of action up to 2030. For each area of action, the additional investments in an investment scenario are compared to a reference scenario.

The additional investments identified in comparison to the reference scenario are substantial. They increase during the considered period and amount up to 49 billion Euros in 2030. The area of action “energy-related building refurbishments” accounts by far for the highest share of additional investments in 2030. These additional investments lead to an investment rate in the investment scenario that is about 5% higher than in the reference scenario. Moreover, in the investment scenario the GDP in 2030 is 2% higher and 220,000 additional jobs are created. The greenhouse gas emissions in the investment scenario are about 33% lower than in the reference scenario and are about 63% below those of the base year 1990.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung	9
1 Einleitung	11
2 Beschreibung der Szenarien	13
2.1 Vorgehensweise	13
2.2 Das Referenzszenario	14
2.3 Das Mit-Mehrinvestitionen-Szenario	15
2.3.1 Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie	16
2.3.1.1 Handlungsfeld Erneuerbare Energien	16
2.3.1.2 Handlungsfeld Energiespeicher und Stromnetze	18
2.3.2 Leitmarkt Energieeffizienz	20
2.3.2.1 Handlungsfeld Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken	20
2.3.2.2 Handlungsfeld Energetische Gebäudesanierung	22
2.3.3 Leitmarkt Nachhaltige Mobilität	25
2.3.3.1 Handlungsfeld Schienengüterverkehr	25
2.3.3.2 Handlungsfeld Motorisierter Straßenverkehr	27
2.3.3.3 Handlungsfeld Nichtmotorisierter Individualverkehr	28
2.4 Zusammenfassung der Szenarien	29
3 Gesamtwirtschaftliche Effekte eines ambitionierten Klimaschutzes	31
3.1 Das Mit-Mehrinvestitionen-Szenario und die Wirkungskanäle im Modell	31
3.2 Auswirkungen des Mit-Mehrinvestitionen-Szenarios auf Wachstum und Beschäftigung	33
3.3 Detailanalyse der Handlungsfelder	39
3.4 Einordnung der ökonomischen Wirkungen	40
4 Fazit	44
5 Quellenverzeichnis	47
6 Anhang	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Jährliche Mehrinvestitionen in den Ausbau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen	18
Abbildung 2:	Jährliche Mehrinvestitionen in Energiespeicher und Stromnetze	19
Abbildung 3:	Jährliche Mehrinvestitionen in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken	21
Abbildung 4:	Jährliche Mehrinvestitionen in die energetische Gebäudesanierung	24
Abbildung 5:	Jährliche Mehrinvestitionen in die Infrastruktur für Elektro-Pkw und Oberleitungs-Lkw	28
Abbildung 6:	Jährliche Mehrinvestitionen der einzelnen Handlungsfelder	30
Abbildung 7:	Anteile der einzelnen Handlungsfelder an den gesamten jährlichen Mehrinvestitionen	30
Abbildung 8:	Minderung von Treibhausgasemissionen im Referenz- und MiMS, zeitliche Entwicklung 2016-2030 und Extrapolation 2030-2050 (Stand August 2016)	31
Abbildung 9:	Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung	32
Abbildung 10:	Szenarienvergleich – wichtige Kenngrößen, Abweichung MiMS vom Referenzszenario	34
Abbildung 11:	Szenarienvergleich – Differenz der Beschäftigung in einzelnen Sektoren durch gezielte Klimaschutzinvestitionen im Jahr 2020	35
Abbildung 12:	Szenarienvergleich – Prozentuale Abweichung der Lohnsumme in ausgewählten Wirtschaftszweigen	36
Abbildung 13:	Einnahmen von Arbeitnehmern, Abweichung des MiMS vom Referenzszenario	37
Abbildung 14:	Einnahmen des Staates, Abweichung des MiMS vom Referenzszenario	38
Abbildung 15:	Szenarienvergleich – Endenergieverbrauch, Primärenergieeinsatz und Treibhausgasemissionen, Abweichung des MiMS vom Referenzszenario	38
Abbildung 16:	Szenarienvergleich – gesamtwirtschaftliche Effekte nach Handlungsfeldern	39
Abbildung 17:	Szenarienvergleich – BIP und Beschäftigung in Relation zu den zusätzlichen Investitionen im Jahr 2020	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verkehrsleistungen im Güterverkehr (tkm = Tonnenkilometer)	26
Tabelle 2:	Absolute und relative Differenz der einzelnen Komponenten des BIP im MiMS im Vergleich zum Referenzszenario	34

Abkürzungsverzeichnis

AMS	Aktuelle-Maßnahmen-Szenario
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMUB	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
CO₂	Kohlenstoffdioxid
ERP-REF	Referenzszenario der Energiereferenzprognose
EU	Europäische Union
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
GW	Gigawatt
IEA	International Energy Agency
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KS-80	Klimaschutzszenario 80
KS-95	Klimaschutzszenario 95
Li	Lithium
Lkw	Lastkraftwagen
MFH	Mehrfamilienhäuser
MiMS	Mit-Mehrinvestitionen-Szenario
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
NMIV	Nicht-motorisierter Individualverkehr
NWG	Nichtwohngebäude
PJ	Petajoule
Pkw	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
T/t	Tonne
THG	Treibhausgas
Tkm	Tonnenkilometer
TWh	Terrawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
WG	Wohngebäude

Zusammenfassung

Das Übereinkommen von Paris hat das Ziel festgelegt, die globale Erderwärmung auf deutlich unter 2° Celsius zu begrenzen und eine Erwärmung um maximal 1,5° Celsius anzustreben. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein ambitionierter Klimaschutz nötig. Bereits 2010 hat die Bundesregierung beschlossen, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren. Auch mit Blick auf das in Paris vereinbarte Ziel einer weltweiten Treibhausgasneutralität noch in diesem Jahrhundert bekräftigt die Bundesregierung ihre Langfristziele im Klimaschutzplan 2050.

Eine ambitionierte Klimaschutzpolitik senkt allerdings nicht nur die Treibhausgasemissionen, sondern bietet darüber hinaus vielfältige gesamtwirtschaftliche Chancen. Diese werden in der öffentlichen Diskussion bisher jedoch kaum berücksichtigt.

Ziel dieser Studie ist es, die gesamtwirtschaftlichen Effekte einer investitionsorientierten Klimaschutzpolitik in ausgewählten Handlungsfeldern bis zum Jahr 2030 zu beziffern. Hierzu werden Annahmen über zukünftige Investitionspfade entwickelt. Mit einem makroökonomischen Modell der deutschen Volkswirtschaft werden anschließend die Auswirkungen auf Wachstum, Beschäftigung, und – überschlägig – die Emissionen von Treibhausgasen ermittelt. Die Berechnungen beschränken sich auf die für eine ambitionierte Klimaschutzpolitik wesentlichen Handlungsfelder, die zur Reduktion von Treibhausgasemissionen zukünftig eine hohe Investitionstätigkeit erwarten lassen.

Die Handlungsfelder lassen sich den drei Leitmärkten „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“, „Energieeffizienz“ und „Nachhaltige Mobilität“ zuordnen. Für jedes der Handlungsfelder werden die Mehrinvestitionen in einem Mit-Mehrinvestitionen-Szenario (MiMS) im Vergleich zu einem Referenzszenario ermittelt. Das MiMS orientiert sich hierbei am Reduktionspfad des Klimaschutzenszenarios 95 (Repenning et al. 2015), während das Referenzszenario der Energiereferenzprognose (Schlesinger et al. 2014) folgt. In diesem Referenzszenario wird die Investitionstätigkeit in Deutschland nach Wirtschaftszweigen abgebildet, ohne dass jedoch die Investitionen der verschiedenen dort unterstellten Klimaschutzaktivitäten explizit abgebildet sind. Das Szenario stellt somit eine Fortschreibung bereits bestehender Aktivitäten dar, die aus den Daten der bisherigen Entwicklung abgeleitet wird. Das Szenario mit Mehrinvestitionen quantifiziert die Investitionen der zusätzlich notwendigen Maßnahmen. Hieraus lässt sich dann eine neue Investitionssumme errechnen auf Basis derer die Auswirkungen der Mehrinvestitionen auf gesamtwirtschaftliche Größen abgeleitet werden.

Die im Rahmen der Studie im Vergleich zum Referenzszenario identifizierten Mehrinvestitionen sind erheblich. Sie steigen über den Betrachtungszeitraum an und betragen im Jahr 2030 rund 49 Mrd. Euro. Der mit Abstand größte Anteil der Mehrinvestitionen im Jahr 2030 entfällt auf das Handlungsfeld „Energetische Gebäudesanierung“, gefolgt von den Handlungsfeldern „Energiespeicher und Stromnetze“, „Erneuerbare Energien“, „Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechnologien“ sowie verschiedene Handlungsfelder der nachhaltigen Mobilität.

Für die Untersuchung der gesamtwirtschaftlichen Effekte werden die Mehrinvestitionen als Investitionsimpuls in das Modell PANTA RHEI eingespeist. Dabei ist es wichtig, Rückkopplungseffekte im Wirtschaftskreislauf zu berücksichtigen. Zu den gesamtwirtschaftlichen Rückkopplungsreaktionen gehört die Berücksichtigung der zukünftigen Knappheit auf dem Arbeitsmarkt. Die Konkurrenz um zusätzliche Arbeitskräfte führt im verarbeitenden Gewerbe in einzelnen Wirtschaftszweigen zu Lohnsteigerungen und somit in diesen zu einem Rückgang der Beschäftigung. Die mit einem ambitionierten Klimaschutz verbundenen Mehrinvestitionen führen im Jahr 2030 dazu, dass die Investitionsquote des MiMS die Investitionsquote des Referenzszenarios um etwa fünf Prozent übertrifft. Ein ambitionierter Klimaschutz, der die hier angenommenen Mehrinvestitionen umfasst, kurbelt also auch die Investitionstätigkeit in Deutschland kräftig an.

Die Treibhausgasemissionen des MiMS liegen im Jahr 2030 etwa 33 Prozent unter dem Wert des Referenzszenarios und etwa 63 Prozent unter den Emissionen im Referenzjahr 1990. Damit liegt das MiMS auf einem Pfad, der zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 Prozent bis zum Jahr 2050 führt. Die makroökonomischen Kennzahlen des MiMS zeigen zudem, dass ein ambitionierter Klimaschutz in den ausgewählten Handlungsfeldern durch die damit angestoßenen Investitionen positive gesamtwirtschaftliche Effekte mit sich bringt. So liegt das Bruttoinlandsprodukt (BIP) im MiMS im Jahr 2030 etwa zwei Prozent über dem Wert des Referenzszenarios. Durch die Investitionen in den Klimaschutz werden zudem 220.000 zusätzliche Arbeitsplätze in verschiedenen Wirtschaftssektoren geschaffen.

1 Einleitung

Neben der Verwirklichung umweltpolitischer Ziele bietet der Klimaschutz viele weitere Chancen für Deutschland. Dazu gehören wirtschaftliche Vorteile, wie zum Beispiel zusätzliches Wachstum auf Grund der Nachfrage nach Klimaschutzgütern, positive Beschäftigungswirkungen und mit Klimaschutztechnologien verbundene Exportmöglichkeiten.

Investitionen in den Ausbau der erneuerbaren Energien, die energetische Gebäudesanierung oder eine nachhaltige Mobilität werden in der Öffentlichkeit oft eher als Kosten denn als Chancen wahrgenommen. Genau an dieser Stelle setzt die vorliegende Studie an, in welcher die gesamtwirtschaftlichen Effekte einer auf ambitionierten Klimaschutzzielen basierenden, investitionsorientierten Klimaschutzpolitik beziffert werden. Hierdurch können auch Aussagen darüber getroffen werden, inwieweit ein ambitionierter Klimaschutz zur Überwindung der deutschen Investitionsschwäche beitragen kann. Die deutsche Investitionsquote liegt seit dem Jahr 2000 durchgehend um etwa zwei bis vier Prozentpunkte unter dem Durchschnitt der Mitgliedsländer der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Der Durchschnitt der OECD wird offiziell als Zielwert für die Investitionsquote Deutschlands herangezogen (Expertenkommission zur Stärkung von Investitionen in Deutschland 2015).

Bereits im Jahr 2008 kam ein Bericht zu dem Schluss, dass „klimapolitisch gebotene Investitionen die Möglichkeit eröffnen, dass die deutsche Wirtschaft sowohl ihr Arbeitspotenzial als auch ihr Innovationspotenzial in Zukunft deutlich besser ausschöpft“ (Jochem et al. 2008).

Studien auf globaler, europäischer und deutscher Ebene belegen die positiven wirtschaftlichen Effekte von Investitionen in den Klimaschutz (New Climate Economy 2014, Jaeger et al. 2015, PwC 2016). In einer Studie des Global Climate Forums werden die Möglichkeit einer investitionsorientierten Klimapolitik zur Bekämpfung der wirtschaftlichen Stagnation und der Investitionsschwäche in der Europäischen Union (EU) untersucht (Jaeger et al. 2015). Bei sehr ambitionierten Klimazielen konnten durchweg positive gesamtwirtschaftliche Effekte festgestellt werden (Jaeger et al. 2015). In einem Bericht der „Global Commission on the Economy and Climate“ zu den Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und der globalen, nationalen und regionalen wirtschaftlichen Entwicklung wird das Potenzial von Klimaschutz für die Überwindung einer Investitionsschwäche untersucht. Das Ergebnis des Berichtes ist, dass auch auf globaler Ebene deutliche wirtschaftliche Wachstumspotenziale durch gezielte Investitionstätigkeiten in den Klimaschutz existieren (New Climate Economy 2014). Eine Studie aus dem Jahr 2016 kommt darüber hinaus zu dem Schluss, dass durch die Umsetzung der Maßnahmen des „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ erhebliche positive ökonomische Effekte in Deutschland erzielt werden können (PwC 2016).

Die Investitionen, die durch Klimaschutzpolitik ausgelöst werden, können durch den Vergleich von Szenarien ermittelt werden. Der Umfang des wirtschaftlichen Impulses hängt dabei wesentlich vom Ambitionsniveau der Klimaschutzmaßnahmen ab. Ende 2015 wurde im Klimaabkommen von Paris eine treibhausgasneutrale Gesellschaft in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts als Ziel festgehalten. Für eine Treibhausgasneutralität Deutschlands wiederum wird eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 Prozent bis zum Jahr 2050 als notwendig erachtet (Benndorf et al. 2013). Sowohl Aktuelle-Maßnahmen Szenarien als auch Szenarien mit einem Ambitionsniveau einer 80 Prozent Minderung (siehe z.B. Schlesinger et al. 2014, Repenning et al. 2015) würden die gesteckten Ziele einer Minderung um 90 bis 95 Prozent verfehlen.

Ziel dieser Studie ist die Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Effekte der Investitionen, die durch einen ambitionierten Klimaschutz ausgelöst werden. Hierzu werden für verschiedene Handlungsfelder Szenarien über zukünftige Investitionspfade entworfen. Daraus werden in einer makroökonomischen Simulation die Auswirkungen der zusätzlichen Klimaschutzinvestitionen auf bestimmte wirtschaftliche Zielindikatoren der deutschen Volkswirtschaft abgeleitet. Die Berechnungen beschränken sich auf

die für eine ambitionierte Klimaschutzpolitik wesentlichen Handlungsfelder, die zur Reduktion von Treibhausgasemissionen zukünftig eine hohe Investitionstätigkeit erwarten lassen. Andere Bereiche mit geringem Emissionsminderungspotenzial oder nur geringen Investitionen werden nicht betrachtet.

Die Auswahl der Handlungsfelder erfolgt im Kontext verschiedener Leitmärkte (Büchele et al. 2014). Adressiert werden die Leitmärkte „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“, „Energieeffizienz“ und „Nachhaltige Mobilität“. Den jeweiligen Leitmärkten werden Handlungsfelder zugeordnet, für welche im Vergleich zu einem Referenzszenario ein Mit-Mehrinvestitionen-Szenario (MiMS) entwickelt wird. Das MiMS folgt in den ausgewählten Handlungsfeldern dem jeweiligen Pfad einer ambitionierten Klimaschutzpolitik, mit der im Jahr 2050 etwa 95 Prozent der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 eingespart werden könnten. Es bildet jedoch kein vollständiges Maßnahmenpaket zur Verwirklichung eines bestimmten Klimaschutzzieles ab. Es sollen vielmehr die mit einer ambitionierten Klimaschutzpolitik verbundenen Mehrinvestitionen im Vergleich zum Referenzszenario erfasst und deren gesamtwirtschaftliche Auswirkungen quantifiziert werden. Der Untersuchungszeitraum dieser Studie beschränkt sich auf die Jahre 2016 bis 2030. Aussagen über das Jahr 2030 hinaus werden nicht getroffen.

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte des MiMS werden mit Hilfe des Modells PANTA RHEI ermittelt. Hierbei fließen die Mehrinvestitionen in verschiedenen Handlungsfeldern zunächst gleichzeitig in das Modell ein. Zentrale Ausgabegrößen sind gesamtwirtschaftliche Indikatoren wie das BIP und die Beschäftigung, aber auch die Reduktion der Treibhausgase. In weiteren Modellläufen werden zusätzlich die ökonomischen Auswirkungen in einzelnen Leitmärkten separat beleuchtet. Dieses Vorgehen erlaubt es Einschätzungen darüber zu treffen, in welchen Leitmärkten Investitionen besonders effizient wirken.

Im folgenden Kapitel 2 werden zunächst das Referenzszenario überblicksartig sowie das MiMS im Detail beschrieben. Kapitel 3 geht anschließend auf die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer an investiven Maßnahmen orientierten Klimaschutzpolitik ein, bevor in Kapitel 4 einige Schlussfolgerungen gezogen werden.

2 Beschreibung der Szenarien

2.1 Vorgehensweise

Die Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen einer Maßnahme wird typischerweise durch den modellgestützten Vergleich zweier Szenarien geleistet. Das erste Szenario ist an einer Entwicklung ohne weitere Maßnahmen orientiert. Dieses Szenario wird häufig als Referenzszenario bezeichnet. Das Referenzszenario, welches dieser Studie zu Grunde liegt, basiert auf dem Referenzszenario der Energiereferenzprognose (ERP-REF), wie es in Schlesinger et al. (2014) beschrieben ist. Das ERP-REF-Szenario wird in Kapitel 2.2 genauer erläutert. Das zweite Szenario beschreibt eine zukünftig mögliche Entwicklung, in der die zu untersuchenden Maßnahmen enthalten sind. In der vorliegenden Untersuchung wird hierfür ein Mit-Mehrinvestitionen-Szenario (MiMS) entworfen, welches einen besonders ambitionierten Klimaschutz repräsentiert. Als besonders ambitioniert wird in diesem Zusammenhang eine Klimaschutzpolitik angesehen, die bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Basisjahr 1990 die Treibhausgasemissionen um 95 Prozent reduziert. Als Richtschnur für die Ableitung dieses Szenarios dient das Klimaschuttszenario 95 (KS-95) der Klimaschuttszenarien 2050 (Repenning et al. 2015). Das KS-95 wird in dieser Studie jedoch nicht exakt repliziert, es dient vielmehr als Orientierung für einen Entwicklungspfad zur Erreichung des 95 Prozent Ziels im Jahr 2050.

Das MiMS wird für Handlungsfelder drei ausgewählter Leitmärkte erstellt. Die Auswahl der Leitmärkte und Handlungsfelder erfolgt anhand ihres Anteils an den deutschlandweiten Treibhausgasemissionen. Es wird angenommen, dass gerade in treibhausgasintensiven Bereichen zukünftig erhebliche Mehrinvestitionen in den Klimaschutz zu erwarten sind, um Emissionen in erheblichem Umfang zu reduzieren.

Die Energiewirtschaft ist deutschlandweit mit 40 Prozent der Sektor mit den höchsten Treibhausgasemissionen (UBA 2016). Aus diesem Grund werden im Leitmarkt „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ zur Minderung von Treibhausgasemissionen Investitionen in den Handlungsfeldern „Erneuerbare Energien“ sowie „Energiespeicher und Stromnetze“ betrachtet. 20 Prozent der in Deutschland emittierten Treibhausgase sind auf die Industrie, 13 Prozent auf private Haushalte zurückzuführen (UBA 2016). Ein erheblicher Teil der durch Privathaushalte hervorgerufenen Emissionen ist hierbei auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser zurückzuführen (Schlesinger et al. 2014). Im Leitmarkt „Energieeffizienz“ werden daher einerseits Investitionen in die energetische Gebäudesanierung und andererseits in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken betrachtet. Der Verkehrssektor ist für etwa 18 Prozent der gesamtdeutschen Emissionen verantwortlich (UBA 2016). Im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ werden diejenigen Handlungsfelder adressiert, die für eine zukünftige Reduktion von Treibhausgasen einen hohen infrastrukturellen Investitionsbedarf aufweisen. Betrachtet werden die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene im Handlungsfeld „Schienengüterverkehr“, der Auf- und Ausbau der Lade- und Oberleitungs-Infrastruktur für Elektro-Pkw und Oberleitungs-Lkw im Handlungsfeld „Motorisierter Straßenverkehr“ sowie der Ausbau von Fuß- und Radwegen im Handlungsfeld „Nicht-motorisierter Individualverkehr (NMIV)“. Im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ wird das rollende Material nicht erfasst. Die in den einzelnen Handlungsfeldern ermittelten Mehrinvestitionen fließen in das Modell PANTA RHEI ein.

Die gleichzeitige Auswahl der drei genannten Leitmärkte hat zur Folge, dass auch Interaktionen zwischen den Leitmärkten Berücksichtigung finden. Zu diesen übergreifenden Effekten einer Transformation in eine weniger treibhausgasintensive Gesellschaft gehört zum Beispiel eine treibhausgasärmere Energieerzeugung bei gleichzeitig steigender Energieeffizienz in der Industrie und steigender Elektrifizierung des Verkehrssektors.

Die Leitmärkte „Rohstoff- und Materialeffizienz“, „Kreislaufwirtschaft“ sowie die Landwirtschaft werden in dieser Studie nicht berücksichtigt, da sie aktuell für vergleichsweise niedrige Anteile an den

deutschlandweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. In den berücksichtigten Handlungsfeldern werden wiederum einzelne Klimaschutzmaßnahmen mit einem besonders hohen vermuteten Investitionsbedarf betrachtet. Im Handlungsfeld „Erneuerbare Energien“ wird daher zum Beispiel die Erzeugung von Wärme nicht berücksichtigt, da der Investitionsbedarf hierfür deutlich niedriger eingeschätzt wird als für die Erzeugung von Elektrizität.

Die Fokussierung auf ausgewählte Leitmärkte, Handlungsfelder und Klimaschutzmaßnahmen liegt im Ansatz der Studie begründet, gesamtwirtschaftliche Effekte von einzelnen Investitionsimpulsen zu untersuchen, die für eine ambitionierte Klimaschutzpolitik Deutschlands als erforderlich erachtet werden. Mit diesem Ansatz wird erreicht, dass die Investitionssummen und die gesamtwirtschaftlichen Effekte der ausgewählten Klimaschutzmaßnahmen direkt miteinander verglichen werden können. Der Entwurf eines vollständigen Szenarios einer ambitionierten Klimaschutzpolitik bis zum Jahr 2030 bleibt anderen Studien vorbehalten.

In den Leitmärkten „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ und „Energieeffizienz“ werden die Investitionen als Differenz zwischen Referenz- und MIS auf Basis von physischen Größen (z.B. Ausbauraten der erneuerbaren Energien, Sanierungsrate für Gebäude) eigenständig berechnet. Die physischen Einheiten für das MIS werden, sofern möglich, in Anlehnung an das KS-95 (Repenning et al. 2015) festgelegt.

Im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ werden die Mehrinvestitionen für einzelne Handlungsfelder nicht selbst berechnet, sondern teilweise direkt aus anderen Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes (UBA) übernommen. Dies hat zur Folge, dass die gewählten Zielwerte vom Ambitionsniveau des KS-95 abweichen können. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass die diesen Studien zugrunde liegenden physischen Einheiten möglichst genau dem ERP-REF-Szenario und dem KS-95 entsprechen.

Darüber hinaus werden Annahmen über die Aufteilung der Mehrinvestitionen auf den Staat, die privaten Haushalte und Unternehmen getroffen. Auswirkungen der Mehrinvestitionen auf andere Bereiche der deutschen Volkswirtschaft, zum Beispiel durch Engpässe auf dem Arbeitsmarkt (vgl. Abbildung 9; bis 2030 sinkt die Erwerbslosigkeit auf ca. zwei Mio. Personen), werden im Modell berücksichtigt. Die Mehrinvestitionen werden für jedes Jahr im Untersuchungszeitraum 2016 bis 2030 angegeben. Neben den jährlichen und nach staatlichen und privaten Akteuren aufgeschlüsselten Mehrinvestitionen fließen darüber hinaus die im Vergleich zum Referenzszenario erzielten Energieeinsparungen in das Modell ein.

2.2 Das Referenzszenario

Zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen und des Energiesystems in Deutschland werden regelmäßig Prognosen und Projektionen erstellt, beispielsweise die Energiereferenzprognose des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)¹ und die Klimaschutzszenarien² im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Die aktuellen Versionen des jeweiligen Referenzszenarios (in der Energiereferenzprognose als Referenzszenario ERP-Ref, in den Klimaschutzszenarien als allgemeine Maßnahmen Szenario AMS bezeichnet) sehr ähnlich.³ Daher wird auch in dieser Untersuchung das ERP-REF-Szenario als Referenz herangezogen. Dieses Referenzszenario enthält alle Klimaschutzmaßnahmen, die bis 2015 bereits beschlossen sind, jedoch keine zu-

¹ Die früheren Versionen wurden unter dem Titel Energiereport veröffentlicht. Die aktuelle Energiereferenzprognose ist Schlesinger et al. (2014).

² Diese wurden regelmäßig unter dem Titel Politiksznarien veröffentlicht. Das aktuelle Klimaschutzszenario ist Repenning et al. (2015).

³ Die nachfolgende Zusammenstellung beruht im Wesentlichen auf der Zusammenschau durch Öko-Institut, ISI und IREE-ES, in der aktuellen Fassung vom Juni 2016 (Studie: Überblick über vorliegende Szenarienarbeiten für den Klimaschutz in Deutschland bis 2050)

sätzlichen klimapolitischen Anstrengungen. Damit würden die Ziele des Klimaschutzes, das heißt die angestrebte Minderung der Treibhausgasemissionen und der Energiewende, d.h. der angestrebte Ausbau der Erzeugungskapazität aus erneuerbaren Energiequellen, gleichermaßen verfehlt. Zur Einordnung der Ergebnisse sei darauf hingewiesen, dass die Energiereferenzprognose wirtschaftlich etwas aktiver ist als die Wirtschaft im Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (AMS) bei Repenning et al. (2015). Letztlich zeigt sich dies in höherer Produktion und höherem BIP.

Bezüglich der Treibhausgasemissionen werden die Ziele in beiden Szenarien erheblich verfehlt: Sie liegen im Jahr 2030 in einer Größenordnung von 770 Mio. Tonnen Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Äquivalent im AMS und 768 Tonnen CO₂-Äquivalent im ERP-REF-Szenario. Auch sektoral ähneln sich die beiden Ausgangsszenarien erheblich: Der größte Teil mit 274 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent (272 Mio. Tonnen) entfällt auf die Energiewirtschaft, 98 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent (96 Mio. Tonnen) auf die Industrie sowie 55 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent (61 Mio. Tonnen) auf die Haushalte; hier ist das ERP-REF-Szenario etwas optimistischer.

Für die vorliegende Untersuchung sind kleinere Aktualisierungen der Datensätze des Referenzszenarios vorgenommen worden. So sind die Installationen von erneuerbaren Energien bis einschließlich 2015 aktuell angepasst worden. Dieses Vorgehen entspricht dem Vorgehen in Blazejczak et al. (2017). Das Jahr 2015 wurde somit als Ausgangsjahr für die simulierte Zukunftsentwicklung in den Szenarien angesetzt. Die Entwicklung des Ölpreises in diesem Jahr wurde ebenfalls berücksichtigt und die zukünftige Entwicklung an aktuelle Projektionen der Internationalen Energie Agentur (IEA) angepasst. Dies ist von Bedeutung, weil die Werte eingesparter Importe vom Weltmarktpreis abhängen.

Die zweite Anpassung im vorliegenden Referenzszenario besteht in der Verwendung der aktuellsten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes. Da die Bevölkerung dort höher ist, sind auch der Energiebedarf, das BIP und die arbeitende Bevölkerung dadurch größer. Auf die Auswirkungen der Bevölkerungsvorausberechnung wird in Abschnitt 3 näher eingegangen.

Eine Übersicht über zentrale Größen des verwendeten Referenzszenarios findet sich in Anhang 1. Die Wahl eines solchen Szenarios ist für die späteren Ergebnisse ausschlaggebend, denn die Abschätzungen der Auswirkungen verstärkter Klimaschutzinvestitionen beruhen auf einem modellgestützten Szenarienvergleich. Die Differenz zwischen verschiedenen ökonomischen Ergebnisgrößen unter den Annahmen des Referenzszenarios und des MiMS wird als gesamtwirtschaftlicher Effekt interpretiert. Mit der Wahl des Referenzszenarios liegt der Datensatz für die Entwicklung ohne weitere Maßnahmen fest.

2.3 Das Mit-Mehrinvestitionen-Szenario

Im Folgenden wird auf das MiMS und die in dieser Studie berücksichtigten Handlungsfelder näher eingegangen. Im Detail werden jeweils das Ambitionsniveau des MiMS und die Berechnung der Mehrinvestitionen im Vergleich zum Referenzszenario diskutiert. Hierbei wird jedoch kein integrierter Ansatz verfolgt, sodass das MiMS keine Beschreibung einer vollständigen alternativen Entwicklung der deutschen Volkswirtschaft unter ambitionierten Klimaschutzzielen bis zum Jahr 2030 darstellt. Im MiMS werden vielmehr im Vergleich zu einem Referenzszenario einzelne Maßnahmen hinzugenommen. Die Folgen von möglicherweise in Zukunft eintretenden tiefgreifenden Entwicklungen, die im Referenzszenario nicht enthalten sind, wie zum Beispiel ein Mehrverbrauch von Strom durch einen möglicherweise stark zunehmenden Einsatz von Robotik, bleiben außen vor.

Die betrachteten Handlungsfelder sind dem Leitmarkt „Erneuerbare Energien, Netze und Energiespeicher“ sowie den Leitmärkten „Energieeffizienz“ und „Nachhaltige Mobilität“ zugeordnet. Für die Erstellung des MiMS und die Berechnung der Mehrinvestitionen wurde eine breit angelegte Literaturrecherche durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden erläutert werden. Darüber hinaus wird auf die mit den Mehrinvestitionen verbundenen Energieeinsparungen eingegangen.

Einschränkend sei an dieser Stelle bereits erwähnt, dass im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ keine Energieeinsparpotenziale angegeben werden können, da die dafür benötigten Zahlen in denjenigen Studien, aus denen die Mehrinvestitionen entnommen wurden, nicht vorliegen. Außerdem berücksichtigt das MiMS zwar die Verlagerungen der Mobilität auf klimaschonendere Antriebstechnologien, zum Beispiel die Verlagerung des Güterverkehrs von konventionell angetriebenen Lkw auf Elektro-Lkw oder auf die Schiene, nicht jedoch Energieeinsparpotenziale durch Effizienzsteigerungen bei bestehenden Antriebstechnologien.

2.3.1 Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

Der größte Anteil der Treibhausgasemissionen in Deutschland entfällt auf die Energiewirtschaft. Da zudem in der Energiewirtschaft in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht im Vergleich zu anderen Sektoren große Minderungspotenziale vorhanden sind (Pfeiffer et al. 2016), empfehlen Szenarien eines ambitionierten Klimaschutzes für die Energiewirtschaft überproportionale sektorale Emissionsminderungen. In Repenning et al. (2015) zum Beispiel werden für Minderungen der Gesamtemissionen Deutschlands um 80-95 Prozent für die Energiewirtschaft Reduktionen um 92-96 Prozent berechnet. Die Energiewirtschaft ist damit eines der zentralen Handlungsfelder eines ambitionierten Klimaschutzes.

2.3.1.1 Handlungsfeld Erneuerbare Energien

Innerhalb der Energiewirtschaft werden die meisten Treibhausgase bei der Stromerzeugung freigesetzt. Die Ausbauraten der Gesamterzeugungskapazität von Wind- und Solarenergieanlagen haben daher eine besonders große Bedeutung für den Klimaschutz. Im Referenzszenario werden für den Zeitraum 2011 bis 2030 jährliche Ausbauraten der Erzeugungskapazität durch Windenergie (onshore) von 1,0 GW pro Jahr, für Windenergie (offshore) von 0,6 GW pro Jahr und für Photovoltaik von 2,3 GW pro Jahr angenommen (Schlesinger et al. 2014). Im KS-80 sind für den Zeitraum 2012 bis 2030 durchschnittliche Ausbauraten der Windenergie (onshore) von 2,2 GW pro Jahr, der Windenergie (offshore) von 0,8 GW pro Jahr und von Photovoltaik von 2,3 GW pro Jahr enthalten (Repenning et al. 2015). Eventuelle Ersatzinvestitionen, die bei bereits bestehenden Energieanlagen anfallen, sind hier bereits herausgerechnet. Es handelt sich also um Nettoausbauraten.

Ein ambitionierter Klimaschutz, der eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 Prozent bis 2050 erreicht, erfordert allerdings Kapazitätserweiterungen, die über die Annahmen in diesen Studien hinausgehen. Im KS-95 liegen die durchschnittlichen jährlichen Ausbauraten zwischen 2012 und 2030 für Windenergie (onshore) bei 2,6 GW pro Jahr, für Windenergie (offshore) bei 0,8 GW pro Jahr und für Photovoltaik bei 2,4 GW pro Jahr (Repenning et al. 2015). Vor dem Hintergrund der Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, die 2017 in Kraft tritt, erscheinen diese Ausbauraten für ein ambitioniertes Klimaschutzszenario plausibel. Die Ausbauraten des KS-95 werden in der vorliegenden Studie daher übernommen. Da sich die Ausbauraten für Biomasse bzw. Biogasanlagen im Referenzszenario und dem KS-95 kaum unterscheiden, wird angenommen, dass im Investitions- im Vergleich zum Referenzszenario keine zusätzlichen Bioenergieanlagen errichtet werden.

Insgesamt ergibt sich im MiMS eine Ausbaurate der Gesamterzeugungskapazität von erneuerbaren Energien um 5,8 GW pro Jahr und damit deutlich mehr als die Ausbaurate von 3,9 GW im Referenzszenario. Im MiMS steigt der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung damit auf über 80 Prozent im Jahr 2030, im Vergleich zu etwa 55 Prozent im Referenzszenario. Der Unterschied lässt sich zum Teil auf einen insgesamt niedrigeren Bruttostromverbrauch und damit eine niedrigere Bruttostromerzeugung zurückführen. Sie liegt 2030 im MiMS bei etwa 388 TWh, im Referenzszenario bei 592 TWh. Vor allem in der Industrie und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, der in der Energiebilanzabgrenzung auch die Energiebedarfe der öffentlichen Einrichtungen, Schulen, Krankenhäuser usw. umfasst, wird Energie und eben auch Strom eingespart. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergiebedarf steigt bis 2030 im MiMS auf 40,6 Prozent, im Referenzszenario auf

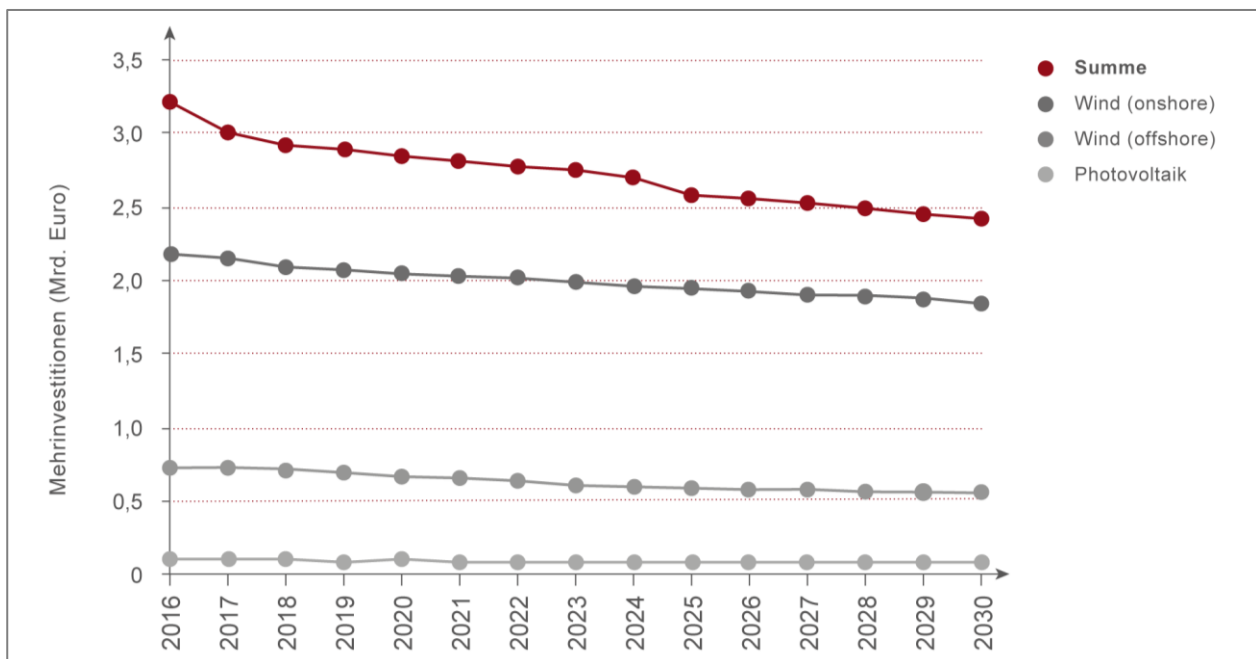
30,7 Prozent. Der zusätzliche Ausbau der Erzeugungskapazität von erneuerbaren Energien im MiMS macht einen zusätzlichen Ausbau des Stromnetzes und von Energiespeichern erforderlich. Dies wird in Kapitel 2.3.1.2 behandelt.

Zur Bestimmung der Mehrinvestitionen im MiMS wurden aus den Ausbaupfaden im KS-95 und dem Referenzszenario zusätzliche Ausbauraten ermittelt. Diese wurden anschließend mit spezifischen Kosten der verschiedenen erneuerbaren Energiequellen multipliziert. Die Kosten der einzelnen Technologien sind im Modell PANTA RHEI basierend auf Eingangsgrößen aus dem Forschungsvorhaben „Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen“, das die Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung zusammen mit weiteren Partnern durchführte (Lehr et al. 2015), hinterlegt (siehe Anhang 3). Die Preise für 14 verschiedene Erneuerbare Energien-Technologien werden mithilfe des Rechentools ARES des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt ermittelt. Diese Daten werden regelmäßig aktualisiert und liegen beispielsweise auch den Berechnungen für die Energy [R]evolution Reihe von Greenpeace zugrunde.

Die offshore Windenergie ist die jüngste der im MiMS berücksichtigten Technologien der erneuerbaren Energien und mit etwa 3.700 €/kW im Szenario die teuerste, wobei die aus den Ergebnissen jüngere Ausschreibungsrunden zu vermutende Kostensenkungen nicht berücksichtigt wurden. Das Kostensenkungspotenzial wird in Lehr et al. (2015) mit zwei bis drei Prozent jährlich geschätzt, sodass insgesamt bis zum Jahr 2030 ca. 30 Prozent Kostensenkung erreichbar sind. Für onshore Anlagen liegen die derzeitigen mittleren Preise zwischen 980 und 1.380 €/kW, inklusive Transport und Installation. Die Investitionsnebenkosten (Fundament, Netzanbindung, Erschließung, Planung und sonstige Kosten) liegen bei ca. 400 €/kW (Lüers et al. 2015). Das Szenario startet bei gut 1.360 €/kW im Jahr 2016 und bildet eine Kostendegression von 0,6 Prozent im Durchschnitt ab. Für Photovoltaikanlagen zeigt die historische Entwicklung ein Plateau bei etwa 1.100 €/kW (Lehr et al. 2015). Die spezifischen Investitionen starten bei etwa 1.100 €/kW im Jahr 2016 und sinken bis 2030 auf etwa 960 €/kW. Die erneuerbaren Energien entfalten über die Investitionstätigkeit positive ökonomische Effekte. Die Preise für den EE Strom sind den Vergütungen nach EEG und der dort hinterlegten Degression zu entnehmen. Nach Abschluss der letzten Ausschreibungsrunde für Windenergie liegt das höchste Gebot mit Zuschlag bei 5,78 ct/kWh, die letzte Ausschreibungsrunde PV lag das höchste noch bezuschlagte Gebot bei 6,75 ct/kWh.

Die Mehrinvestitionen in erneuerbare Energien, die sich aus diesen Annahmen ergeben, sind in Abbildung 2 dargestellt. Sie betragen im Jahr 2016 etwa drei Mrd. Euro und nehmen als Folge von Lerneffekten über die Zeit ab. Die größten Summen werden im Jahr 2016 in den Ausbau von onshore Windenergieanlagen investiert, etwa 2,2 Mrd. Euro, gefolgt von offshore Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen mit etwa 0,7 und 0,1 Mrd. Euro (Abbildung 2). Die Ersatzinvestitionen für Energieanlagen, die schon im Referenzszenario bestehen, sind im Referenzszenario bereits enthalten. Für die zusätzlichen Anlagen des MiMS fallen bis 2030 auf Grund des kurzen Zeitfensters noch keine Ersatzinvestitionen an. Insgesamt sind somit im MiMS im Vergleich zum Referenzszenario im betrachteten Zeitraum keine zusätzlichen Ersatzinvestitionen erforderlich. Dies erklärt die lineare Entwicklung der Mehrinvestitionen bis 2030. Da die Ausbauraten als zeitlich konstant angenommen werden, ist die zeitliche Entwicklung der Mehrinvestitionen durch die Kostendegression geprägt (Abbildung 1).

Abbildung 1: Jährliche Mehrinvestitionen in den Ausbau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen



Quelle: eigene Darstellung, adelphi/GWS

2.3.1.2 Handlungsfeld Energiespeicher und Stromnetze

Die zunehmende Stromerzeugung aus Wind und Sonne erhöht den Bedarf an Flexibilität im deutschen Stromsystem. Wind und Sonne fluktuieren im Tages- und Jahresverlauf und erschweren dadurch den Erhalt der Versorgungssicherheit (Schill et al. 2015). Eine Herausforderung stellt dabei die Einspeisung der erneuerbaren Energien bei gleichzeitiger Gewährleistung der Netzstabilität auf Niederspannungsebene dar. Voraussetzung für die Stabilität des Netzes ist, dass Frequenz und Spannung konstant innerhalb ihrer definierten Parameter liegen (Agricola et al. 2014). Die Flexibilitätsoptionen schaffen aber auch die Grundlage dafür die Kapazität der erneuerbaren Energien vollständig zu nutzen, sodass keine Abregelung notwendig wird. Im Handlungsfeld „Energiespeicher und Stromnetze“ werden diesbezüglich die Flexibilitätsoptionen Netzausbau sowie Ausbau von Speichertechnologien betrachtet.

Im Referenzszenario wird die Integration der erneuerbaren Energien mit einem Anteil an der Stromerzeugung von 55 Prozent in 2030 im Wesentlichen durch die im Netzentwicklungsplan bereits festgeschriebenen Entwicklungspfade für den Netzausbau (insb. innereuropäischer Netzausbau) sichergestellt. Der Netzausbau ist erforderlich, um die dezentrale Energieversorgung mit einer hohen Stromqualität abzusichern und um die Energie erzeugt durch Offshore-Anlagen in ganz Deutschland nutzen zu können. Die im Referenzszenario hinterlegten Investitionen in den Netzausbau (alle Netzebenen) betragen jährlich vier Mrd. Euro und umfassen neben Erweiterungs- auch Ersatzinvestitionen. Neben der physischen Erweiterung des Netzes zielen die Investitionen vor allem auf die Schaffung intelligenter Netze, sogenannter „Smart Grids“, ab. Im Referenzszenario ist ein Ausbau der Speicherkapazitäten für die Netzintegration der erneuerbaren Energien nicht systemrelevant und daher mit 5,5 GW bis 2030 relativ gering. In 2030 wird lediglich eine jährliche Investition von 613 Mio. Euro in Speichertechnologien erwartet (Fürstenwerth und Waldmann 2014, Pape et al. 2014).

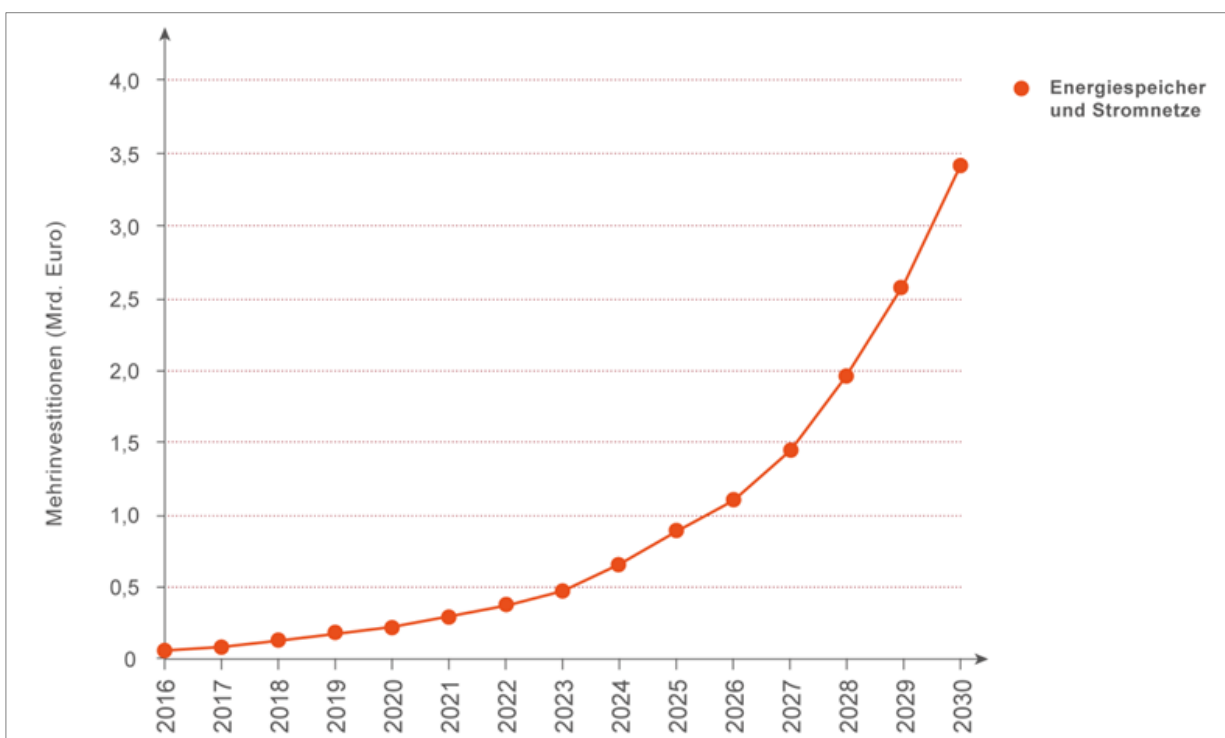
Im MiMS werden die erneuerbaren Energien um rund ein Drittel stärker ausgebaut als im Referenzszenario. Wir gehen davon aus, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung im Jahr 2030 80 – 85 Prozent beträgt und damit ambitionierter verlaufen wird als im KS-95 (Repenning et al. 2015), welches von einem Anteil von ca. 69 Prozent ausgeht. Dabei berücksichtigen das KS-80 und vor allem das KS-95 keinen optimierten Zubau von Flexibilitäten und Speichern und untersuchen

diesen nicht umfangreich. Es finden sich lediglich Verweise auf Langzeitspeicher. Die hierfür benötigte zusätzliche Flexibilität wird im MiMS mittels eines erheblichen Ausbaus der Speichertechnologien erreicht. Diese erlauben eine zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch und können so Über- bzw. Unterdeckungen abfedern. Im Wesentlichen werden Stromspeicher, welche sich in Kurzzeit- (z.B. Li-Ionen Batterien) und Langzeitspeicher (z.B. Power-to-Gas) aufteilen lassen, sowie thermische Speicher für sensible Wärme betrachtet (Pape et al. 2014). Es wird angenommen, dass die zusätzlich installierte Speicherleistung für Strom und Wärme bis zum Jahr 2030 ca. 31 GW beträgt, was den Wert aus dem Referenzszenario (5,5 GW) deutlich übertrifft. Die prognostizierten Werte für das Jahr 2030 stammen aus Studien von Fürstenwerth und Waldmann 2014, Doetsch et al. 2014 und Wunsch et al. 2011. Für den Ausbaupfad wurde eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 35 Prozent angenommen.

Für die Installation der Speicherleistungen und Stromnetze werden im Jahr 2030 zusätzliche jährliche Investitionen von ca. 3,4 Mrd. Euro benötigt. Den größten Teil (2,4 Mrd. Euro) tätigen das verarbeitende Gewerbe, die Energieversorgungsunternehmen und die Netzbetreiber (Fürstenwerth und Waldmann 2014). Die privaten Haushalte tragen 0,75 Mrd. Euro und der Staat 0,25 Mrd. Euro, um Anreize für eine schnellere dezentrale Installation von Energiespeichern zu schaffen. Die staatliche Investition ergibt sich aus einer möglichen staatliche Förderung für Speicherlösungen ausschließlich im privaten Bereich – hier wurde eine Förderung in Höhe von 25% der Investitionskosten angenommen. Diese Förderung kann auch durch Steuervergünstigungen erzielt werden. Im gewerblichen Bereich werden vor allem die Wirtschaftlichkeit der Energiemanagementlösungen oder regulatorische Rahmenbedingungen verantwortlich für Investitionen sein.

Die zeitliche Entwicklung der Mehrinvestitionen ist in Abbildung 3 dargestellt. Diese Mehrinvestitionen werden durch die Aktivität der Marktteilnehmer im Bereich der Speicher getrieben, die die immer wirtschaftlicher werdenden Energiespeicher stärker nachfragen werden. Mehrinvestitionen in das Stromnetz finden nicht statt. Notwendige Investitionen in den Netzausbau und –instandhaltung finden in beiden Szenarien statt, führen aber nicht zu Mehrinvestitionen.

Abbildung 2: Jährliche Mehrinvestitionen in Energiespeicher und Stromnetze



Quelle: eigene Darstellung Roland Berger, basierend auf Fürstenwerth und Waldmann (2014)

Den zusätzlichen Investitionen stehen jährliche Kosteneinsparungen von 1,4 Mrd. Euro allein im Jahr 2030 entgegen. Alle Akteure profitieren hierbei von eingesparten Netzentgelten und durch den Verzicht auf einen weiteren Netzausbau. Besonders energieintensive Unternehmen können zusätzliche Einsparungen durch die Abfederung von Spitzenlasten und die Erbringung von Regelenergie in Höhe von bis zu 800 Mio. Euro im Jahr 2030 erzielen. Private Haushalte, die Strom bzw. Wärme beispielsweise durch Solarthermie oder Photovoltaik selbst erzeugen, können durch den Einsatz von kompatiblen Speichertechnologien ihren Eigenverbrauch erhöhen. Dies führt im Jahr 2030 zu niedrigeren Energiekosten für die privaten Haushalte von ca. 380 Mio. Euro.

In Summe ergeben sich für die privaten Haushalte im Jahr 2030 Netto-Investitionen in Höhe von 370 Mio. Euro bei einer Gesamtsumme von 1.000 Mio. Euro – also lediglich 37% der Gesamtinvestitionen. Das direkte Emissionsminderungspotenzial aller Investitionsmaßnahmen des MiMS im Vergleich zum Referenzszenario beträgt 2,1 Mio. CO₂-Äquivalent im Jahr 2030.

2.3.2 Leitmarkt Energieeffizienz

Damit der notwendige überproportionale Beitrag zur Treibhausgasminderung in der Energiewirtschaft geleistet werden kann, ist unter anderem die Erschließung der Effizienzpotentiale notwendig. Zentrale Bedeutung haben in diesem Zusammenhang Effizienzmaßnahmen in der Industrie sowie bei Gebäuden. Aus diesem Grund werden im Leitmarkt „Energieeffizienz“ die Handlungsfelder „Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken“ sowie die „energetische Gebäudesanierung“ betrachtet.

2.3.2.1 Handlungsfeld Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken

Mit unterschiedlichem Tempo und unterschiedlicher Intensität verändert die digitale Transformation ganze Industriezweige und Branchen. Digitalisierung im engeren Sinne meint die Umwandlung und Verarbeitung analoger in digitale Daten. Dabei werden in diesem Bericht Energieeffizienzsteigerungen betrachtet, die durch die Digitalisierung angestoßen werden. Im Zeitraum 2002 bis 2013 ist die Energieintensität nur um durchschnittlich 0,3 Prozent pro Jahr zurückgegangen (Angaben laut Lehr et al. 2016). Um die Ziele des Energiekonzeptes der Bundesregierung zu erreichen und die Energieproduktivität um 2,1 Prozent pro Jahr zu steigern, muss der industrielle Sektor einen deutlich stärker sinkenden Energiebedarf bis ins Jahr 2030 zeigen.

Im Handlungsfeld „Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken“ werden vor allem energieintensive Branchen, wie beispielsweise die Metallerzeugung, die Grundstoffchemie oder die Kunststoffverarbeitung betrachtet (Dorst 2016). Referenz- und MiMS unterscheiden sich hinsichtlich des Durchdringungsgrads der Digitalisierung, welcher die Nachfrage nach Investitionen in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken bestimmt. Der digitale Durchdringungsgrad bezieht sich auf den Anteil von Prozessen und Anlagen, bei denen digitale Daten (z.B. Big Data), Vernetzung (z.B. Maschinen-zu-Maschinen Kommunikation), Automatisierung (z.B. der Datenverarbeitung) oder digitale Schnittstellen (z.B. Fernzugriff mittels einer App durch Kundinnen und Mitarbeiterinnen) zum Einsatz kommen und damit zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen.

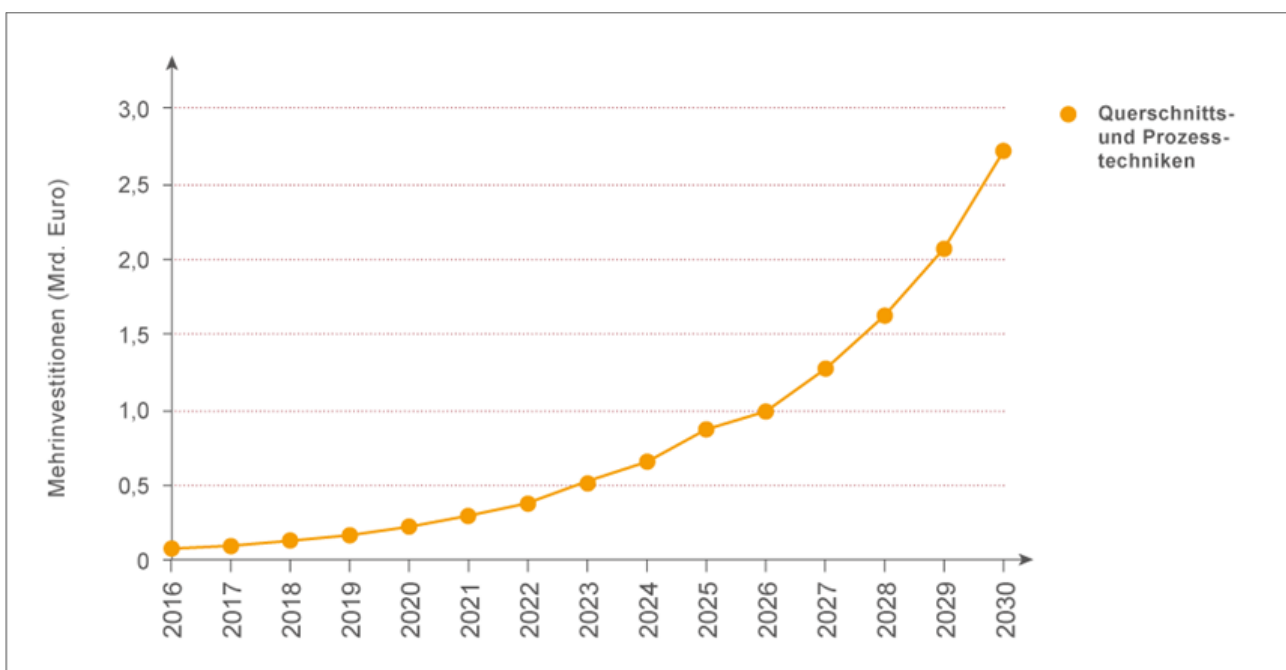
Im Referenzszenario wird die Nachfrage überwiegend von innovativen Verbesserungen der Energieeffizienz getrieben, insbesondere durch technologische Entwicklungen in der Sektorenkopplung (Strom/Wärme): beispielsweise der Kraft-Wärme-Kopplung, der Abwärmenutzung und der Wärmeverstromung. Ausgehend von einem Wert von einem Prozent im Jahr 2015 wurde für die Steigerung des Durchdringungsgrads eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von zehn Prozent angenommen. Im Referenzszenario spielt die Digitalisierung mit einem daraus folgenden Durchdringungsgrad von rund vier Prozent im Jahr 2030 eine vergleichsweise geringe Rolle. Im Referenzszenario liegen die Investitionen in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken (z.B. effiziente elektrische Antriebe, Produktionsverfahren und Mess-/Steuer-/Regeltechnik) im Jahr 2030 bei rund 350 Mio. Euro.

Im MiMS wird von einem deutlich erhöhten digitalen Durchdringungsgrad von 54 Prozent im Jahr 2030 ausgegangen (BMW 2015; BMW 2016; BMUB 2016). Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate beträgt ab 2016 bis 2025 31 Prozent und sinkt ab 2025 bis 2030 auf 27 Prozent. Dadurch verändert sich der Verlauf der jährlichen Mehrinvestitionen in Abbildung 3 zwischen den Jahren 2025 und 2026.

Mit der Steigerung des digitalen Durchdringungsgrades sind zusätzliche Investitionen in effiziente Querschnitts- und Prozesstechniken verbunden. Erst durch die Vernetzung und den Datenaustausch entlang der gesamten Produktion und Wertschöpfungskette können regelbare elektrische Antriebe, Energiemanagementsysteme, Energierückgewinnungsanlagen oder effiziente Kälte- und Druckluftanlagen ihre vollen Effizienzpotenziale entfalten. Die Wirtschaftlichkeit solcher integrierten und vernetzten Systeme liegt häufig wesentlich über der von Einzellösungen und steigert somit die Investitionsbereitschaft der Unternehmen in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechnologien. Ein Beispiel für die neuen Potenziale der Digitalisierung zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Fertigung bieten integrierte Energiemanagement Technologien. Speicherprogrammierbare Steuerungen versetzen Maschinen und Anlagen in die Lage, den Grad ihrer Energieeffizienz zu kommunizieren. Dementsprechend agiert die Steuerungseinheit und dirigiert auf Basis der erhaltenen Informationen die Produktionsanlage. Der Einsatz von energieeffizienten Antrieben, die in der Lage sind ihre Leistungserbringung anzupassen, wird stimuliert. Die Digitalisierung wird zu einem Treiber für den Einsatz von Effizienztechnologien in der Industrie. Im MiMS werden 2030 rund drei Mrd. Euro investiert.

Die Lerneffekte werden in den Berechnungen durch die maximal geleistete Einsparung an Energie durch die Digitalisierung dargestellt. Diese Einsparung durch die Digitalisierung wird in den nächsten Jahren auf 15%, gerechnet auf die aktuellen Energiekosten, geschätzt. Den Weg dahin beschreibt die Hochlaufkurve, sie ist also analog zum Digitalisierungsgrad.

Abbildung 3: Jährliche Mehrinvestitionen in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken



Quelle: eigene Darstellung, Roland Berger

Die Industrie tätigt 95 Prozent der Investitionen. Die restlichen Investitionen werden durch den Staat getragen, der durch Förderprogramme für Energieeffizienzprojekte und intelligente Produktionstechniken die Unternehmen unterstützt.

Durch die Investitionen in effiziente Querschnitts- und Prozesstechniken – ausgelöst durch die Digitalisierung – ergeben sich für die Unternehmen zusätzliche Einspareffekte im Bereich Wärme und Strom. Industrieunternehmen profitieren von einem reduzierten Energiebedarf von durchschnittlich 15 Prozent (Richter 2015, Plessing 2015). Insgesamt können so im MiMS - durch die Mehrinvestitionen bis ins Jahr 2030 - jährlich sieben Mrd. Euro an Energiekosten gegenüber dem Referenzszenario ab 2030 eingespart werden, wobei drei Mrd. Euro auf Einsparungen im Bereich Strom und vier Mrd. Euro auf die Wärmeenergie (auch in Form von fossilen Energieträgern) entfallen (AGEB 2015). Diese Einsparungen ergeben sich vorrangig aus dem eingesparten Energiebedarf, der im Jahr 2030 117 TWh beträgt. Der verbleibende Gesamtenergieverbrauch der Industrie wird damit von 687 TWh auf 558 TWh im Jahr 2030 verringert. Eine weitere Verringerung auf 511 TWh, wie sie im KS-95 (Repenning et al. 2015) vorgesehen ist, kann nur mit höheren Mehrinvestitionen und einer intensiveren Entwicklungsdynamik erreicht werden. Zum Vergleich im Referenzszenario kann der Energiebedarf durch die Digitalisierung lediglich um 25 TWh gesenkt werden. Die Senkung des Energiebedarfs resultiert in einem Emissionsminderungspotenzial des MiMS im Vergleich zur Referenz von 27,7 Mio. CO₂-Equivalent im Jahr 2030.

2.3.2.2 Handlungsfeld Energetische Gebäudesanierung

Der Anteil des Gebäudebereichs am Endenergiebedarf Deutschlands beträgt etwa 40 Prozent. Hiervon entfallen etwa zwei Drittel auf Wohngebäude und ein Drittel auf Nichtwohngebäude (dena 2012). Durch Investitionen in energetische Sanierungsmaßnahmen kann die Effizienz des Energieeinsatzes in Gebäuden deutlich gesteigert werden (UBA 2016).

Um die Emissionen von Treibhausgasen zu senken, wird im Energiekonzept der Bundesregierung bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand gefordert (BMW und BMU 2010). Die Formulierung „nahezu klimaneutral“ lässt allerdings offen, welche Reduktion des Endenergiebedarfs angestrebt wird. In einer aktuellen Studie von Bürger et al. (2016) wird im ambitioniertesten Szenario eine Senkung des Endenergiebedarfs um 60 Prozent bis 2050 und um 22 Prozent bis 2030 relativ zu 2008 erreicht. Im KS-95 wird zur Erreichung dieses Ziels ein Rückgang des Endenergiebedarfs im Gebäudebereich um 66 Prozent bis 2050 und um 42 Prozent bis 2030 relativ zu 2008 veranschlagt (Repenning et al. 2015). Für das Jahr 2030 bedeutet dies eine Reduktion des Endenergiebedarfs im Vergleich zum Referenzszenario AMS um 128 TWh (Repenning et al. 2015).

Die zentralen Kenngrößen der energetischen Gebäudesanierung und damit auch des vorliegenden Szenarios sind die energetische Sanierungsrate und die Sanierungstiefe. Die energetische Sanierungsrate ist definiert als der Anteil der pro Jahr energetisch sanierten Grundfläche an der Gesamtgrundfläche (Böhmer und Thamling 2013). Sie bezieht sich hier auf sogenannte Vollsaniierungen, das heißt Sanierungen der Gebäudehülle (Dach, Außenwand, Fenster, Keller) und der Heizungs- und Warmwasseranlagen. Teilsanierungen werden hierbei mit Gewichtungsfaktoren in Vollsaniierungsäquivalente umgerechnet. Bei den betrachteten Gebäuden wird zwischen Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH), Mehrfamilienhäusern (MFH) und Nichtwohngebäuden (NWG) unterschieden. Für EZFH und MFH werden die heutigen Sanierungsraten aus dem ERP-REF übernommen, die für das Jahr 2015 bei 1,24 Prozent (EZFH) und 1,75 Prozent (MFH) liegen. Für NWG wird aufgrund fehlender Daten eine heutige Sanierungsrate von einem Prozent angesetzt. Für jede der drei Gebäudekategorien wird in Anlehnung an Repenning et al. (2015) ein linearer Anstieg der energetischen Sanierungsrate vom heutigen Wert auf ein Zielniveau von 3,7 Prozent im Jahr 2030 angenommen.

Zum Vergleich: Im Energiekonzept der Bundesregierung wird eine Sanierungsrate von zwei Prozent angestrebt, wobei zum zeitlichen Verlauf keine Angaben gemacht werden (BMW und BMU 2010). Die Annahme eines gleitenden Anstiegs der Sanierungsrate in der vorliegenden Untersuchung resultiert aus der Tatsache, dass der Aufbau eines Sanierungsmarktes, der energetische Modernisierungen im erforderlichen Volumen und insbesondere der erforderlichen Tiefe leisten kann, einen zeitlichen Vorlauf benötigt (Bürger et al. 2016).

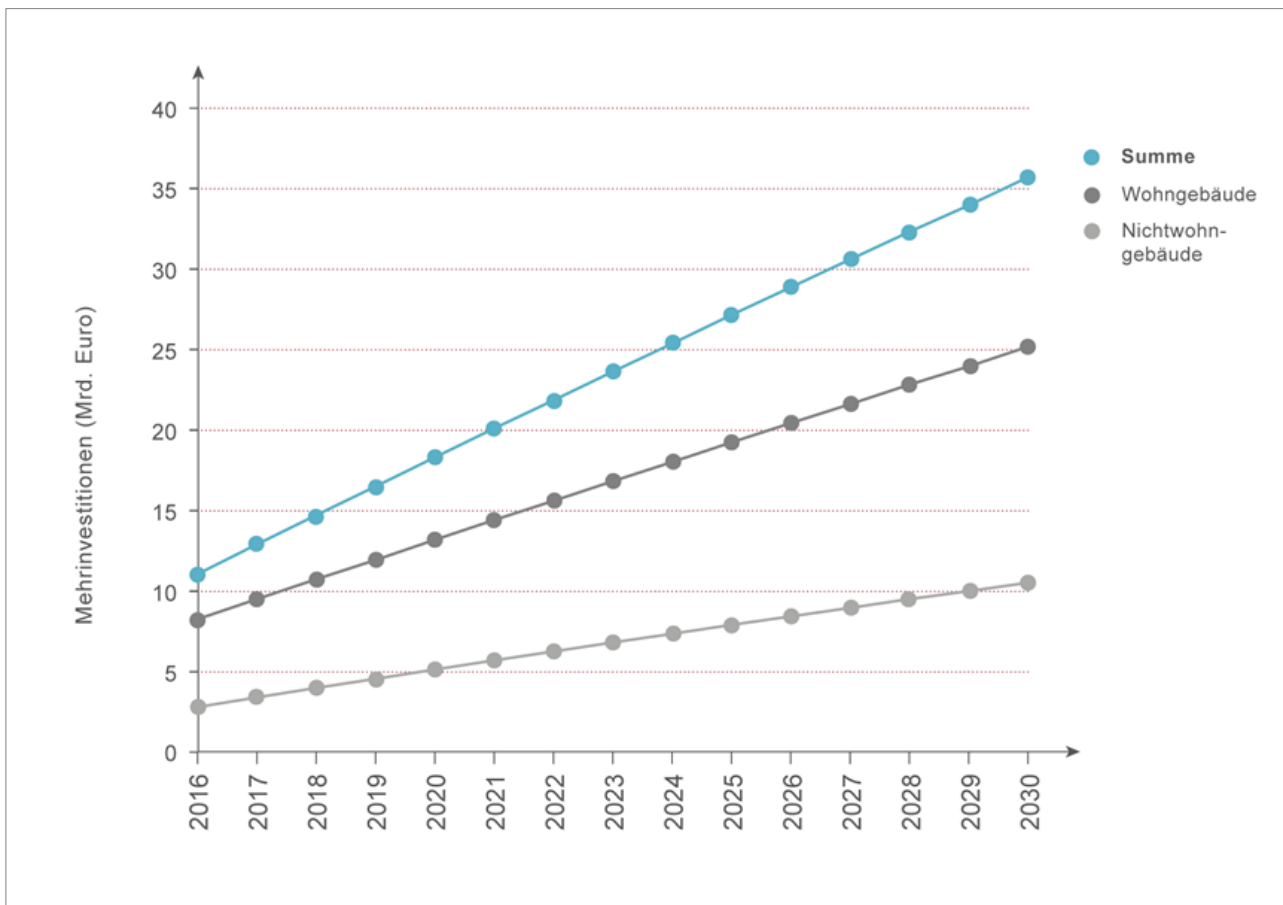
Die Sanierungstiefe wird aus dem KS-95 (Repenning et al. 2015) abgeleitet. Der in dieser Studie ermittelte mittlere spezifische Heizwärmebedarf des Gebäudebestands im Jahr 2050 entspricht etwa dem Standard KfW-55 gemäß der Energieeinsparverordnung von 2009. Darauf aufbauend empfehlen die Autoren der Studie, diesen Standard flächendeckend bei energetischen Gebäudesanierungen in Deutschland zu verwenden. Der Standard KfW-55 wird daher im MiMS als einheitliche Sanierungstiefe für die drei Gebäudekategorien angenommen. Außerdem wird von einer Netto-Zunahme der Gesamtgrundfläche von EZFH und MFH um sieben Prozent bis 2030 relativ zu 2010 ausgegangen (Schlesinger et al. 2014). Aufgrund von nur geringen Unterschieden werden hier proportional gleiche Grundflächenzuwächse für EZFH und MFH angenommen. Die Gesamtgrundfläche von NWG wird als zeitlich konstant angesetzt, da hierfür keine Prognosen über die zukünftige Entwicklung vorliegen (Schlesinger et al. 2014).

Basierend auf diesen Annahmen lassen sich die im jeweiligen Jahr sanierten Grundflächenanteile ermitteln. Im MiMS werden im Zeitraum 2016-2030 insgesamt 39 Prozent der Gesamtgrundfläche des Jahres 2030 saniert. Dies sind 18 Prozentpunkte mehr als im Referenzszenario.

Bei den Kosten der energetischen Sanierungen wird allgemein zwischen Ohnehin-Kosten und energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Für die Berechnung des Investitionsbedarfs werden wie in ähnlichen Studien (siehe z.B. Blazejczak et al. 2014) nur die energiebedingten Mehrkosten herangezogen, welche spezifisch für EZFH und MFH für Sanierungen auf den Standard KfW-55 in Böhmer und Thamling (2013) ausgewiesen werden. Für NWG werden die gleichen energiebedingten Mehrkosten wie für MFH angenommen. Außerdem wird von einer Degression der energiebedingten Mehrkosten auf Grund von Lerneffekten um zehn Prozent bis zum Jahr 2030 relativ zu 2010 ausgegangen (Böhmer und Thamling 2013).

Unter den genannten Annahmen zeigt Abbildung 5 die Mehrinvestitionen des MiMS im Vergleich zum Referenzszenario. Die Mehrinvestitionen steigen linear mit der Zeit an und liegen im Jahr 2030 bei 36 Mrd. Euro. Dabei setzen sich die Mehrinvestitionen aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen ist die Sanierungsrate im MiMS größer als im Referenzszenario, sodass eine zusätzliche Grundfläche energetisch saniert wird. Zum anderen wird im MiMS eine ambitioniertere Sanierungstiefe als im Referenzszenario angenommen, sodass die bereits im Referenzszenario abgebildeten Sanierungen zusätzlich vertieft werden. Da die zusätzlich sanierte Fläche mit zunehmender Zeit stärker ansteigt als die bereits im Referenzszenario sanierte Fläche, dominiert die erste Komponente der Mehrinvestitionen mit fortschreitender Zeit die zweite.

Abbildung 4: Jährliche Mehrinvestitionen in die energetische Gebäudesanierung



Quelle: eigene Darstellung, adelphi

Bezüglich der Verteilung der Investitionen auf verschiedene Akteure wird wie in Schlesinger et al. (2014) angenommen, dass der staatliche Förderanteil bei der energetischen Sanierung von Wohngebäuden rund 15 Prozent beträgt (Faktor Bundesmittel zu ausgelösten Investitionen). Die verbleibenden 85 Prozent der Investitionen in die energetische Sanierung von EZFH und MFH werden entsprechend durch die privaten Haushalte getragen. Bei NWG wird angenommen, dass die Investitionen gemäß der ungefähren Flächenanteile zu 30 Prozent durch den Staat und zu 70 Prozent durch Industrie und Gewerbe finanziert werden.

Die erzielten Energieeinsparungen werden basierend auf Daten der Deutschen Energie-Agentur berechnet (dena 2012). Der durchschnittliche spezifische Endenergieverbrauch beträgt heute etwa 170 Kilowattstunden pro Quadratmeter (EZFH), 150 Kilowattstunden pro Quadratmeter (MFH) und 110 Kilowattstunden pro Quadratmeter (NWG). Nach einer energetischen Sanierung auf den Standard KfW-55 reduziert sich der spezifische Endenergieverbrauch bei EZFH und MFH auf durchschnittlich etwa 35 Kilowattstunden pro Quadratmeter (dena 2015). Für NWG wird auf Grund fehlender bestehender Daten der gleiche spezifische Endenergieverbrauch wie für MFH angenommen. Die jährlichen Energieeinsparungen werden aus der in der jeweiligen Gebäudekategorie insgesamt sanierten Fläche und den oben genannten durchschnittlichen spezifischen Energieverbräuchen berechnet.

Die Mehr-Energieeinsparungen steigen dabei nicht-linear über die Zeit an und betragen im Jahr 2030 etwa 154 TWh. Dies entspricht einem THG-Einsparpotenzial von 55,7 Mio. Tonnen CO₂-eq.

Unter der Annahme, dass sich gegenwärtige technologische Trends bis zum Jahr 2030 fortsetzen, entspricht dies Kosteneinsparungen durch eingesparte Energie in Höhe von etwa 19 Mrd. Euro in 2030.

Kumuliert werden über den Zeitraum 2016-2030 etwa 910 TWh Energie eingespart. Dies entspricht kumuliert vermiedenen Energiekosten in Höhe von etwa 120 Mrd. Euro.

2.3.3 Leitmarkt Nachhaltige Mobilität

Auf den Verkehrssektor entfallen in Deutschland etwa 31 Prozent des Endenergiebedarfs (Kasten et al. 2016). In einem Szenario mit einer ambitionierteren Klimapolitik, das wie in dieser Studie eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 Prozent bis 2050 annimmt, sollte eine Treibhausgasneutralität des Verkehrssektors angestrebt werden (Repenning et al. 2015). Eine notwendige Bedingung zur Erreichung dieses Ziels ist vor allem eine Verlagerung von Verkehrsleistungen zu Lasten von mit Verbrennungsmotoren betriebenen Fahrzeugen. Im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ werden hierfür die folgenden Maßnahmen erfasst:

- ▶ Die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene
- ▶ Die verstärkte Nutzung von Elektro-Pkw und die Einführung von Oberleitungs-Lkw
- ▶ Die Verlagerung vom motorisierten Verkehr auf den Fuß- und Radverkehr

2.3.3.1 Handlungsfeld Schienengüterverkehr

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden nationalen und internationalen Arbeitsteilung und des damit verbundenen Zuwachses an Warenströmen wird von einer starken Ausweitung der Güterverkehrsleistung bis 2030 ausgegangen (siehe z.B. Schlesinger et al. 2014). Der Güterverkehr setzt sich dabei aus dem Schienengüterverkehr, Straßengüterverkehr und dem Wassergüterverkehr zusammen. Nach einem Einbruch Anfang der 1990er Jahre hat sich der Marktanteil des schienengebundenen Güterverkehrs in den letzten 15 Jahren stabilisiert. Im Jahr 2010 betrug er, bezogen auf die Tonnenkilometerleistung (tkm) des landgebundenen Verkehrs, etwa 17 Prozent. Im selben Zeitraum stieg der Anteil des Straßengüterverkehrs um fünf Prozentpunkte auf 70 Prozent, während der Anteil der Binnenschifffahrt von 15 auf zehn Prozent sank (Doll et al. 2012).

Im Rahmen der Umweltpolitik Deutschlands wird angestrebt, den Anteil des Schienengüterverkehrs zu steigern. Dieses Ziel findet beispielsweise in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung oder der Güterverkehrsstrategie des UBA seinen Ausdruck (Sutter et al. 2016). Um dies zu erreichen, werden Investitionen in die Schieneninfrastruktur als notwendig erachtet. Es gibt mehrere umfassende Studien, in denen der Investitionsbedarf für eine stärkere Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene quantifiziert wird.

Unter der Zielvorgabe einer Schienengüterverkehrsleistung von 213 Mrd. tkm im Jahr 2030 (Basisjahr 2009 = 95,8 Mrd. tkm) berechnet Holzhey (2010) den benötigten Aus- und Neubaubedarf auf 725 Streckenkilometer. Zudem wird ein Elektrifizierungsbedarf von insgesamt 817 Streckenkilometern angegeben. Berücksichtigt werden sechs Hochleistungskorridore sowie weitere Einzelstrecken.

Holzhey (2010) beziffert den für diese Maßnahmen benötigten Investitionsbedarf auf insgesamt rund 11 Mrd. Euro in den nächsten zwölf Jahren. In einer anderen Studie untersuchen Doll et al. (2012) die Folgen und Voraussetzungen einer Steigerung des Schienengüterverkehrs von 17 Prozent (111,68 Mrd. tkm) auf 27 Prozent (243 Mrd. tkm). Zur Erreichung dieses Zielwertes wird eine Kombination der folgenden Instrumente betrachtet:

- ▶ Ausweitung der Lkw-Maut
- ▶ Beschleunigung des Schienengüterverkehrs
- ▶ Produktivitätssteigerung des Schienengüterverkehrs

Der hierfür benötigte infrastrukturbedingte Investitionsbedarf wird auf jährlich 1,1 Mrd. Euro beziffert (Doll et al. 2012). Dieser Betrag setzt sich aus 500 Mio. Euro für Schieneninvestitionen und 600 Mio. Euro Betriebszuschuss zur Effizienzsteigerung im Bahngüterverkehr (Überholgleise, Rangier- und

Abstellanlagen) zusammen. Im Untersuchungszeitraum der Studie von 2010 bis 2030 ergeben sich somit Gesamtinvestitionen von 22 Mrd. Euro.

In einer dritten Studie leiten Sutter et al. (2016) ein zukunftsorientiertes Finanzierungsmodell für die Güterverkehrsinfrastruktur ab. Hierbei werden verschiedene Anpassungen des Finanzierungssystems sowie des Infrastrukturangebots, insbesondere eine weitere Ausweitung und Differenzierung der Lkw-Maut sowie ein umfangreicher Ausbau der Verlagerungsinfrastruktur auf der Schiene, betrachtet. Sutter et al. (2016) nehmen in ihrer Untersuchung eine Steigerung des Schienengüterverkehrsanteils von 17,7 Prozent (2010) auf 23,4 Prozent (2030) an. Die hierfür benötigten Investitionen werden mit insgesamt 11 Mrd. Euro für den verstärkten Ausbau der Schienengüterverkehrsachsen (vor allem Transitachsen) und zwei Mrd. Euro für einen starken Ausbau der Verlagerungsinfrastruktur des kombinierten Verkehrs berechnet.

Tabelle 1 zeigt die Güterverkehrsleistung sowie den Anteil des Schienengüterverkehrs für das jeweilige Basisjahr und das Zieljahr 2030. Dargestellt werden die drei beschriebenen Studien sowie das Referenzszenario und das KS-95. Es zeigt sich, dass die Verkehrsleistung im Güterverkehr für das Zieljahr 2030 stark variiert. Gleiches gilt für den Anteil des Schienengüterverkehrs. Bezogen auf den absoluten Anteil des schienengebundenen Güterverkehrs kommt die Studie von Doll et al. (2012) dem Zielwert des KS-95 am nächsten.

Aus diesem Grund wird die Studie von Doll et al. (2012) zur Ableitung der Mehrinvestitionen im MiMS ausgewählt. Für den Zeitraum 2016 bis 2030 wird von öffentlich getragenen Mehrinvestitionen von 1,47 Mrd. Euro jährlich ausgegangen (22 Mrd. Euro verteilt über 15 Jahre). Das MiMS ist damit zwar weniger ambitioniert als das KS-95, aber ambitionierter als die alternativen verfügbaren Studien.

Tabelle 1: Verkehrsleistungen im Güterverkehr (tkm = Tonnenkilometer)

Studie	Basisjahr	Güterverkehrsleistung in Mrd. tkm			Schienengüterverkehrsleistung in Mrd. tkm	(Anteil an Gesamtgüterverkehr in Prozent)
			Basisjahr	2030	Basisjahr	2030
Holzhey (2010)	2009				95,8	213
Doll et al. (2012)	2008	658		900	111,86 (17 %)	243 (27 %)
Sutter et al. (2016)	2010	607		822	108 (17,7 %)	193 (23,4%)
Referenzszenario (Schlesinger et al. 2014)	2011	628,6		804,4	113,3 (18,02 %)	168,6 (20,06 %)
KS-95 (Repenning et al. 2015)	2010	608		758	107 (17,6 %)	260 (34,3 %)

Quelle: eigene Darstellung, adelphi

Die durch eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene induzierten Reduktionen von CO₂-Emissionen werden in Doll et al. (2012) mit 13 Prozent bis 17 Prozent der gesamten Güterverkehrsemissionen kalkuliert. Sutter et al. (2016) nennen ein Reduktionspotenzial der Treibhausgasemissionen von 18 Prozent. In beiden Fällen ist jedoch zu beachten, dass die jeweiligen Infrastrukturmaßnahmen durch zahlreiche weitere Maßnahmen flankiert werden. Die mit der Maßnahme verbundenen Energieeinsparungen werden in der Studie nicht angegeben.

2.3.3.2 Handlungsfeld Motorisierter Straßenverkehr

Eine der Maßnahmen, um die ambitionierten Ziele im Klimaschutz zu erreichen, ist ein Umstieg von rein mit Verbrennungsmotoren ausgestatteten Fahrzeugen auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge. So verfolgt die Bundesregierung das offizielle Ziel, im Jahr 2020 mindestens eine Mio. Elektro-Pkw auf den Straßen zu haben (Bundesregierung 2009). Zu den Elektro-Pkw werden hierbei rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge (batterieelektrisch) sowie hybride Fahrzeuge (Plug-in-Hybride) gezählt. Potenziale für eine Elektrifizierung werden auch im Straßengüterverkehr gesehen. Hier wird die Einführung von hybrid angetriebenen Oberleitungs-Lkw diskutiert (Kasten et al. 2016).

Die aktuelle Zahl der Elektro-Pkw wird auf rund 37.600 Fahrzeuge geschätzt (NPE 2015). Vorhersagen für das Jahr 2020 zeigen eine große Spannweite. Eine Studie aus dem Jahr 2013 prognostiziert zwischen 50.000 und 1,4 Mio. Elektro-Pkw im Jahr 2020 (Wietschel et al. 2013). Das KS-95 geht von rund 1,5 Mio. Elektro-Pkw in 2020 und ca. 7,3 Mio. im Jahr 2030 aus. Im Referenzszenario werden 540.000 Fahrzeuge im Jahr 2020 und 2,8 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2030 angenommen. Eine Studie der Nationalen Plattform Elektromobilität prognostiziert zwischen 500.000 und einer Mio. Elektro-PKW für das Jahr 2020 (NPE 2016). Die letzteren beiden Prognosen liegen allerdings nicht auf dem Entwicklungspfad hin zu einem nahezu treibhausgasneutralen Verkehrssektor.

Für ein solches Szenario nehmen Kasten et al. (2016) in einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamts etwa 1,1 Mio. Fahrzeugen im Jahr 2020 und rund neun Mio. Fahrzeuge im Jahr 2030 an. Bezogen auf das Jahr 2030 ist die Studie also etwas ambitionierter als das KS-95, bei dem nur 7,3 Mio. Fahrzeuge angenommen werden. Diese Zahlen werden für das MiMS der vorliegenden Studie übernommen. Angesichts von aktuell nur rund 37.600 Elektro-Pkw werden für diese Steigerung neben technologischen Fortschritten auch Investitionen in einen umfassenden Ausbau der Ladeinfrastruktur als notwendig erachtet (NPE 2015). Die Ladeinfrastruktur setzt sich aus Heimpladesäulen, Ladesäulen auf Betriebsgeländen, öffentlichen Ladesäulen und Schnellladesäulen zusammen, für deren Einrichtung jeweils Netzanschluss- und Baukosten fällig werden. Die Gesamtkosten werden für Heimpladesäulen auf durchschnittlich 700 bis 2.200 Euro, für Ladesäulen auf Betriebsgelände und öffentliche Ladesäulen auf 5.000 bis 10.000 Euro und für Schnellladesäulen auf 35.000 bis 48.000 Euro geschätzt (NPE 2015, Kasten et al. 2016). Bedingt durch Lerneffekte werden Kostendegressionen von 0,5 Prozent jährlich angenommen (Kasten et al. 2016). Die Anzahl der Ladesäulen wird ebenfalls der Studie von Kasten et al. (2016) entnommen. Sie belaufen sich im Jahr 2030 auf rund 8,1 Mio. Heimpladesäulen, 0,7 Mio. Ladesäulen auf Betriebshöfen sowie 178.000 Normallade- und rund 2.000 Schnellladesäulen im öffentlichen Raum.

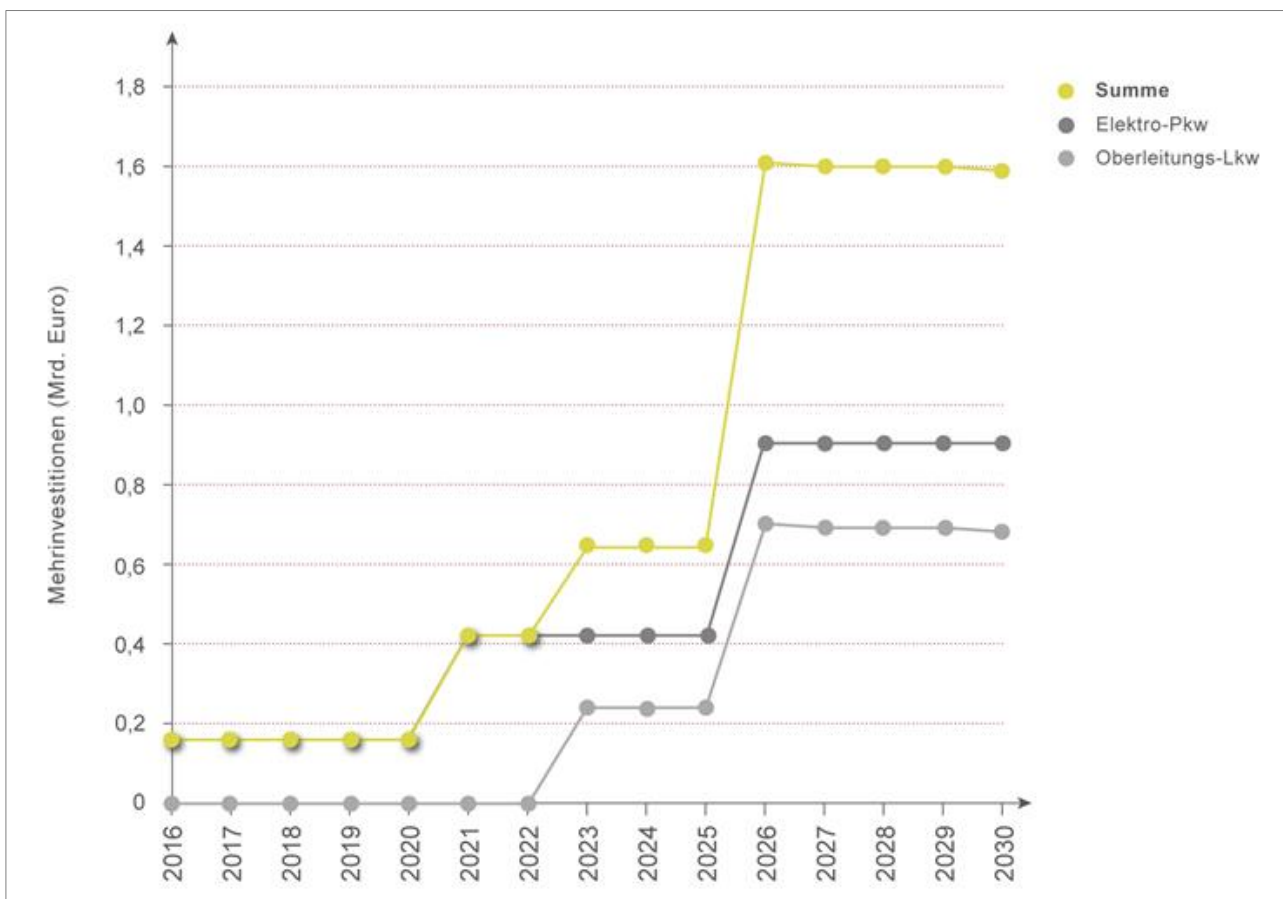
Die Investitionen, die für die Errichtung der Ladesäulen für Elektro-Pkw benötigt werden, werden entsprechend den Anteilen der verschiedenen Typen von Ladesäulen auf private Haushalte, Staat und Unternehmen verteilt. Es wird angenommen, dass Heimpladesäulen privat finanziert werden. Die Kosten für Ladesäulen auf Betriebshöfen werden durch die jeweiligen Unternehmen getragen. Für Ladesäulen mit öffentlichem Zugang und Schnellladesäulen wird angesichts des benötigten Impulses für eine rasche Zunahme der Zahl der Elektro-Pkw eine Finanzierung durch den Staat angenommen.

Die Einführung von Oberleitungs-Lkw ist im Referenzszenario nicht enthalten (Schlesinger et al. 2014), während das KS-95 Oberleitungs-Lkw erst ab dem Jahr 2030 vorsieht (Repenning et al. 2015). Die zur Ableitung der Mehrinvestitionen im Handlungsfeld „Motorisierter Straßenverkehr“ zugrunde liegende Studie von Kasten et al. (2016) sieht die Einführung von Oberleitungs-Lkw jedoch schon für das Jahr 2025 vor, wobei mit der Errichtung der ersten Oberleitungsanlagen bereits zwei Jahre zuvor begonnen wird (Kasten et al. 2016). Für den Bau und den Anschluss der Oberleitungen werden etwa 2,43 Mio. Euro pro Kilometer angenommen. Außerdem wird von einer Degression der Kosten um etwa 0,5 Prozent pro Jahr ausgegangen (Kasten et al. 2016). Es wird weiterhin angenommen, dass die Kosten für die Infrastruktur zu 50 Prozent durch den Staat und zu 50 Prozent durch die Transportwirtschaft getragen werden.

Die Gesamtinvestitionen in die Ladeinfrastruktur von Elektro-Pkw zwischen 2016 und 2030 betragen unter den oben genannten Annahmen etwa 12,16 Mrd. Euro, woraus sich Mehrinvestitionen im Vergleich zum Referenzszenario von 7,38 Mrd. Euro ergeben. Die Verteilung der Investitionen über die Zeit orientiert sich an der prognostizierten Zunahme der Zahl an Elektro-Pkw. Für den Zeitraum von 2016 bis 2020 ergeben sich so durchschnittlich Mehrinvestitionen von etwa 0,16 Mrd. Euro pro Jahr, zwischen 2021 und 2025 von etwa 0,41 Mrd. Euro und zwischen 2026 und 2030 von jährlich etwa 0,91 Mrd. Euro. Aufgrund fehlender Angaben in Kasten et al. (2016) wurden für die jeweiligen Zeiträume Durchschnittswerte angenommen (Abbildung 5). Die Mehrinvestitionen in die Infrastruktur von Oberleitungs-Lkw betragen bis zum Jahr 2030 insgesamt etwa 4,1 Mrd. Euro. Es wird angenommen, dass vor der Markteinführung jährlich 100 Kilometer und anschließend 300 Kilometer der Bundesautobahnen pro Jahr mit Oberleitungen ausgestattet werden.

Dies ergibt für den Zeitraum 2026 bis 2030 jährliche Mehrinvestitionen von etwa 0,7 Mrd. Euro (Abbildung 5). Die gesamten Mehrinvestitionen im Handlungsfeld „Motorisierter Straßenverkehr“ belaufen sich im selben Zeitraum somit auf etwa 1,6 Mrd. Euro (Abbildung 5).

Abbildung 5: Jährliche Mehrinvestitionen in die Infrastruktur für Elektro-Pkw und Oberleitungs-Lkw



Quelle: eigene Darstellung adelphi, basierend auf Kasten et al. (2016)

2.3.3.3 Handlungsfeld Nichtmotorisierter Individualverkehr

Von täglich 283 Mio. Wegen wurden im Jahr 2008 rund 67 Mio. Wege oder 24 Prozent zu Fuß und 28 Mio. Wege oder zehn Prozent mit dem Rad zurückgelegt. Hierbei ist der Wegeanteil des NMIV in den Innenstädten am höchsten (Doll et al. 2012). Eine Steigerung des Anteils des Rad- und Fußverkehrs am Modal Split könnte zukünftig einen Beitrag zum Klimaschutz in Deutschland leisten. Ahrens et al. (2013) beziffern das CO₂-Einsparpotenzial bezogen auf den werktäglichen Personenverkehr durch die

Verlagerung von kurzen Kfz-Wegen von bis zu fünf Kilometer auf ein bis drei Prozent. Voraussetzung für eine Erhöhung des Rad- und Fußverkehrsanteils sind, neben weiteren Maßnahmen, Investitionen in die Infrastruktur (BMVBS 2012).

In Deutschland sind zahlreiche Akteure für die Infrastruktur des Rad- und Fußverkehrs zuständig. Neben Kommunen sind auch Landkreise, die Bundesländer sowie der Bund für den Ausbau von Rad- und Fußwegen verantwortlich (BMVBS 2012). Der Nationale Radverkehrsplan 2020 (BMVBS 2012) schätzt den Finanzbedarf zum Ausbau der Radwegeinfrastruktur ab. Für verschiedene Maßnahmen (z.B. Neubau, Betrieb, Erhaltung von Infrastrukturen) ergibt sich für die einzelnen Städte und Gemeinden ein Mittelbedarf von acht bis 19 Euro pro Jahr und Einwohner um einen „guten Standard“ zu erreichen. Der hier genannte „gute Standard“ wird im Nationalen Radverkehrsplan 2020 nicht genauer ausgeführt. Zudem variiert die konkrete Summe offenkundig je nach Ausgangsniveau und Planungen. Für die Ebene der Landkreise werden zusätzliche Beträge zwischen einem und sechs Euro angegeben (BMVBS 2012). In einer bereits im Jahr 2008 publizierten Untersuchung wird der kommunale Investitionsbedarf für Rad- und Gehwege für einen Zeitraum von 15 Jahren mit jährlich 1,4 Mrd. Euro beziffert. Dies entspricht in etwa 17 Euro pro Einwohner und Jahr. Hierbei wird der Ersatzbedarf insgesamt auf jährlich 350 Mio. Euro geschätzt, während für den Erweiterungsbedarf mehr als eine Mrd. pro Jahr veranschlagt werden (Difu 2008). Beide Studien betrachten keine Verlagerungseffekte durch den Ausbau von Fuß- und Radwegen. Dies hat zur Folge, dass die Ableitung von Potenzialen zur Reduktion von Treibhausgasen nicht möglich ist.

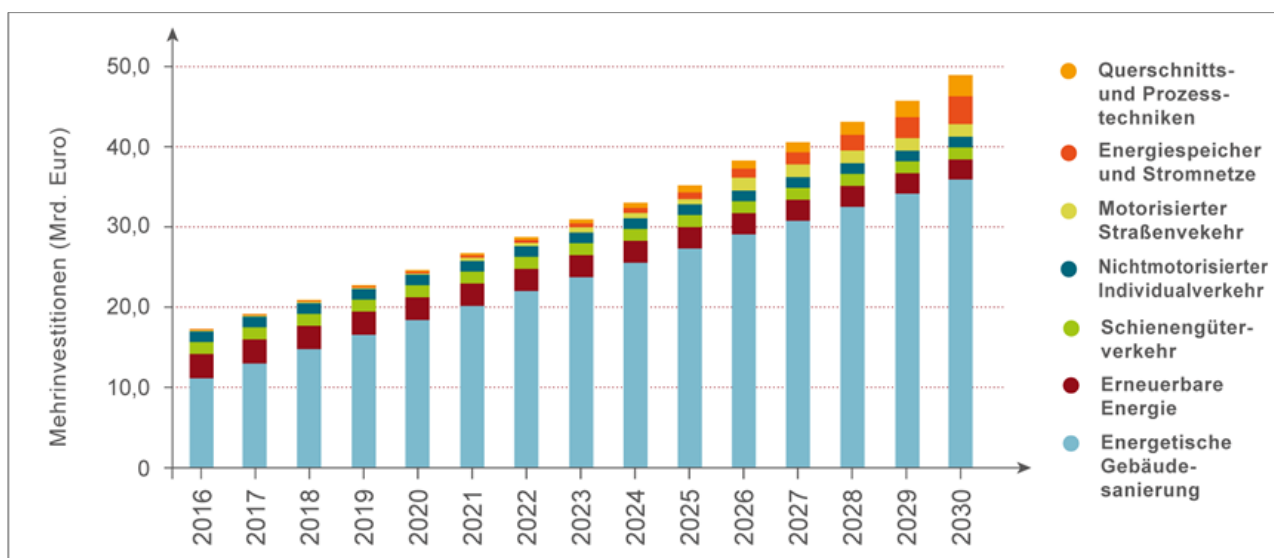
Die einzige Studie, die die Verbindung zwischen Investitionen, Verlagerungseffekten und Treibhausgas einsparungen herstellt, ist Doll et al. (2012). Hier werden unter anderem die Auswirkungen einer Steigerung des Wegeanteils des Rad- und Fußverkehrs in Innenstädten zu Lasten der Pkw-Nutzung um zehn Prozentpunkte untersucht. Bezogen auf Innenstädte würde ein solcher Zuwachs eine Steigerung des Verkehrswegeanteils des NMIVs von 37 Prozent auf dann 47 Prozent bedeuten. Dieser Zuwachs würde sich in einer Zunahme von acht Prozentpunkten des gesamtdeutschen Modal Splits, das heißt der Verteilung der insgesamt zurückgelegten Wegstrecken auf Verkehrsmittel, widerspiegeln. Zum Vergleich hierzu steigt der bundesweite Wegeanteil des Fuß- und Radverkehrs im KS-95 nach Repenning et al. (2015) von 31,6 Prozent im Jahr 2010 auf 43,8 Prozent im Jahr 2050. Hierbei werden allerdings auch Veränderungen im ländlichen Verkehr berücksichtigt. Im Referenzszenario wird der Anteil des Fuß- und Radverkehrs nicht explizit ausgewiesen (Schlesinger et al. 2014).

Um das in Doll et al. (2012) genannte Ziel eines Zuwachses des städtischen NMIVs um zehn Prozentpunkte zu realisieren, sind bezogen auf den Analysezeitraum 2010 bis 2030 öffentliche Infrastrukturinvestitionen von einer Mrd. Euro jährlich notwendig (Doll et al. 2012). Dieser Betrag dient der vorliegenden Studie als Grundlage für das MiMS. Es wird angenommen, dass im Zeitraum von 2011 bis 2015 noch keine Infrastrukturmaßnahmen zum Ausbau von Fuß- und Radwegen getätigt wurden, sodass der in Doll et al. (2012) genannte Finanzbedarf weiterhin Gültigkeit besitzt. Hieraus resultieren für den Betrachtungszeitraum dieser Studie öffentlich zu tragende Mehrinvestitionen von rund 1,33 Mrd. jährlich. Die durch eine Steigerung des Modal Split-Anteils des Fuß- und Radverkehrs hervorgerufenen CO₂-Einsparungen werden ebenfalls nach Doll et al. (2012) beziffert. Bezogen auf die nationalen Emissionen aller Verkehrsträger belaufen sie sich auf rund ein Prozent, was im Jahr 2012 etwa 1,5 Mio t CO₂-äq. entsprach (Doll et al. 2012).

2.4 Zusammenfassung der Szenarien

Die Mehrinvestitionen in den einzelnen Handlungsfeldern im Vergleich zum Referenzszenario sind in Abbildung 6 zusammengestellt. Der mit Abstand größte Anteil entfällt in 2016 auf die energetische Gebäudesanierung (64 Prozent der Mehrinvestitionen), gefolgt von den erneuerbaren Energien (18 Prozent) und dem Schienengüterverkehr (neun Prozent). Die Summe der Mehrinvestitionen der berücksichtigten Maßnahmen in den verschiedenen Handlungsfeldern steigt von 17,3 Mrd. Euro im Jahr 2016 auf 48,9 Mrd. Euro in 2030.

Abbildung 6: Jährliche Mehrinvestitionen der einzelnen Handlungsfelder

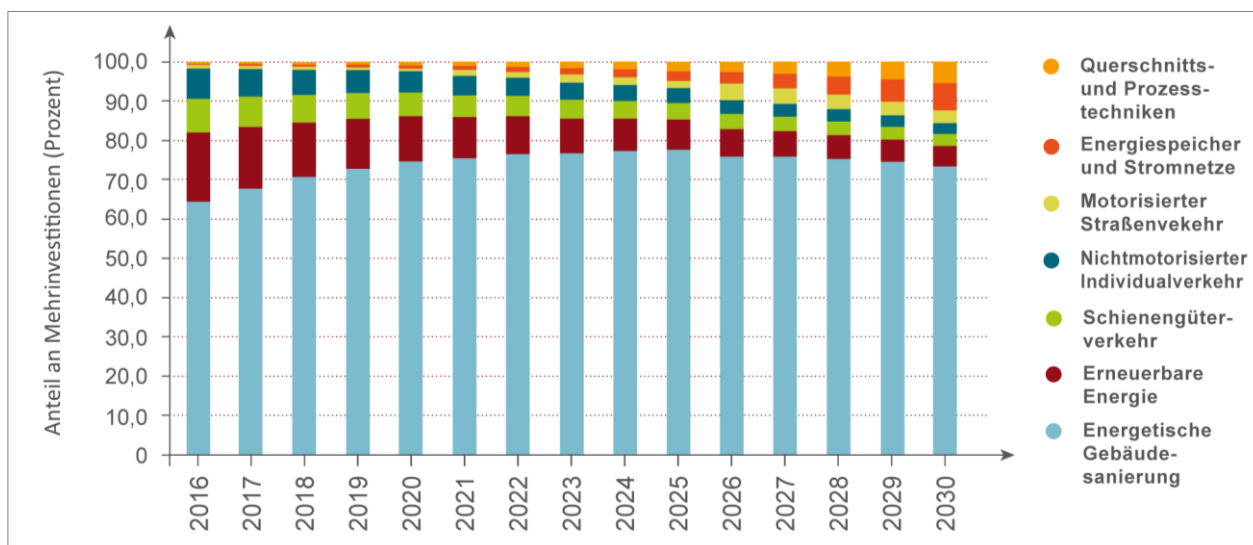


Quelle: eigene Darstellung, adelphi

Die zeitliche Entwicklung der Anteile der Handlungsfelder an den Gesamtinvestitionen ist in Abbildung 7 dargestellt. Der Anteil der Gebäudesanierung wächst als Folge der getätigten Annahmen von 64 Prozent im Jahr 2016 auf 73 Prozent in 2030. Auch der Anteil der Mehrinvestitionen des motorisierten Straßenverkehrs steigt im betrachteten Zeitraum über die Jahre an, insbesondere mit der Markteinführung der Oberleitungs-Lkw in 2025. Besonders stark wachsen die Mehrinvestitionen in Energiespeicher und Stromnetze sowie in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken an. Die Anteile der übrigen Handlungsfelder nehmen zwischen 2016 und 2030 ab.

Die Verteilung der Mehrinvestitionen auf die betrachteten Handlungsfelder beruht auf der Annahme, dass in den einzelnen Handlungsfeldern jeweils die in den Kapiteln 2.3.1-2.3.3 beschriebenen Maßnahmen umgesetzt werden. Da das MiMS kein vollständiges Szenario darstellt (Kapitel 2.3), sind die Anteile der Handlungsfelder an den Gesamtinvestitionen nicht als repräsentativ für eine sektorenübergreifende ambitionierte Klimaschutzpolitik zu verstehen. Sie sind hier vielmehr für ein besseres Verständnis und eine Einordnung der Ergebnisse in Kapitel 3 aufgeführt.

Abbildung 7: Anteile der einzelnen Handlungsfelder an den gesamten jährlichen Mehrinvestitionen



Quelle: eigene Darstellung, adelphi

3 Gesamtwirtschaftliche Effekte eines ambitionierten Klimaschutzes

3.1 Das Mit-Mehrinvestitionen-Szenario und die Wirkungskanäle im Modell

In der Vorstellung des Berichts der Expertenkommission zur „Stärkung von Investitionen in Deutschland“ weist ihr Vorsitzender 2015 unter anderem auf die Digitalisierung und den notwendigen Ausbau von Energie- und Verkehrsinfrastruktur hin (Expertenkommission „Stärkung von Investitionen in Deutschland“ 2015). Konkret werden im Energiesektor die Investitionen in die Systemdienlichkeit und die Energieeffizienz benannt.

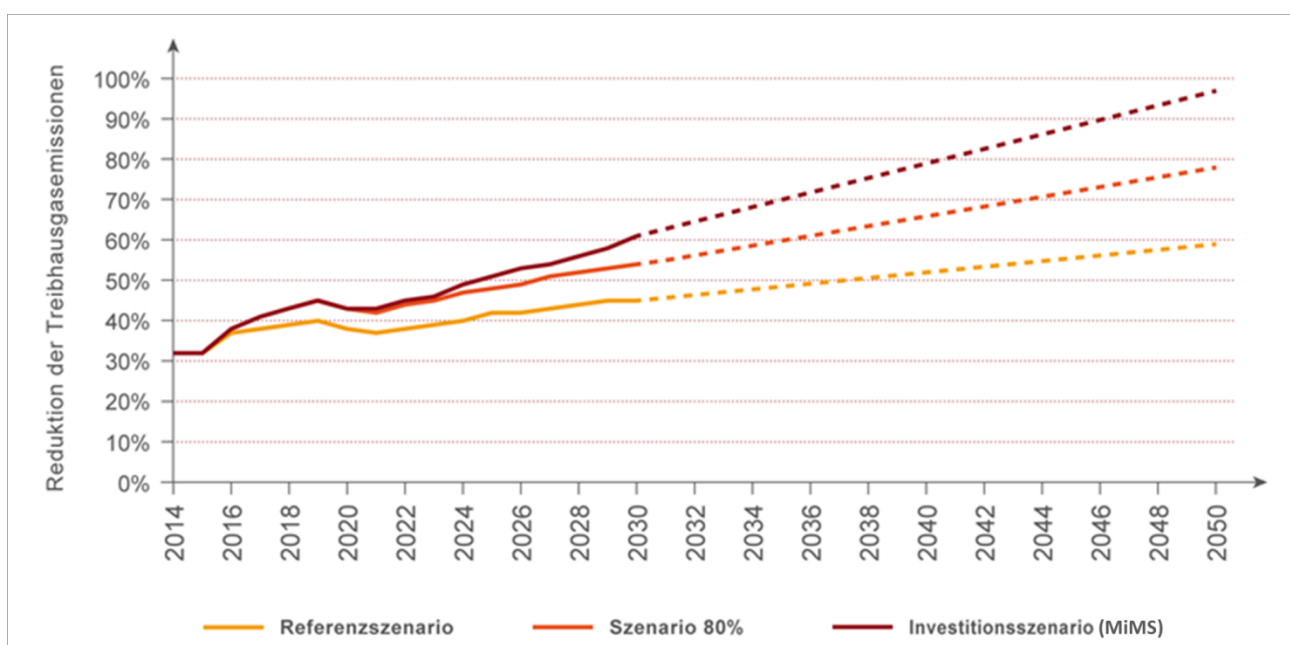
Das in den vorhergehenden Kapiteln entworfene MiMS greift die Ratschläge der Expertenkommission auf und ergänzt sie mit weiteren klimaschutzrelevanten Handlungsfeldern. Insgesamt entsteht ein Entwicklungspfad,

- entlang dessen Aktivitäten und Anpassungsreaktionen in einer Reihe von Wirtschaftsbereichen angestoßen werden,
- und auf welchem eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 um 95 Prozent des Wertes von 1990 gelingt⁴.

In Summe ergibt sich in den oben vorgestellten Handlungsfeldern ein Investitionsimpuls von knapp 49 Mrd. Euro im Jahr 2030 (vgl. Abbildung 6).

Bezogen auf die Treibhausgasentwicklung zielt das MiMS auf eine Minderung von 95 Prozent bis 2050. Abbildung 8 zeigt eine Extrapolation der THG-Entwicklung bis 2050 (gestrichelte Linien). Der durch die Abschaltung der letzten Kernkraftwerke kurzfristige Wiederanstieg der Emissionen ist im vorgeschlagenen Szenario merklich geringer als in der Referenzentwicklung.

Abbildung 8: Minderung von Treibhausgasemissionen im Referenz- und MiMS, zeitliche Entwicklung 2016-2030 und Extrapolation 2030-2050 (Stand August 2016)



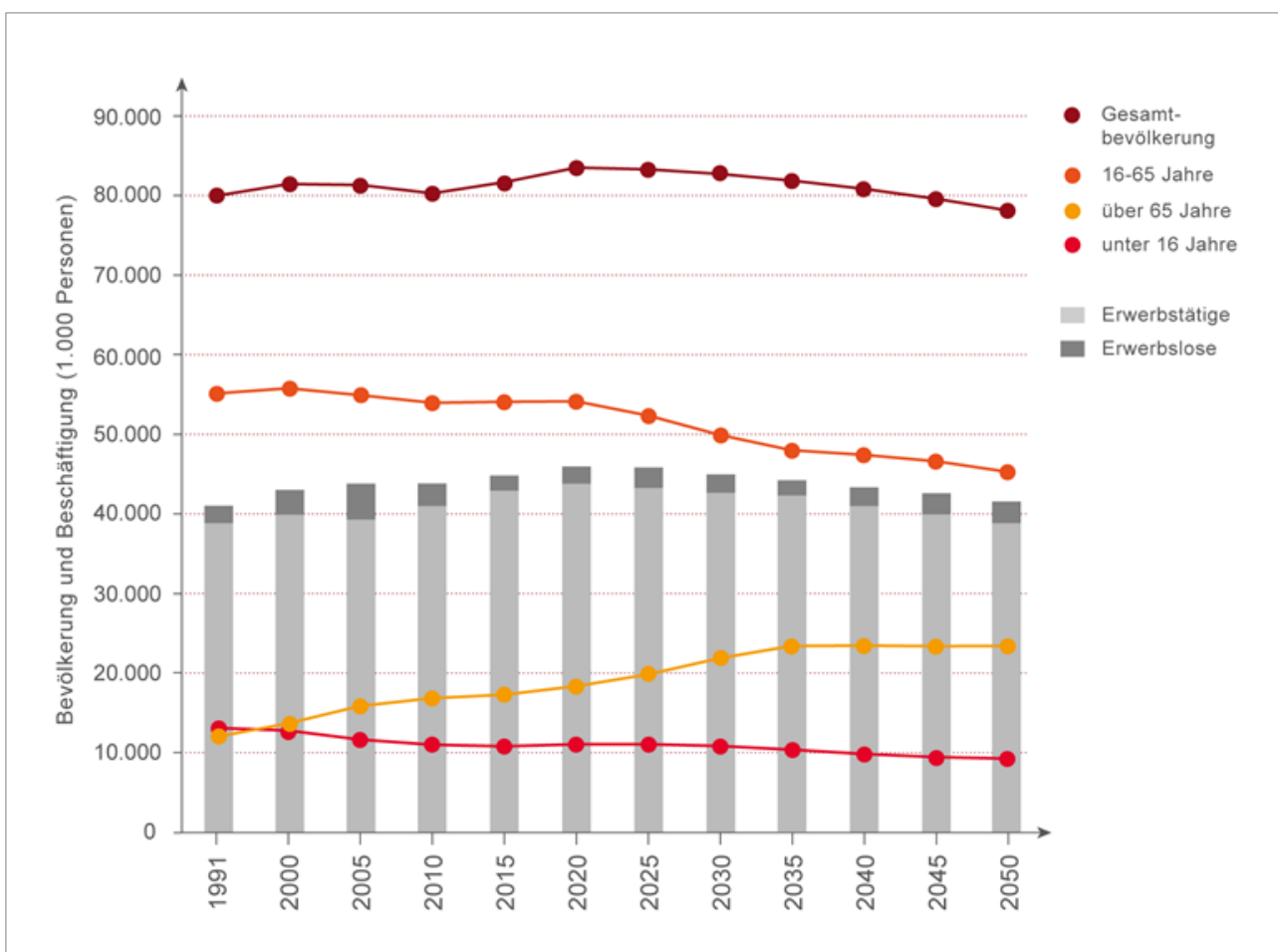
Quelle: eigene Berechnungen, GWS

⁴ Der Beobachtungshorizont der hier vorgelegten Untersuchung endet zwar 2030; wenn man jedoch unterstellt, dass die angenommenen Aktivitäten fortgeführt würden, so lassen sich Trendaussagen ableiten.

Die Investitionsimpulse, aber auch die durch die Investitionen ausgelösten Energieeinsparungen und Verhaltensänderungen treffen auf eine wirtschaftliche Entwicklung, die zunehmend von einer Knappheit an Arbeitskräften gekennzeichnet sein wird. Abbildung 9 zeigt die Bevölkerungsentwicklung nach Altersgruppen als Liniendiagramm. Dem Arbeitsmarkt zur Verfügung steht vor allem die Altersgruppe zwischen 15 und 65 Jahren, die im Beobachtungszeitraum einen Rückgang verzeichnet. Im Vergleich wächst die Altersgruppe 65+ stark an und die Gruppe der unter 15-Jährigen wird kleiner. Für die Situation auf dem Arbeitsmarkt zeigt sich, dass die Kurve der arbeitsfähigen Bevölkerung zwischen 15 und 65 Jahren nahezu die grauen Säulen – die Beschäftigten – schneidet. Bis 2030 sinkt die Erwerbslosigkeit auf ca. zwei Mio. Personen, wovon ein großer Teil aus Krankheits-, Alters- oder weiteren Gründen dem Arbeitsmarkt nicht zur Verfügung steht. Die im Modell implementierte Variante 2 der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes enthält bereits eine höhere Migration. Die Nettozuwanderung beträgt für die Jahre 2014 und 2015 jeweils 500.000 Personen und nimmt in der Variante 2 stufenweise auf 200.000 Personen jährlich bis zum Jahr 2021 ab.

Natürlich berücksichtigt das hier vorgestellte Szenario nicht alle möglichen Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt, die etwa von einer gravierenden Veränderung des Transportwesens (z.B. selbstfahrende Fahrzeuge auch für gewerblichen Transport) geprägt sein können. Der Betrachtungszeitraum umfasst jedoch 14 Jahre und die großen Umwälzungen in Produktion, Logistik und Transport dürften dann noch nicht vollständig abgeschlossen sein.

Abbildung 9: Bevölkerung- und Beschäftigungsentwicklung



Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, Variante 2 des Statistischen Bundesamts, GWS

Die Bauwirtschaft klagt bereits heute, dass sie am Rande ihrer Kapazitäten steht. Auf dem Arbeitsmarkt führt Knappheit von Arbeitskräften zu besseren Verhandlungspositionen und letztlich zu Preisanpassungen. Bei steigenden Löhnen und Gehältern haben die verschiedenen Wirtschaftszweige in der Vergangenheit unterschiedlich sensibel reagiert. Einige Wirtschaftszweige können die neuen Arbeitskosten an ihre Kunden überwälzen, in anderen Branchen ist das nicht der Fall. Die Bauwirtschaft ist hier ein gutes Beispiel. Sie ist vom Volumen her ein relevanter Sektor, welcher leichter Lohnsteigerungen realisieren, als zum Beispiel der Fahrzeugbau, der deutlich weniger Spielräume für derartige Anpassungen hat. In einem Modell wie PANTA RHEI sind diese Zusammenhänge und Reaktionen auf Basis von in der Vergangenheit beobachtbaren Daten empirisch geschätzt und fortgeschrieben. Hohe Bauinvestitionen führen daher zu einem Anstieg der Beschäftigung im Bausektor.

Die Wirkungsketten im Modell sind unterschiedlich für Ausrüstungsinvestitionen in der Energiewirtschaft, Bauinvestitionen, Verkehrsinfrastruktur und Ausrüstungsinvestitionen in der Industrie. Investitionen in erneuerbare Energien führen zu Preisänderungen durch Umlage der Mehrkosten und sinkende Börsenstrompreise. Bei den derzeitigen Fördermechanismen führt dies zu einer Begünstigung von energieintensiven Akteuren zulasten der privaten Haushalte und der Kleinverbraucher. Investitionen in Wohngebäude entlasten die Bewohner von den Energiekosten und führen zu einem Anstieg der Miete. Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur können aus dem Staatshaushalt getätigt werden und verdrängen entweder andere staatliche Investitionen, sind defizitfinanziert oder müssen durch weitere staatliche Einnahmen gedeckt werden. Hier werden sie zunächst defizitfinanziert. Die derzeitige Obergrenze für das jährliche Staatsdefizit ist auf 3 Prozent des BIP bis 2030 festgelegt. Bei einem derzeitigen BIP von 3.144 Milliarden Euro (2016) wären dies 94,3 Milliarden Euro. Mit einem Investitionsbedarf von gut einer Milliarde Euro im Jahr trägt die Defizitfinanzierung in sehr geringem Umfang zur Schuldenlast Deutschlands bei.

Die Investitionen führen zu einer Verlagerung des Transports auf Schiene und Rad oder unterstützen die Transformation des Verkehrssystems hin zu mehr Elektromobilität. Direkte Nachfragewirkungen über die Bauleistungen hinaus werden hier nicht unterstellt. Investitionen in energieeffiziente Güter und Speicher hingegen entfalten Nachfragewirkungen nach den entsprechenden Gütern. Sofern diese heimisch produziert werden, wirkt sich dieser Impuls positiv auf die Sektoren aus. Die Energieeinsparung aus der gestiegenen Energieeffizienz und aufgrund der Strom- und Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien führt zu einer Verringerung fossiler Brennstoffimporte, die sich typischerweise positiv auf die Leistungsbilanz eines Landes auswirkt. Da Deutschland jedoch ohnehin einen hohen Exportüberschuss aufweist, wird diese Veränderung der Leistungsbilanz oftmals kritisch gesehen.

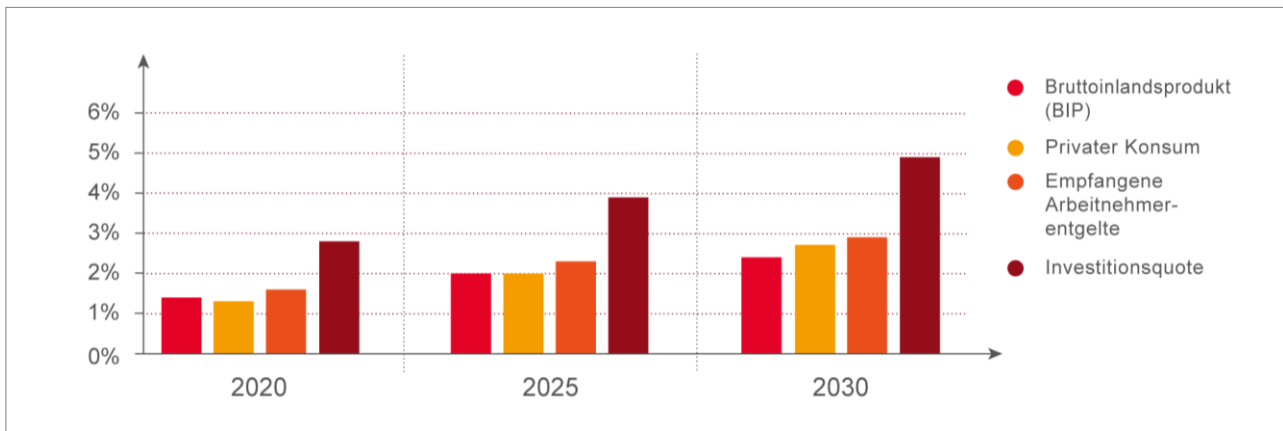
Die steigende Nachfrage nach Endprodukten und Vorleistungen wirkt sich insgesamt positiv auf Beschäftigung, Löhne, Einkommen und den Konsum aus. Darüber hinaus führen die Energieeinsparungen langfristig zu einer Erhöhung der verfügbaren Budgets und wirken sich so ergänzend positiv auf den Konsum aus. Bei Mietwohngebäuden kann es zu einer Dämpfung dieses Effekts kommen, d.h. die Mieten steigen dauerhaft an und die Energieeinsparungen übersteigen diesen Anstieg nur knapp.

3.2 Auswirkungen des Mit-Mehrinvestitionen-Szenarios auf Wachstum und Beschäftigung

Investitionen in den Klimaschutz wirken sich positiv auf das Wachstum, die Arbeitnehmerentgelte und den privaten Konsum aus. Abbildung 10 zeigt den Unterschied zwischen der Referenzentwicklung und dem MiMS für das BIP, den Konsum, die Einkommen aus Arbeit in nominalen Größen und für die Investitionsquote. Hier und im Folgenden werden alle Größen nominal ausgewiesen. Alle Abweichungen sind positiv und nehmen im Zeitverlauf zu. Insgesamt liegt der Wachstumspfad im MiMS somit über den gesamten Zeitraum höher als im Referenzszenario. Der private Konsum entwickelt sich ebenfalls auf einem höheren Niveau, was vor allem auf die höheren Löhne und Gehälter (in der Abbildung 10 zusammengefasst als Arbeitnehmerentgelte) zurückzuführen ist. Im Zeitverlauf kommen Ein-

sparungen aufgrund gesunkener Energieverbräuche hinzu und eröffnen weitere Möglichkeiten für den Konsum.

Abbildung 10: Szenarienvergleich – wichtige Kenngrößen, Abweichung MiMS vom Referenzszenario



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Die Investitionen als Treiber des Szenarios führen zu einer deutlich höheren Investitionsquote im Vergleich zur Referenzentwicklung. Im Jahr 2030 liegt sie knapp fünf Prozent höher als in der Referenz. Sie verläuft auf einem höheren Niveau und insgesamt über die Jahre hinweg gleichmäßig. Dies lässt sich aber nur durch stabile Rahmenbedingungen erreichen. Um die Treiber des Wachstums in diesem Szenario besser zu verstehen, gibt die nachstehende Tabelle einen Überblick über die Komponenten des BIP.

Tabelle 2: Absolute und relative Differenz der einzelnen Komponenten des BIP im MiMS im Vergleich zum Referenzszenario

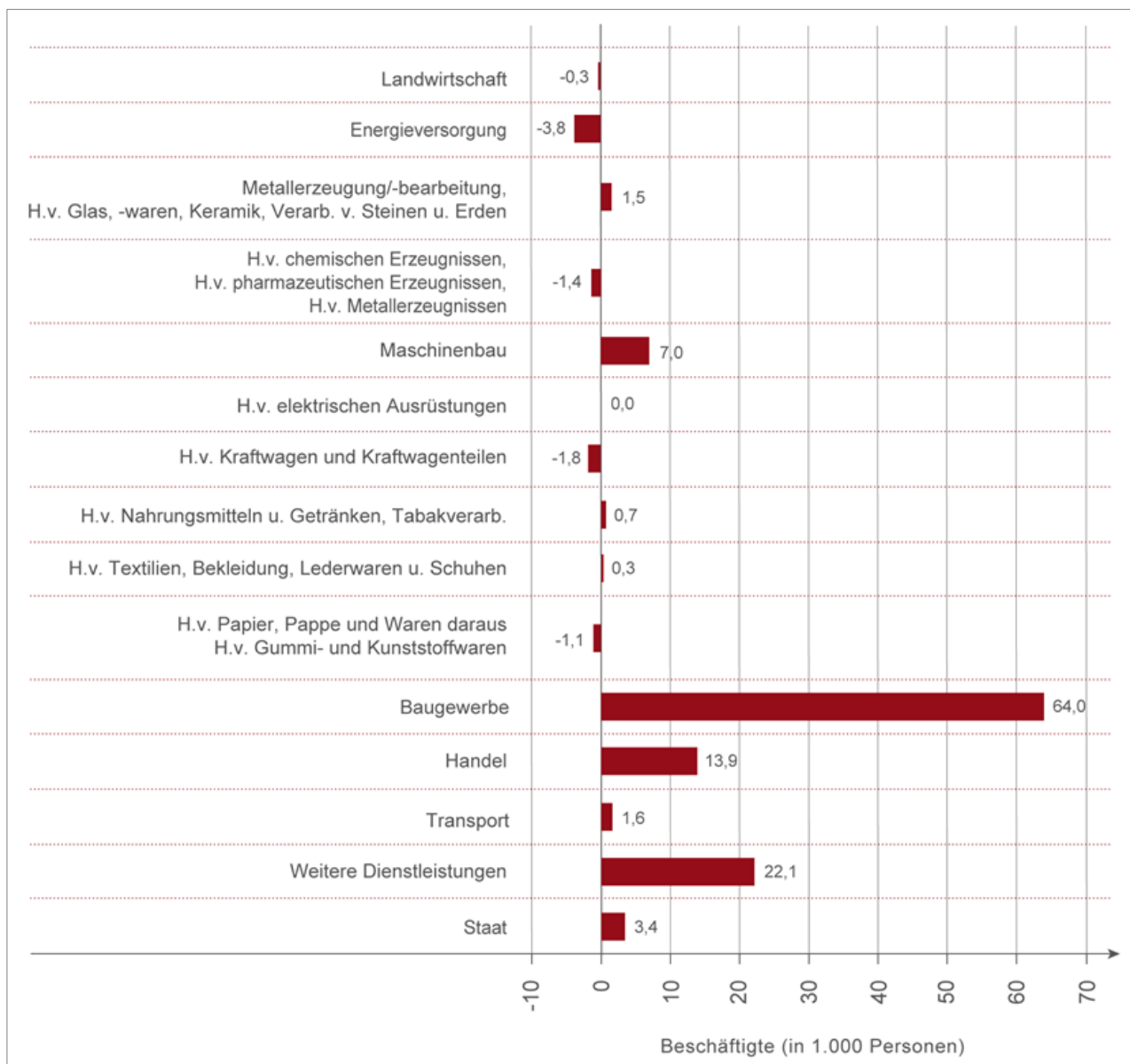
	Absolute Abweichung (in Mrd. Euro)			Relative Abweichung (in Prozent)		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Privater Konsum	21,5	34,5	49,7	1,3	2,0	2,7
Staatskonsum	-0,4	-0,4	-0,7	-0,1	-0,1	-0,1
Investitionen in Ausrüstungen	9,9	12,7	17,8	2,8	3,3	4,1
Investitionen in Bauten	16,9	25,5	34,3	6,2	10,3	13,5
Exporte	4,3	4,8	2,1	0,3	0,2	0,1
Importe	9,5	13,7	20,9	0,7	0,8	1,0
Bruttoinlandsprodukt	42,5	62,5	80,6	1,4	2,0	2,4

Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Die größten Impulse gehen von den zusätzlichen Investitionen aus und vom zusätzlichen Konsum, der sich aus der zusätzlichen Beschäftigung und den gestiegenen Löhnen speist. Mehr Menschen haben Arbeit und verdienen mehr. Wie weiter oben beschrieben, ist die Arbeitslosigkeit auf dem Arbeitsmarkt der Zukunft unter den oben gemachten Annahmen (Variante 2 der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes) sehr gering. Knapp 220.000 Personen finden im Jahr 2030 durch die Investitionstätigkeit in den verschiedenen Wirtschaftssektoren zusätzlich eine Beschäftigung.

Die Impulse fallen in den einzelnen Sektoren in Höhe und Vorzeichen unterschiedlich aus. Abbildung 11 verdeutlicht die sektoral unterschiedlichen Beschäftigungseffekte durch Klimaschutzinvestitionen beispielhaft für das Jahr 2020.

Abbildung 11: Szenarienvergleich – Differenz der Beschäftigung in einzelnen Sektoren durch gezielte Klimaschutzinvestitionen im Jahr 2020



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Die Energiewirtschaft baut über den Rückgang im Referenzszenario hinaus in diesem Szenario nochmals Beschäftigte ab. Dies ist auf den Rückgang des Energiebedarfs insgesamt zurückzuführen, der im Rahmen des Modells Umsatz und Beschäftigung determiniert. Die Energiewirtschaft hatte bereits seit 2011 zunehmend Schwierigkeiten, sich an das veränderte Marktumfeld, insbesondere an fallende Strompreise und neue Akteure, anzupassen (für eine detaillierte Diskussion siehe Löckener et al. 2016). Notwendige Anpassungen von einzelwirtschaftlichen Geschäftsmodellen, insbesondere hin zu Contracting und anderen Dienstleistungen, sind im Modell nicht hinterlegt und im Szenario nicht explizit abgebildet.

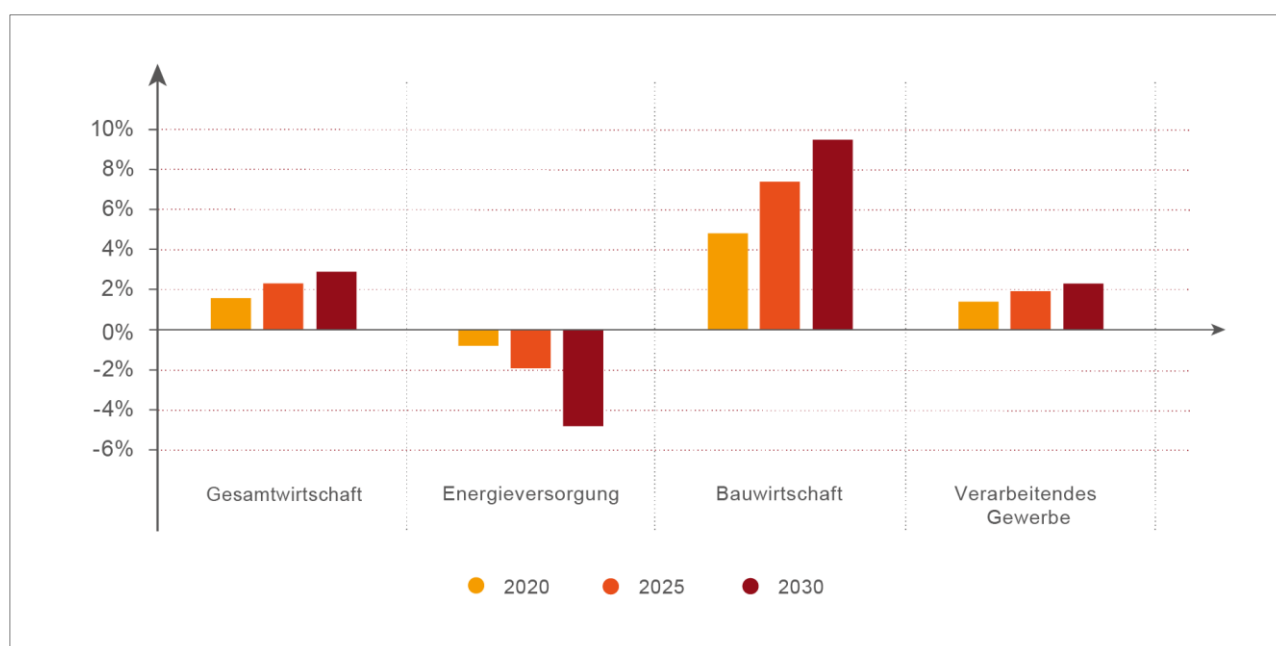
Das Baugewerbe erhält den stärksten Impuls, gefolgt von den Dienstleistungen und dem Handel, die an jeder Zunahme wirtschaftlicher Tätigkeit über die Vorleistungsstrukturen beteiligt sind. Das Baugewerbe erhält jenseits der direkten Bauinvestitionen ebenfalls über die Vorleistungsstrukturen zusätzliche Nachfragesteigerungen, etwa vom Ausbau erneuerbarer Energien. Die Bauwirtschaft ist, wie weiter oben ausgeführt, in der Lage die benötigten Arbeitskräfte auf dem Arbeitsmarkt über entsprechende Lohnsteigerungen anzuziehen.

Das Verarbeitende Gewerbe erhält gemischte Impulse. Zum einen steigen die Löhne und Gehälter, da insgesamt mehr Personen Arbeit finden als im Referenzszenario. Zudem wird die Lage auf dem Arbeitsmarkt angespannter. Zum anderen steigt die Nachfrage nach den Produkten einiger Wirtschaftszweige, allen voran die Nachfrage nach Gütern des Maschinenbaus.

In allen Bereichen entsteht zusätzliche Nachfrage nach Vorleistungen, sowohl auf der Güterebene als auch nach Dienstleistungen. Da die Dienstleistungssektoren von allen Wirtschaftszweigen am arbeitsintensivsten sind, zeigen sich hier in absoluten Größen nach der Bauwirtschaft die höchsten Effekte.

Abbildung 12 illustriert die Entwicklung der durchschnittlichen Löhne insgesamt und in den Branchen Energiewirtschaft, Bauwirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe. Die Lohnsteigerungen in der Bauwirtschaft übertreffen die Entwicklung in allen anderen Bereichen wie oben beschrieben.

Abbildung 12: Szenarienvergleich – Prozentuale Abweichung der Lohnsumme in ausgewählten Wirtschaftszweigen



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

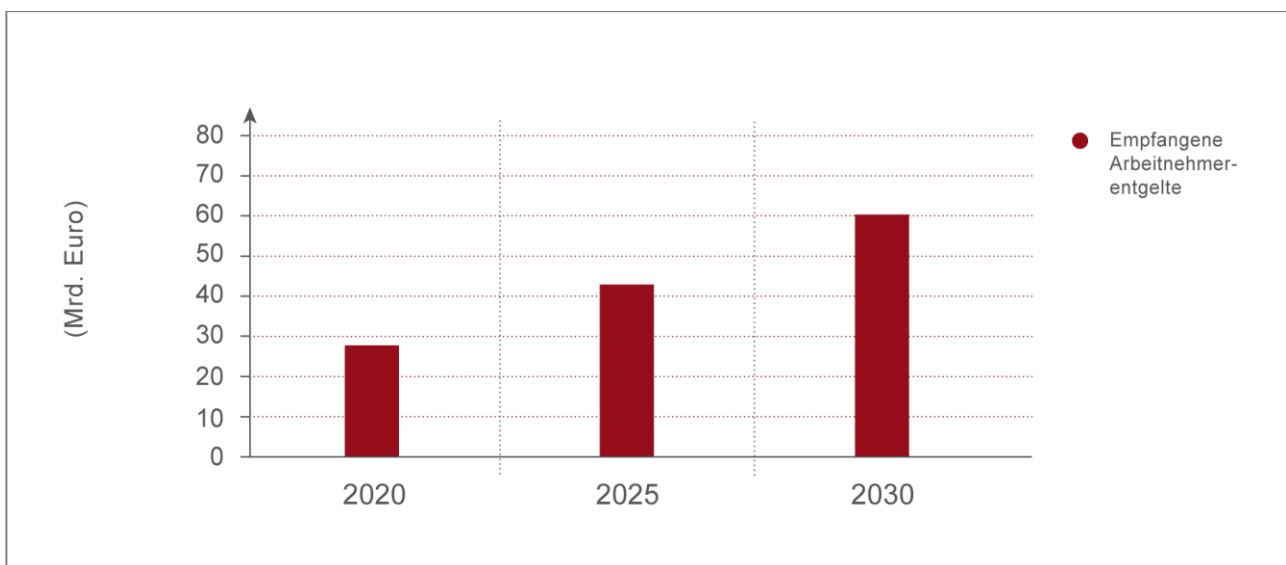
Der Maschinenbau reagiert zum einen nicht ausgeprägt auf Lohnsteigerungen und erfährt darüber hinaus kräftige zusätzliche Nachfrageimpulse durch die Digitalisierung, aus den Effizienzinvestitionen und aus dem Zubau erneuerbarer Energien. Indirekt profitiert er von den Energieeinsparungen durch energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken und durch die Steigerung der Energieeffizienz von Bürogebäuden und Hallen. Die Unternehmen im Sektor Glas, Keramik, Steine und Erden profitieren von der zusätzlichen Nachfrage nach ihren Produkten aus dem Baugewerbe und in geringerem Umfang von Zulieferungen an die Erneuerbaren-Energien-Unternehmen. Die Metallherzeugung profitiert ebenfalls von der Vorleistungsnachfrage aus der Bau- und Erneuerbaren-Energien-Industrie.

Der Fahrzeugbau reagiert zum einen auf die steigenden Löhne, zum anderen erhält der Sektor keinen direkten oder indirekten Impuls aus dem Szenario, ebenso wie die chemische Industrie.

Insgesamt gilt es zu beachten, dass die Beschäftigungseffekte im Verarbeitenden Gewerbe sehr klein sind, unter anderem weil die Arbeitsprozesse dort bereits weitgehend automatisiert sind. Dies gilt besonders für die chemische Industrie und den Fahrzeugbau.

Die Lohn- und Einkommensentwicklung ist durchweg positiv. Bis zum Jahr 2030 werden mehr als 70 Mrd. Euro zusätzlich eingenommen. Darüber hinaus fallen die Ausgaben der privaten Haushalte für Energie um bis zu 11,5 Prozent im Jahr 2030. D.h., die Haushalte sparen bei der Energie und haben zusätzlich mehr Geld zur Verfügung durch die gestiegenen Löhne (siehe nachstehende Abbildung).

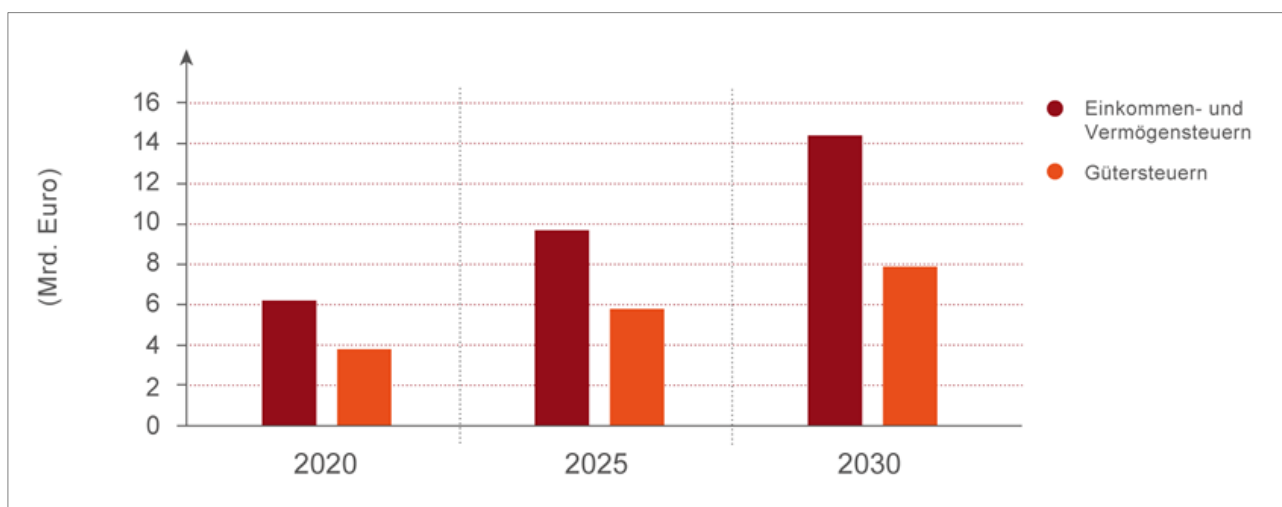
Abbildung 13: Einnahmen von Arbeitnehmern, Abweichung des MiMS vom Referenzszenario



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Durch die Steuern auf die zusätzlichen Einkommen und die zusätzlich nachgefragten Güter nimmt der Staat im Jahr 2030 insgesamt 21 Mrd. Euro mehr ein (siehe Abbildung 14). Ob sich aus diesen Mehreinnahmen des Staates weitere Finanzierungsmöglichkeiten der entsprechenden Investitionen ergeben, müsste in einer weiteren Untersuchung geklärt werden. Erfahrungsgemäß gibt es für Mehreinnahmen des Staates immer zahlreiche Ausgabemöglichkeiten und Interessenten. Eine Möglichkeit wären weitere Investitionen in mehr Klimaschutz.

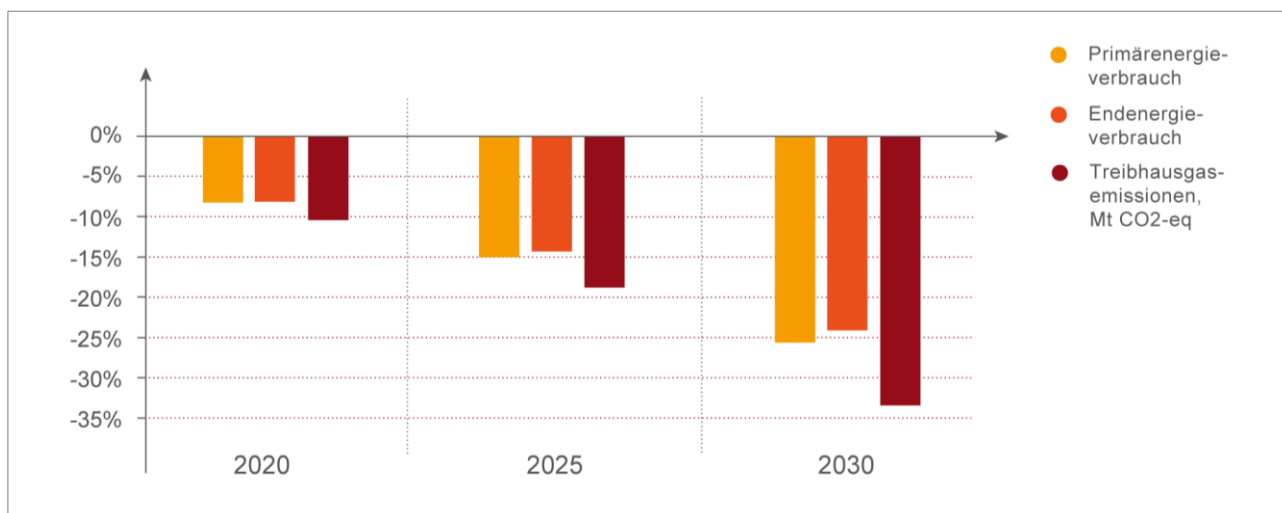
Abbildung 14: Einnahmen des Staates, Abweichung des MiMS vom Referenzszenario



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Die Ziele des MiMS liegen in der Verstärkung des Klimaschutzes, ausgedrückt durch den Rückgang der Treibhausgasemissionen und einer Verbesserung der Investitionsquote. Abbildung 15 zeigt den Rückgang beim Primärenergieeinsatz, dem Endenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen bis 2030. In einem Szenario, in dem die Wirtschaftstätigkeit angeregt wird, werden durch diese zusätzliche Aktivität auch immer zusätzliche Emissionen frei. Allerdings werden die Ziele der Emissionsminderung im MiMS deutlich besser erreicht als im Referenzszenario. Der Primärenergieverbrauch liegt im Jahr 2030 im MiMS um ca. 25 Prozent unter dem des Referenzszenarios, die Differenz beim Endenergieverbrauch beträgt ca. 24 Prozent und bei den Treibhausgasemissionen sind es über 33 Prozent. Insgesamt zeigt sich also, dass die Mehrinvestitionen im MiMS eine positive Wirkung auf die Umwelt haben.

Abbildung 15: Szenarienvergleich – Endenergieverbrauch, Primärenergieeinsatz und Treibhausgasemissionen, Abweichung des MiMS vom Referenzszenario

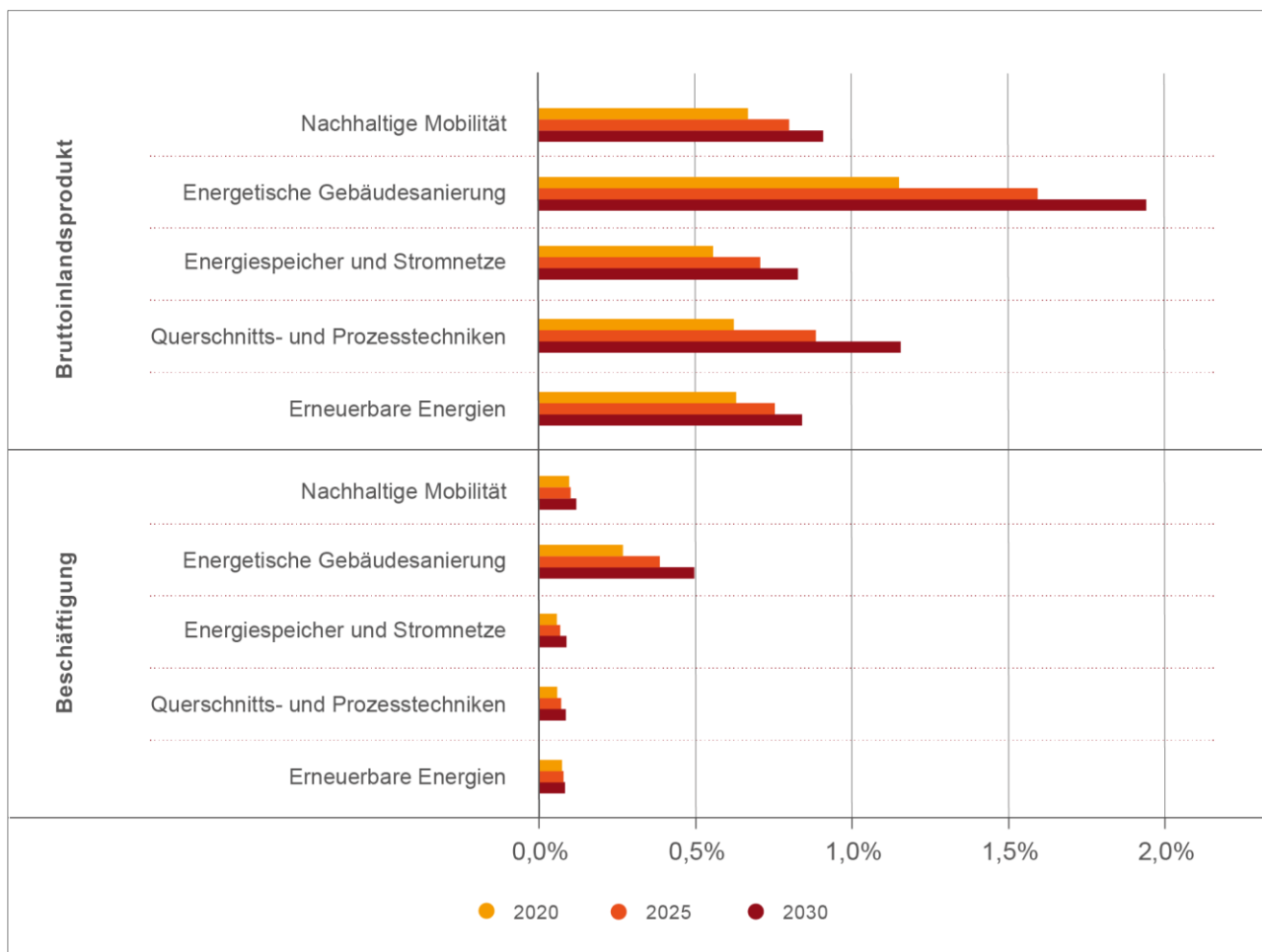


Quelle: eigene Berechnungen, GWS

3.3 Detailanalyse der Handlungsfelder

Das MiMS umfasst Impulse aus verschiedenen Handlungsfeldern, wie sie in Kapitel 2 ausführlich dargestellt sind. Um die Effekte in den einzelnen Handlungsfeldern zu identifizieren, wurden Sensitivitäten gerechnet, bei denen sich die Impulse nur auf ein Handlungsfeld beziehen.⁵ Abbildung 16 gibt eine Übersicht zu den Effekten auf das Bruttoinlandsprodukt und die Beschäftigung insgesamt. Die einzelnen Sensitivitäten addieren sich nicht zu den Gesamteffekten auf, da die Entwicklung am Arbeitsmarkt von Knappheit geprägt ist und die einzelnen Branchen somit im Wettbewerb um neue Mitarbeiter stehen.

Abbildung 16: Szenarienvergleich – gesamtwirtschaftliche Effekte nach Handlungsfeldern



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Die stärkste Auswirkung auf Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung insgesamt geht von den Investitionen in die Gebäudesanierung aus. Das BIP liegt hier im Jahr 2030 sogar um fast zwei Prozent höher als im Referenzszenario. Gleiches gilt für die Beschäftigung, die trotz des nahezu ausgeschöpften Potenzials an zusätzlichen Arbeitskräften ebenfalls um ein halbes Prozent höher liegt.

Auch in allen anderen Handlungsfeldern führen die Investitionsimpulse und die dadurch ausgelösten Energieeinsparungen zu deutlich positiven Effekten. Das BIP ist in allen Handlungsfeldern um mindestens 0,5 Prozent höher als in der Referenz. In allen Handlungsfeldern vergrößert sich überdies der

⁵ Die Handlungsfelder im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität wurden der Übersichtlichkeit halber zusammengefasst.

Abstand zur Referenz im Laufe der Zeit. Das Baugewerbe und die Dienstleistungen sind über alle Handlungsfelder hinweg die Gewinner hinsichtlich zusätzlicher Beschäftigung (vgl. Abbildung 16). **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Die Emissionsreduktion fällt im Handlungsfeld „Energetische Gebäudesanierung“ langfristig am höchsten aus. Der zusätzliche Ausbau erneuerbarer Energien wirkt sich in ähnlicher Höhe aus wie die Maßnahmen in der „Nachhaltigen Mobilität“ und im Handlungsfeld „Energiespeicher und Stromnetze“.

3.4 Einordnung der ökonomischen Wirkungen

Die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen wurden in diesem Kapitel aus dem Vergleich mehrerer Szenarien abgeleitet. Dem Referenzszenario wurden Mehrinvestitionen in wichtige Handlungsfelder des Klimaschutzes gegenübergestellt, womit nicht nur die Umsetzung der Ziele der Energiewende angestrebt wird, sondern ambitioniertere Ziele erreichen will. Allerdings sind die beiden Szenarien und ihre Sensitivitäten in sich konsistent; sie bilden geschlossene, möglichst widerspruchsfreie mögliche Welten ab. Dazu gehört auch, dass Investitionen in den Ausbau erneuerbarer Energien, die die Ziele des Energiekonzepts erreichen oder sogar darüber hinausgehen, auf Kosten von Investitionen in die konventionelle Energieerzeugung getätigt werden. In den Bereichen, in denen sich eine unmittelbare Konkurrenz zwischen der Investition in Klimaschutz und der Investition in klimabeeinträchtigende Technologien ergibt, ist dies in den Szenarien berücksichtigt.

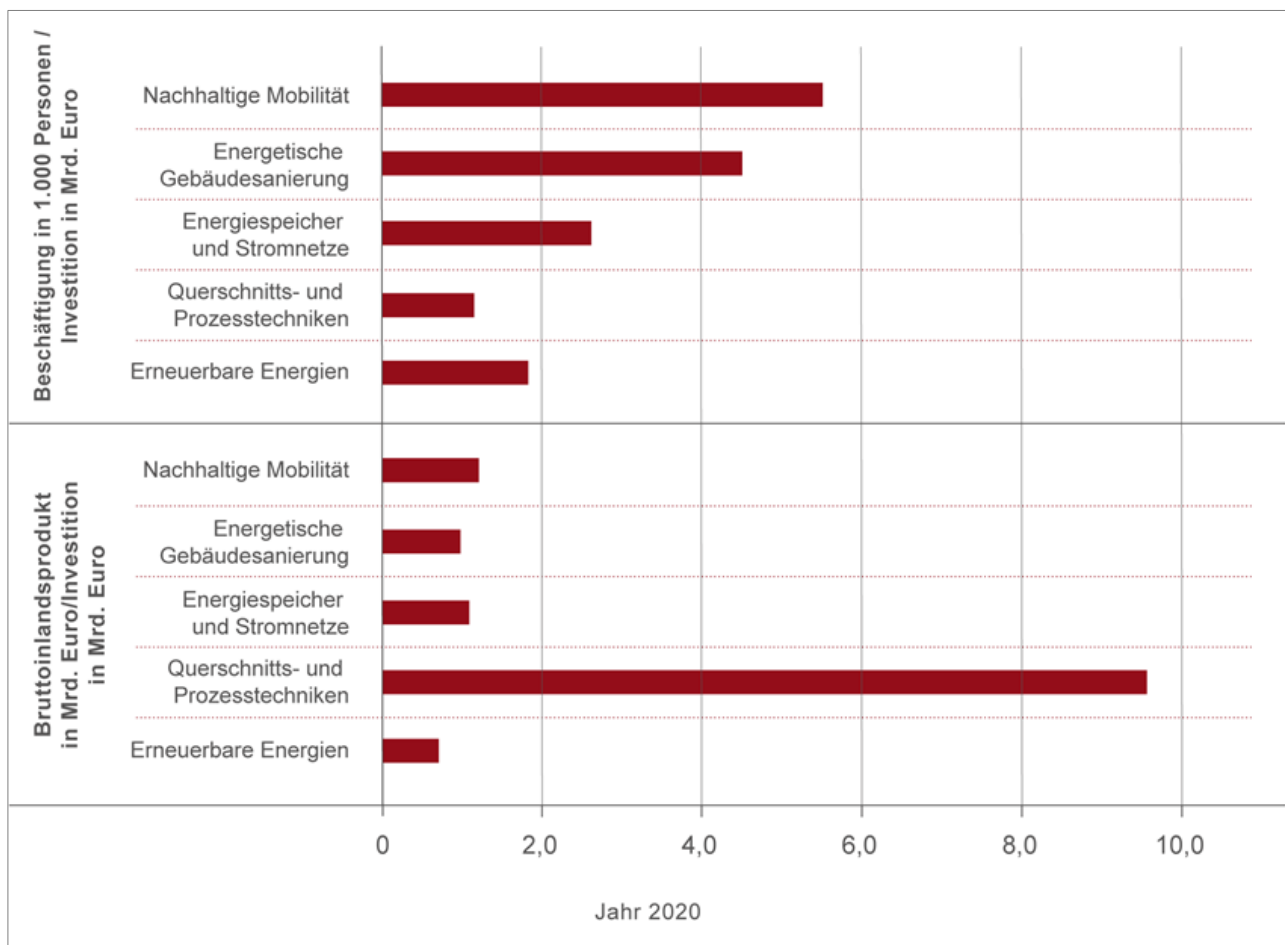
Vergleicht man die Ergebnisse mit der aktuellen Literatur, etwa den Klimaschutzszenarien oder dem Grünbuch Energieeffizienz bzw. der dort zitierten Literatur, so passen die Effekte gut ins Bild. Im Grünbuch Energieeffizienz werden Ergebnisse aus Ecofys/Fraunhofer ISI/IREES/Öko-Institut, 2016 zitiert. In dieser bislang unveröffentlichten Untersuchung ergeben sich zwischen 2016 und 2020 bei einer Investition von insgesamt 100 Mrd. Euro₂₀₀₅ in Energieeffizienz etwa 190.000 zusätzliche Jobs. Unterstellt man (ohne dass die Details vorliegen) einen Investitionspfad, der im letzten Jahr die höchste Summe aufweist, so ergibt sich eine ganz ähnliche Beschäftigungsintensität wie in der nachstehenden Abbildung.

Die mit dem ASTRA Modell in den Klimaschutzszenarien berechneten Ergebnisse weisen einen geringeren aber leicht positiven Beschäftigungsimpuls auf.

Die Ergebnisse der ökonomischen Modellrechnungen bilden die gesamtwirtschaftlichen Reaktionen auf ein Szenario ab, das verstärkt in Klimaschutz investiert. Diese sind positiv. Auch in den einzelnen Handlungsfeldern sind die Effekte positiv, unterscheiden sich jedoch in ihrer Auswirkung teilweise deutlich.

Die Unterschiede zwischen den Handlungsfeldern sind nicht besonders groß mit Blick auf die ausgelösten Wachstumseffekte, hier ausgedrückt durch die Veränderungen im BIP. Das Handlungsfeld „Digitalisierung“ löst dabei einen überdurchschnittlich hohen Wachstumseffekt aus. Die Steigerung der Energieeffizienz durch Querschnitts- und Prozesstechniken stößt Produktionsprozesse in Zukunftsbranchen an und führt zur Energieeinsparung. Letzteres sorgt im Wirtschaftskreislauf für eine Verstärkung der positiven Effekte, denn das, was an Energieausgaben gespart wird, kann für andere Verwendungszwecke wieder ausgegeben werden. Die energetische Gebäudesanierung amortisiert sich langfristig, daher werden die Einsparungen auch über einen längeren Zeitraum für die Gegenfinanzierung der Investition genutzt. Die erneuerbaren Energien führen zwar ebenfalls zu Erträgen bei den Betreibern, erhöhen jedoch in der kurzen bis mittleren Frist die Preise für diejenigen Verbraucher, die damit belastet werden. Dies mindert den Effekt auf das BIP.

Abbildung 17: Szenarienvergleich – BIP und Beschäftigung in Relation zu den zusätzlichen Investitionen im Jahr 2020



Quelle: eigene Berechnungen, GWS

Die Wachstumseffekte werden im ausgewiesenen Jahr von den durch die Investition ausgelösten Effekten dominiert. Insbesondere im Jahr 2020 sind die weiteren Einspar- und Kosteneffekte noch nicht sehr wirksam, da die Programme erst über vier Jahre und sehr langsam anlaufen. Diese Effekte werden daher genau für dieses Jahr in Abbildung 17 dargestellt. Dort sieht man deutlich, dass sich für jede eingesetzte Milliarde Euro in den Handlungsfeldern unterschiedliche BIP-Zuwächse ergeben, mit dem stärksten BIP-Zuwachs bei der Digitalisierung. Die weiter ausgebauten EE-Technologien sind von deutlich höheren Importen begleitet als annahmegemäß die Effizienztechnologien. So werden PV Module nahezu vollständig importiert. Bei der Windenergie, vor allem im off-shore Bereich sind ebenfalls hohe Importanteile derzeit zu verzeichnen, die im Lichte von Investitionen in neue Produktionsstätten aktuell in der Zukunft etwas zurückgehen.

Bezogen auf die Beschäftigungswirkung überlagert die Arbeitsintensität in der Bauwirtschaft alle anderen Effekte. Infrastrukturinvestitionen im Handlungsfeld „Nachhaltige Mobilität“ haben folglich die größte Beschäftigungswirkung, gefolgt vom Handlungsfeld „Energetische Gebäudesanierung“. Auch mit Bezug auf die Beschäftigung hat der Ausbau der erneuerbaren Energie relativ die geringsten Effekte.

Klimaschutzinvestitionen sind wirtschaftlich. Wenn sie die Energieeffizienz verbessern, werden sie sich oftmals innerhalb der Lebenszeit eines Gerätes oder eines sanierten Bauteils amortisieren. Für Wohngebäude steht eine sinnvolle Klärung des Nutzer-Investor-Dilemmas im Mietwohnbereich aus.

Aber auch bei selbstgenutztem Eigentum werden die Haushaltsvorstände immer älter und die Neigung zu großen Investitionen, die sich nach 20 bis 30 Jahren amortisieren, ist gering.

Auch bei den öffentlichen Gebäuden gibt es eine Art Nutzer-Investor-Dilemma, da die Sanierung aus anderen Budgets bezahlt wird als die monatliche Heizkostenabrechnung. Dennoch können hier die Einnahmen und Ausgaben leichter gegenübergestellt werden, um die Vorteilhaftigkeit einer energetischen Sanierung zu illustrieren.

Ebenso wie die energetische Gebäudesanierung gilt die nachhaltige Mobilität als bislang unzureichend verfolgt. Es zeigt sich aber auch in der Unsicherheit in der Literatur, wie ein Umstieg im Modal Split auf die klimafreundlichen Fahrräder oder Elektro-Pkw zu bewerkstelligen sei und welche wirtschaftlichen Auswirkungen dies haben könnte. In Lehr et al. (2016) werden Abschätzungen zum Beschäftigungsimpuls vorgenommen und in die bestehende Literatur eingeordnet. Dabei hängt die Höhe des Effekts auch von der Identifikation der Wirkungskette des Radverkehrs ab. Der Ausbau des Radverkehrs geht einher mit lokaler Wertschöpfung, zumindest in der Bereitstellung und Pflege der Infrastruktur, der Reparatur, den Vermietungen von Fahrrädern und der Wertschöpfung durch Tourismus. Die Literatur geht nicht ins Detail, wie die beschriebenen höheren Anteile des Radverkehrs am Straßenverkehr erzielt werden können, aber ein Ausbau der Infrastruktur wird ein wesentliches Element sein.

Dem Ausbau der Infrastruktur wurde bislang wenig Aufmerksamkeit gewidmet, daher schließt das Szenario hier auch eine Lücke. Zur Ergänzung sei für das rollende Material auf Lehr et al. (2016) verwiesen. In diesem Bereich kommt es wesentlich darauf an, ob sich die Vorleistungsstruktur des deutschen Fahrzeugbaus entsprechend anpassen wird, da der Wandel in der Antriebstechnik mit einer Veränderung der Produktionsprozesse in der Automobil-Branche einhergehen muss.

Insgesamt fügen sich die Ergebnisse gut in die bestehende Literatur zu den Auswirkungen des Klimaschutzes in Deutschland, aber auch international ein (vgl. Repennig et al. 2015). Schlesinger et al. (2014) vergleichen ein Zielszenario mit geänderten Investitionspfaden im Bereich des Endenergieverbrauchs und Unterschieden im Strommarkt bei Preisen, Investitionen und Importen mit einer Referenzprognose/Trendszenario. Die Erreichung des Zielszenarios setzt im Vergleich zur Referenz höhere Investitionen, vor allem in den Gebäudebestand, aber auch in Industrie und Gewerbe, im Verkehrssektor sowie in der Stromerzeugung voraus. Diese Entwicklungen begünstigen vor allem das Baugeerbe und Teile des Verarbeitenden Gewerbes sowie die damit verbundenen unternehmensnahen Dienstleistungen.

Lutz et al. (2014) vergleichen die Ergebnisse eines Energiewendeszenarios (basiert auf den Rahmen- und Annahmen der Energiereferenzprognose) mit den Zielen des Energiekonzepts der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 (kontrafaktisches Szenario). Ex post im Zeitraum 2010 bis 2013 hat sich die Energiewende positiv auf BIP und Beschäftigung ausgewirkt. Auch ex ante für den Zeitraum 2014 bis 2020 können leicht positive Effekte identifiziert werden.

In Lehr et al. (2015) werden Szenarien zum inländischen Ausbau der erneuerbaren Energien, zum weltweiten Ausbau der erneuerbaren Energien und mit den mit diesen beiden Entwicklungen verbundenen Umsätzen deutscher Hersteller und Dienstleister erstellt. Die ökonomischen Indikatoren entwickeln sich in Lehr et al. (2015) positiv. Das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt erfährt durch gestiegene Exporte jeweils einen positiven Impuls. Die erhöhten Produktionsaktivitäten führen zu einem positiven Beschäftigungsimpuls.

Die makroökonomischen Indikatoren in dieser Studie zeigen eine positive Reaktion auf zusätzliche Investitionen. Unternehmen, die Güter bereitstellen, die für diese Investitionen benötigt werden, können auf jeden Fall ihre Umsätze steigern. Inwieweit die Umsatzsteigerung darüber hinaus in Beschäftigungszuwachs münden kann, hängt von der jeweiligen Wettbewerbsposition einzelner Branchen und ihrer Rolle auf den Weltmärkten ab. Steht eine Branche international unter Druck, so lassen sich höhere Lohnkosten weniger überwälzen und schmälern entweder die Gewinne oder lassen sich langfristig nicht aufrecht erhalten.

Zusätzliches Wirtschaftswachstum wird dank der Investitionen in den Klimaschutz nun klimaverträglicher generiert. Für die Produktion von Gütern, den Konsum und auch den Transport muss weniger Energie eingesetzt werden und die Reduktion von Treibhausgasen schreitet schneller voran.

Ein langfristig angelegter Investitionspfad bietet den Unternehmen die notwendige Sicherheit sich in ihrer Produktionsweise und –palette auf den Klimaschutz als erfolgreiches Geschäftsfeld einzustellen.

Wer trägt die Rechnung? Investitionen in Energieeffizienz rechnen sich in der Industrie bereits mittelfristig. Die Verbesserung der Energieeffizienz bei Wohngebäuden wird langfristig aus der Energieeinsparung refinanziert, allerdings ist hier auf einen sozialen Ausgleich angesichts des Nutzer-Investor-Dilemmas zu achten.

Im Verkehrsbereich wurden im vorliegenden Szenario überwiegend defizitfinanzierte Maßnahmen angenommen, da es sich vor allem um Infrastrukturmaßnahmen handelt, die in den Aufgabenbereich des Staates fallen. Angesichts der Aufwendungen des Staates in anderen Bereichen sind die Investitionen hier klein.

Insgesamt führen die Maßnahmen des MiMS zu zusätzlichen Einnahmen des Staates. Wie dieser sie verausgabt, kann die vorliegende Untersuchung nicht abschließend beantworten. Eine wirtschaftlich und ökologisch lohnende Möglichkeit bietet sich in der Förderung und teilweisen Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen.

4 Fazit

Die vorliegende Studie untersucht, in welchem Umfang eine investitionsorientierte Klimaschutzpolitik zu positiven gesamtwirtschaftlichen Effekten führen kann. Im Rahmen der Untersuchung wurden die mit einem ambitionierten Klimaschutz verbundenen Investitionen in besonders emissionsintensiven Handlungsfeldern der drei Leitmärkte „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“, „Energieeffizienz“ und „Nachhaltige Mobilität“ quantifiziert. Dafür wurde angenommen, dass eine ambitionierte Klimaschutzpolitik darauf ausgerichtet ist, die Treibhausgasemissionen Deutschlands bis zum Jahr 2050 um mindestens 95 Prozent zu senken. Quantitative Ergebnisse zu den gesamtwirtschaftlichen Wirkungen verstärkter Investitionen in den Klimaschutz wurden für den Zeitraum 2016 bis 2030 vorgelegt.

Zur Bestimmung der Investitionen wurden für die genannten Leitmärkte die Investitionsbedarfe geschätzt, die sich am Reduktionspfad des KS-95 orientieren (Repenning et al. 2015). Da das MiMS jedoch einige besonders investitionsintensive Bereiche herausgreift und andere Bereiche außen vor lässt, ist es nicht direkt mit dem KS-95 vergleichbar. In einzelnen Handlungsfeldern wurde zudem begründet vom KS-95 abgewichen. Im Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“ wurden ergänzende Abschätzungen der notwendigen Mehrinvestitionen basierend auf weiteren Publikationen des UBAs durchgeführt. Damit ist das MiMS im Handlungsfeld „Motorisierter Straßenverkehr“ ambitionierter, während die Maßnahmen im Güter- und nichtmotorisierten Individualverkehr bezüglich der Verlagerung von Verkehrsleistungen leicht hinter den Annahmen des KS-95 zurückbleiben. Die insgesamt relativ geringen Abweichungen sind auf die eingeschränkte Verfügbarkeit von Informationen über den Investitionsbedarf von mit dem KS-95 vergleichbaren Klimaschutzmaßnahmen zurückzuführen. Dem MiMS wurde ein Referenzszenario gegenübergestellt, welches den beiden aktuellen Abschätzungen einer möglichen Referenzentwicklung, dem ERP-REF-Szenario aus Schlesinger et al. (2014) und dem AMS (Repenning et al. 2015), folgt.

Die im Rahmen dieser Studie im Vergleich zum Referenzszenario identifizierten Mehrinvestitionen sind erheblich. Sie belaufen sich für das Jahr 2016 auf etwa 17 Mrd. Euro und steigen über die Zeit an. Im Jahr 2030 betragen die Mehrinvestitionen des MiMS rund 49 Mrd. Euro. Durch die Mehrinvestitionen werden Treibhausgase eingespart. Im MiMS werden die Emissionen bis zum Jahr 2030 um etwa 60 Prozent im Vergleich zu 1990 reduziert. Die Emissionen des MiMS liegen damit im Jahr 2030 etwa 33 Prozent unter dem Wert des Referenzszenarios. Im Vergleich hierzu liegen die Treibhausgasemissionen im KS-80 (25 Prozent) bzw. KS-95 (40 Prozent) unter denen des AMS (Repenning et al. 2015). Sowohl das MiMS als auch das KS-95 befinden sich hierbei auf dem Weg zu einer Reduktion der Treibhausgase um 95 Prozent im Jahr 2050 (Basisjahr 1990, Abbildung 8). Die Abweichung zwischen MiMS und KS-95 hinsichtlich der Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 lassen sich durch die im MiMS nicht berücksichtigten Leitmärkte („Kreislaufwirtschaft“, „Rohstoff- und Materialeffizienz“), nicht berücksichtigte Technologien der drei ausgewählten Leitmärkte (z.B. erneuerbare Wärme), den Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“, in dem keine Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden konnten und in dieser Studie nicht betrachtete Leitmärkte und Sektoren (z.B. Landwirtschaft), erklären. Zudem sind die Zeitverläufe der Emissionsreduktionen bis zum Jahr 2050 nicht notwendigerweise identisch. Trotz der Nicht-Berücksichtigung einzelner Handlungsfelder übersteigt das Minderungspotenzial von Treibhausgasemissionen des MiMS (-60 Prozent im Vergleich zu 1990) die Ziele des Klimaschutzplans der Bundesregierung (-56 bis - 55 Prozent, BMUB 2016).

Der mit Abstand größte Anteil der Mehrinvestitionen des MiMS im Jahr 2030 entfällt auf die energetische Gebäudesanierung, gefolgt von den Mehrinvestitionen in Energiespeicher und Stromnetze, in den Ausbau der erneuerbaren Energien, in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechnologien sowie in verschiedene Handlungsfelder der nachhaltigen Mobilität. Besonders starke Anstiege der Mehrinvestitionen über den Zeitraum bis 2030 weisen die innovationsintensiven Handlungsfelder „Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken“ sowie „Energiespeicher und Stromnetze“ auf.

Für die Untersuchung der gesamtwirtschaftlichen Effekte wurden die Mehrinvestitionen als Investitionsimpuls in das Modell PANTA RHEI eingespeist. Die mit einem ambitionierten Klimaschutz verbundenen Mehrinvestitionen führen im Jahr 2030 insgesamt dazu, dass die gesamtwirtschaftliche Investitionsquote des MiMS (21 Prozent) die Investitionsquote des Referenzszenarios (20 Prozent) um etwa einen Prozentpunkt übertrifft. Mehrinvestitionen in den Klimaschutz können somit wesentlich zum Abbau der eingangs dieser Studie erwähnten Investitionsschwäche beitragen, die sich an der durchschnittlichen Investitionsquote der OECD-Länder orientiert und für die vergangenen Jahre auf etwa zwei Prozentpunkte beziffert wurde.

Die Investitionsschwäche in Deutschland wurde insbesondere bei den öffentlichen Investitionen diagnostiziert (Expertenkommission „Stärkung von Investitionen in Deutschland“ 2015). In dieser Studie wurde angenommen, dass der Anteil der öffentlichen Investitionen an den Gesamtinvestitionen im Handlungsfeld „Energetische Gebäudesanierung“ etwa 15 Prozent beträgt. Im Handlungsfeld „Nachhaltige Mobilität“ wurde sogar davon ausgegangen, dass ein Großteil der Gesamtinvestitionen aus öffentlichen Mitteln finanziert wird. Investitionen in den Klimaschutz sind daher auch geeignet, die Investitionsschwäche bei öffentlichen Investitionen abzubauen.

Die makroökonomischen Kennzahlen der Investitionen zeigen zudem, dass ein ambitionierter Klimaschutz in den ausgewählten Handlungsfeldern substanzielle positive gesamtwirtschaftliche Effekte aufweist. So liegt das BIP im Jahr 2030 2,4 Prozent über dem Wert des Referenzszenarios. Durch die Investitionen in den Klimaschutz werden zudem insgesamt 220.000 Arbeitsplätze in verschiedenen Wirtschaftssektoren geschaffen.

Bezüglich der durch die Investitionen ausgelösten Beschäftigung ist das Handlungsfeld „Nachhaltige Mobilität“ führend, gefolgt von der energetischen Gebäudesanierung. Die Investitionen in Infrastruktur und Gebäude lösen insbesondere Impulse im Bausektor aus, der trotz der Knappheit am Arbeitsmarkt am beschäftigungsintensivsten ist. Die Unterschiede im Beitrag zum BIP sind geringer. Hier schneiden Mehrinvestitionen in energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken am besten ab. Die Investitionen in Querschnitts- und Prozesstechniken stoßen Produktionsprozesse in Zukunftsbranchen an und führen zu Energieeinsparungen. Die eingesparten Energieausgaben können wiederum für andere Verwendungszwecke ausgegeben werden. Sowohl mit Bezug auf die Beschäftigung als auch das BIP hat der Ausbau der erneuerbaren Energien jeweils die geringsten Effekte.

Die in dieser Studie dargestellten gesamtwirtschaftlichen Effekte können mit den aktuell beschlossenen klimapolitischen Maßnahmen jedoch nicht erreicht werden. Um die skizzierten positiven Auswirkungen des Klimaschutzes auf Investitionsquote, BIP und Beschäftigung in den nächsten 15 Jahren zu erzielen, bedarf es erheblicher Anstrengungen. Im Bereich der energetischen Gebäudesanierung beispielsweise, in dem eine ambitionierte Klimaschutzpolitik im MiMS Mehrinvestitionen in großem Umfang vorsieht, wird im Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi und BMUB 2010) derzeit eine energetische Sanierungsrate von zwei Prozent angestrebt. Zur Erreichung der klimapolitischen Ziele wird diese Sanierungsrate im MiMS mit gut 3,7 Prozent im Jahr 2030 deutlich übertroffen. Da aktuelle Zahlen von einer derzeitigen Sanierungsrate von rund einem Prozent ausgehen (UBA 2016), wird neben finanziellen Anreizen ein breites Instrumentarium notwendig sein, um private Investitionen im notwendigen Umfang anzustoßen.

Darüber hinaus spielen andere Handlungsfelder im Rahmen der Klimaschutzpolitik bis dato nur eine weniger gewichtige Rolle. Hierzu zählen beispielsweise das in dieser Studie diskutierte Handlungsfeld „Energieeffiziente Querschnitts- und Prozesstechniken“, welches bisher weniger stark thematisiert wurde. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund zu betonen, dass die Auswirkungen auf das BIP für jeden mehr investierten Euro für dieses Handlungsfeld im Vergleich zu den anderen betrachteten Bereichen am größten sind. Die Beschäftigungswirkung von Investitionen in Querschnitts- und Prozesstechniken ist zwar geringer als in anderen Bereichen, durch die hohe Innovationswirkung sind allerdings auch langfristig positive Effekte der Investitionen auf Wachstum und Beschäftigung zu erwarten.

Maßnahmen für eine nachhaltige Verkehrsinfrastruktur werden zwar in der öffentlichen Debatte aufgegriffen, der Zusammenhang zum Thema Klimaschutz wird aber auch hier noch nicht umfassend hergestellt. Diese Studie zeigt, dass gerade in diesem Bereich jeder mehr investierte Euro zu besonders hohen Beschäftigungseffekten führt. Grund hierfür ist die steigende Nachfrage im Bausektor. Auch hier gilt allerdings, dass die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur, zum Beispiel für Elektro-Pkw, womöglich nicht ausreicht, um die angestrebten Treibhausgasemissionsreduktionen zu erzielen. Aktuell diskutierte ordnungsrechtliche Maßnahmen, um den Umstieg auf die Elektromobilität zu beschleunigen, können die in diesem Bericht beleuchteten investitionsorientierten Maßnahmen ergänzen.

Insgesamt belegt die Studie mit verlässlichen Zahlen, dass sich ein ambitionierter Klimaschutz, der Investitionen in Deutschland anstößt, aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive lohnt. Positive Effekte für Klima und Wirtschaft ergeben sich, in unterschiedlichem Ausmaß, in allen betrachteten Handlungsfeldern.

5 Quellenverzeichnis

- Agricola, A.-C.; Seidl, H.; Mischinger, S.; Rehtanz, C.; Greve, M.; Häger, U.; Hilbrich, D.; Kippelt, S.; Kubis, A.; Liebenau, V.; Noll, T.; Rüberg, S.; Schlüter, T.; Schwippe, J.; Spieker, C.; Teuwsen, J. 2014: dena-Studie Systemdienstleistungen 2030. Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- Ahrens, G.-A.; Becker, U.; Böhmer, T.; Richter, F.; Wittwer, R. 2013: Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Alm, B.; Meurers, M. 2014: Wesentliche Fakten zur Investitionsschwäche in Deutschland. Monatsbericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im November 2014. Berlin: BMWi.
- Baldi, G.; Fichtner, F.; Michelsen, C.; Rieth, M. 2014: Schwache Investitionen dämpfen das Wachstum in Europa. DIW Wochenbericht 27 2014. Berlin: DIW Berlin.
- Bardt, H.; Grömling, M.; Hüther, M. 2015: Schwache Unternehmensinvestitionen in Deutschland? Diagnose und Therapie. IW Policy Paper 04/2015. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln.
- Benndorf, R.; Bernicke, M.; Bertram, A.; Butz, W.; Dettling, F.; Drotleff, J.; Elsner, C.; Fee, E.; Gabler, C.; Galander, C.; Hargita, Y.; Herbener, R.; Hermann, T.; Jäger, F.; Kanthak, J.; Kessler, H.; Koch, Y.; Kuntze, D.; Lambrecht, M.; Lehmann, C.; Lehmann, H.; Leuthold, S.; Lütkehus, I.; Martens, K.; Müller, F.; Müschen, K.; Nissler, D.; Plickert, S.; Purr, K.; Reichart, A.; Reichel, J.; Salecker, H.; Schuberth, J.; Schulz, D.; Streng, U.; Sieck, M.; Westermann, B.; Werner, K.; Winde, C.; Wunderlich, D.; Zietlow, B. 2013: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Blazejczak, J.; Edler, D.; Schill, W.P. 2014: Steigerung der Energieeffizienz: Ein Muss für die Energiewende, ein Wachstumsimpuls für die Wirtschaft. In: Positive Effekte der Energieeffizienz. DIW Wochenbericht 4-2014. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Blazejczak, J., Edler, D., Kahlenborn, W., Linsenmeier, M., Oehlmann, M., Bacher, K., Lehr, U., Lutz, C., Nieters, A., Flaute, M., Büchele, R., Wollgam, G. & Andrä, P. (2017): Die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzgüter und –dienstleistungen - Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz (II). In Vorbereitung, 2017.
- Böhmer, M.; Thamling, N. 2013: Ermittlung der Wachstumswirkungen der KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren. Im Auftrag der KfW Bankengruppe. Basel: Prognos AG.
- Büchele, R.; Henzelmann, T.; Panizza, P.; Wiedemann, A. 2014: GreenTech made in Germany 4.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Berlin: BMUB.
- Bundesministerium der Finanzen (BMF) 2014: Investitionsschwäche in Deutschland? Eine Analyse der Investitionstätigkeit im internationalen Vergleich. Monatsbericht des BMF März 2014. Berlin: BMF.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2015: Klimaschutzbericht 2015 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. Berlin: BMUB.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2012: Nationaler Radverkehrsplan 2020. Berlin: BMVBS.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2015: Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft – Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation. Berlin: BMWi.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 2010: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin: BMWi.
- Bundesregierung 2009: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin: Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland.
- Bürger, V.; Hesse, T.; Quack, D.; Palzer, A.; Köhler, B.; Herkel, S.; Engelmann, P. 2016: Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Bericht im Auftrag des Umweltbundesamts. Dessau: Umweltbundesamt.
- Dehne, N.; Mattes, A.; Traber, T. 2015: Die Beschäftigungseffekte der Energiewende. Eine Expertise für den BWE und die Deutsche Messe. Berlin: DIW Econ GmbH.

Deutsch, M.; Graichen, P. 2015: Was wäre, wenn... ein flächendeckender Rollout von Solar-Speicher-Systemen stattfände? Eine erste Abschätzung für das Stromsystem und die Energiepolitik. Berlin: Agora Energiewende.

Deutsche Bundesbank 2016: Bestandserhebung über Direktinvestitionen. Statistische Sonderveröffentlichung 10. Frankfurt am Main: Deutsche Bundesbank.

Deutsche Energie-Agentur (dena) 2012: Der dena-Gebäudereport 2012. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

Deutsche Energie-Agentur (dena) 2014: Systemdienstleistungen 2030. Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

Deutsche Energie-Agentur (dena) 2015: Typische Effizienzhausstandards im dena-Modellvorhaben. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) 2008: Investitionsbedarf für Geh- und Radwege beträgt 1,4 Mrd. Euro pro Jahr. Zuletzt eingesehen am 18.0.2016 unter <https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/aktuell/nachrichten/investitionsbedarf-fuer-geh-und-radwege-betraegt>.

Doetsch, C.; Grevé, A. 2014: Metastudie Energiespeicher. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES.

Doll, C.; Hartwig, J.; Senger, F.; Schadel, W.; Maibach, M.; Sutter, D.; Bertschmann, D.; Lambrecht, U.; Knörr, W.; Dünnebeil, F. 2012: Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. Schlussbericht. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Dorst, W. 2016: Industrie 4.0 – Status und Perspektiven. Berlin: Bitkom e.V.

Expertenkommission „Stärkung von Investitionen in Deutschland“ 2015: Stärkung von Investitionen in Deutschland. Bericht der Expertenkommission im Auftrag des BMWi. Berlin: Expertenkommission „Stärkung von Investitionen in Deutschland“.

Fratzscher, M.; Gornig, M.; Schiersch, A. 2016: Investitionsschwäche der Unternehmen schafft Handlungsbedarf. DIW Wochenbericht 16/2016. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.

Fratzscher, M.; Rürup, B.; Belitz, H.; Fichtner, F.; Gornig, M.; Heilmann, D.H.; Junker, S.; Michelsen C.; Schiersch, A. 2014: Private Investitionen in Deutschland, Studie im Auftrag des Gemeinschaftsausschuss der Deutschen Gewerblichen Wirtschaft. Berlin, Düsseldorf: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung und Handelsblatt Research Institute.

Fürstenwerth, D.; Waldmann, L. 2014: Stromspeicher in der Energiewende. Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz. Berlin: Agora Energiewende.

Holzhey, M. 2010: Schienennetz 2025/2030. Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Jaeger, C.; Schütze, F.; Mielke, J.; Steudle, G.; Wolf, S.; Fürst, S.; Mangalagiu, D.; Meißner F.; Paroussos, L. 2015: Investment-oriented climate policy: An opportunity for Europe. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin: Global Climate Forum.

Jochem, E.; Jaeger, C.; Battaglini, A.; Bradke, H.; Cremer, C.; Eichhammer, W.; Förster, H.; Haas, A.; Henning, E.; Idrissova, F.; Kasper, B.; Köhler, J.; Köwener, D.; Krause, J.; Lass, W.; Lilliestam, J.; Manns-bart, M. Müller, F. Meißner, B. Pflüger, P. Radgen, M. Ragwitz, M. Rauschen, F. Reitze, L. Riffeser, W.; Saure, K.; Schade, W.; Sensfuß, F.; Toro, F.; Walz, R.; Wietschel, M. 2008: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Studie im Auftrag des BMUB. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Kasten, P.; Mottschall, M.; Köppel, W.; Degünther, C.; Schmied, M.; Wüthrich P. 2016: Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050. Studie im Auftrag des Umweltbundesamts. Berlin: Öko-Institut.

Lehr, U.; Edler, D.; Ulrich, P.; Blazejczak, J.; Lutz, C. 2016: Beschäftigungschancen auf dem Weg zu einer Green Economy – szenarienbasierte Analyse von (Netto-) Beschäftigungswirkungen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamts. In Vorbereitung.

Lehr, U.; Ulrich, P.; Lutz, C.; Thobe, I.; Edler, D.; O'Sullivan, M.; Simon, S.; Naegler, T.; Pfenning, U.; Peter, F.; Sakowski, F.; Bickel, P. 2015: Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Osnabrück, Berlin, Stuttgart: GWS, DIW, DLR, Prognos AG, ZSK.

- Löckener, R., Ulrich, P., Lehr, U., Sundmacher, T., Timmer, B. & Vorderwülbecke, A. (2016): Energiewende in Baden-Württemberg - Auswirkungen auf die Beschäftigung. Study der Hans-Böckler-Stiftung, Bd. 344, Düsseldorf.
- Lüers, S.; Wallasch, A.-K.; Rehfeldt, K. 2015: Kostensituation der Windenergie an Land in Deutschland. Studie im Auftrag von VDMA und BDEW. Varel: Deutsche Windguard.
- Lutz, C.; Großmann, A.; Lehr, U.; Lindenberger, D.; Knaut, A.; Malischek, R.; Paulus, S.; Tode, C.; Wagner, J.; Kemmler, A.; Piegsa, A.; Schlesinger, M.; Straßburg, S.; Koziel, S. 2014: Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Osnabrück, Köln, Basel: GWS, EWI, Prognos AG.
- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2015: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015. Berlin: Nationale Plattform Elektromobilität.
- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2016: Wegweiser Elektromobilität. Handlungsempfehlungen der Nationalen Plattform Elektromobilität. Berlin: Nationale Plattform Elektromobilität.
- Neuhoff, K.; Amecke, H.; Stelmakh, K.; Rosenberg, A.; Novikova, A. 2011 : Erfüllung der Ziele des Energiekonzepts für Wohngebäudeanierungen: Wirtschaftlichkeit, finanzielle Unterstützung und eingesparte Energie. Berlin: Climate Policy Initiative.
- New Climate Economy 2014: Better growth, better climate. The new climate economy report. Washington: New Climate Economy.
- Pape, C.; Gerhardt, N.; Härtel, P.; Scholz, A.; Schwinn, R.; Drees, T.; Maaz, A.; Sprey, J.; Breuer, C.; Moser, A.; Sailer, F.; Reuter, S.; Müller, T. 2014: Roadmap Speicher. Bestimmung des Speicherbedarfs in Deutschland im europäischen Kontext und Ableitung von technisch-ökonomischen sowie rechtlichen Handlungsempfehlungen für die Speicherförderung. Studie im Auftrag des BMWi. Freiburg: Fraunhofer IWES.
- Pfeiffer, D.; Lünenbürger, B.; Weiß, J.; Gibis, C.; Klaus, T.; Burger, A.; Kühleis, C.; Hain, B. 2016: Klimaschutz im deutschen Kraftwerkspark. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Plessing, T. 2015: Energieeffizienz, Chancen im Rahmen Industrie 4.0. Wirtschaftstag der Metro-polregion Nürnberg. Nürnberg.
- Repenning, J.; Emele, L.; Blanck, R.; Dehoust, G.; Förster, H.; Greiner, B.; Harthan, R.; Hennenberg, K.; Hermann, H.; Jörß, W.; Ludig, S.; Loreck, C.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Zell-Ziegler, C.; Braungardt, S.; Eichhammer, W.; Elsland, R.; Fleiter, T.; Hartwig, J.; Kockat, J.; Pfluger, B.; Schade, W.; Schlomann, B.; Sensfuß F.; Ziesing, H. 2015: Klimaschutzszenario 2050. Zusammenfassung des 2. Endberichts. Studie im Auftrag des BMUB. Freiburg, Berlin: Öko-Institut.
- Richter, M. 2015: Industrie 4.0 und Energieeffizienz in der Produktion – Aktuelle Entwicklungen und Anwendungsbeispiele. Chemnitz: Fraunhofer IWU.
- Sachverständigenrat-Wirtschaft 2014: Mehr Vertrauen in Marktprozesse, Jahresgutachten 2014/2015, 231-237. Wiesbaden: Sachverständigenrat-Wirtschaft.
- Schill, W.-P.; Diekmann, J.; Zerrahn, A. 2015: Power Storage: An Important Option for the German Energy Transition. DIW Economic Bulletin 10.2015. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Schlesinger, M.; Lindenberger, D.; Lutz, C. 2014: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht. Projekt Nr. 57/12. Studie im Auftrag des BMWi. Basel, Köln, Osnabrück: Prognos AG, EWI, GWS.
- Sutter, D.; Maibach, M.; Bertschmann, D.; Ickert, L.; Peter, M.; Doll, C.; Kühn, A. 2012: Finanzierung einer nachhaltigen Güterverkehrsinfrastruktur. Anforderungen und Rahmenbedingungen für eine zukunftsorientierte Entwicklung des Güterverkehrs - eine systematische Analyse auf der Grundlage eines Ländervergleichs. Teilvorhaben ohne Luftverkehr. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (UBA) 2016: UBA Position zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung. Beitrag zur Diskussion im Rahmen des Erstellungsprozesses. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Wietschel, M.; Plötz, P.; Kühn, A.; Gnann T. 2013: Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Studie im Auftrag von acatech und der Nationalen Plattform Elektromobilität. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Wünsch, M.; Thamling, N.; Peter F.; Seefeldt, F. 2011: Beitrag von Wärmespeichern zur Integration erneuerbarer Energien. Berlin: Prognos AG.

6 Anhang

Anhang 1: Rahmendaten des Referenzszenarios

PANTA15_1	Einheit	Absolut- werte 2013	Absolut- werte 2020	Absolut- werte 2030
Internationale Preise				
Ölpreis	USD ₂₀₁₁ /bbl	125,1	77,6	108,8
Preis für CO ₂ -Zertifikate	Euro ₂₀₁₁ /t CO ₂	4,8	10,6	42,1
Sozioökonomische Rahmendaten				
Bevölkerung (Einwohner)	Mio.	80,6	83,5	82,7
Beschäftigung (Personen)	Mio.	37,9	39,4	38,2
Anzahl der Privathaushalte	Mio.	39,9	42,0	42,6
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. Euro ₂₀₀₅	2.693	2.990	3.362
Produktionswert	Mrd. Euro ₂₀₀₅	4.953	5.637	6.529
PKW-Bestand	Mio.	43,9	46,4	46,9
Personenverkehrsleistung insg.	Mrd. Pkm	1.141	1.178	1.216
Güterverkehrsleistung insg.	Mrd. Tkm	627	703	836
Preise Haushalte (inkl. MwSt.)				
Heizöl, leicht	Cent ₂₀₁₁ /l	84,2	67,6	77,0
Erdgas	Cent ₂₀₁₁ /kWh	7,2	8,4	8,3
Strom	Cent ₂₀₁₁ /kWh	29,1	29,9	32,5
Benzin	Euro ₂₀₁₁ /l	1,61	1,48	1,53
Preise Industrie (exkl. MwSt.)				
Heizölpreis, leicht	Euro ₂₀₁₁ /t	814	646	813
Erdgas	Cent ₂₀₁₁ /kWh	3,2	3,4	3,8
Strom	Cent ₂₀₁₁ /kWh	11,8	13,0	17,7
Primärenergieverbrauch	PJ	13.779	11.888	10.508
Kernenergie	%	7,7	5,8	0,0
Steinkohle	%	13,0	10,1	10,2
Braunkohle	%	11,8	11,9	12,6
Mineralöl	%	33,6	34,0	32,9
Gase	%	22,2	19,0	18,5
Erneuerbare Energien	%	10,9	18,5	25,5
Importsaldo Strom	%	-0,8	-1,2	-1,8
Endenergieverbrauch	PJ	9.162	8.250	7.529
Private Haushalte	%	27,9	26,1	24,1
GHD	%	15,8	15,2	15,1
Industrie	%	27,8	27,7	29,2
Verkehr	%	28,5	31,1	31,6
Kohle	%	4,7	4,3	4,4
Mineralölprodukte	%	37,7	37,1	34,4

PANTA15_1	Einheit	Absolut- werte 2013	Absolut- werte 2020	Absolut- werte 2030
Gase	%	24,9	21,1	18,9
Strom	%	20,4	20,7	22,9
Fernwärme	%	4,7	4,5	4,3
Erneuerbare Energien	%	6,9	11,4	14,1
Anteil EE am BEEV	%	13,9	23,0	30,7
Bruttostromerzeugung	TWh	638,8	582,2	591,6
Kernenergie	%	15,2	10,8	0,0
Steinkohle	%	19,9	14,7	13,1
Braunkohle	%	25,2	22,5	20,8
Erdgas	%	10,6	5,9	7,2
Erneuerbare Energien	%	23,9	41,8	54,9
Sonstige	%	5,2	4,3	4,0
Effizienzindikatoren				
PEV pro Kopf	GJ/Kopf	171	142	127
BIP/PEV	Euro ₂₀₀₅ /MJ	195	252	320
EEV/Anzahl der priv. Haushalte	GJ/Haushalt	64	51	43
BWS/EEV GHD	Euro/GJ	1.223	1.724	2.319
Produktionswert/EEV	Euro ₂₀₀₅ /GJ	541	683	867
Personen-km/EEV Verkehr	Pkm/GJ	437	459	511
Tonnen-km/EEV Verkehr	Tkm/GJ	240	274	351
THG-Emissionen und Indikatoren				
THG-Emissionen	Mio. t CO ₂ -eq	953	777	684
Änderung gegenüber 1990	%	-22,9	-37,1	-44,6
THG-Emissionen, energiebedingt	Mio. t CO ₂ -eq	1.314	637	561
Änderung gegenüber 1990	%	32,7	-35,7	-43,3
THG-Emissionen/BIP real	g CO ₂ -eq/Euro	354	260	203
THG-Emissionen/Einwohner	t CO ₂ -eq/Kopf	11,8	9,3	8,3

Anhang 2: Rahmendaten des MiMS; gezeigt werden Größen, die im MiMS vom Referenzszenario abweichen

PANTA15_1	Einheit	Absolut- werte 2013	Absolut- werte 2020	Absolut- werte 2030
Sozioökonomische Rahmendaten				
Beschäftigung (Personen)	Mio.	37,9	39,5	38,4
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. Euro ₂₀₀₅	2.693	3.033	3.442
Produktionswert	Mrd. Euro ₂₀₀₅	4.953	5.701	6.642
Personenverkehrsleistung insg.	Mrd. Pkm	1.141	1.149	1.153
Güterverkehrsleistung insg.	Mrd. Tkm	627	688	793
Preise Haushalte (inkl. MwSt.)				
Strom	Cent ₂₀₁₁ /kWh	29,1	31,7	37,2
Preise Industrie (exkl. MwSt.)				
Strom	Cent ₂₀₁₁ /kWh	11,8	14,2	22,1
Primärenergieverbrauch	PJ	13.779	11.888	10.508
Kernenergie	%	7,7	6,3	0,0
Steinkohle	%	13,0	9,0	6,0
Braunkohle	%	11,8	10,6	6,5
Mineralöl	%	33,6	35,7	40,1
Gase	%	22,2	17,6	13,2
Erneuerbare Energien	%	10,9	20,2	34,3
Importsaldo Strom	%	-0,8	-1,3	-2,4
Endenergieverbrauch	PJ	9.162	8.250	7.529
Private Haushalte	%	27,9	26,5	25,0
GHD	%	15,8	13,7	11,1
Industrie	%	27,8	26,4	23,9
Verkehr	%	28,5	33,3	40,0
Kohle	%	4,7	4,3	3,8
Mineralölprodukte	%	37,7	38,5	39,9
Gase	%	24,9	19,4	12,7
Strom	%	20,4	19,8	18,6
Fernwärme	%	4,7	4,8	5,7
Erneuerbare Energien	%	6,9	12,5	18,6
Anteil EE am BEEV	%	13,9	25,1	40,6
Bruttostromerzeugung	TWh	638,8	515,5	387,6
Kernenergie	%	15,2	12,2	0,0
Steinkohle	%	19,9	12,5	4,8
Braunkohle	%	25,2	20,1	9,0
Erdgas	%	10,6	4,4	1,0
Erneuerbare Energien	%	23,9	47,2	83,8
Sonstige	%	5,2	3,7	1,4

PANTA15_1	Einheit	Absolut- werte 2013	Absolut- werte 2020	Absolut- werte 2030
Effizienzindikatoren				
PEV pro Kopf	GJ/Kopf	171	131	94
BIP/PEV	Euro ₂₀₀₅ /MJ	195	278	441
EEV/Anzahl der priv. Haushalte	GJ/Haushalt	64	48	33
BWS/EEV GHD	Euro/GJ	1.223	2.095	4.251
Produktionswert/EEV	Euro ₂₀₀₅ /GJ	541	752	1.163
Personen-km/EEV Verkehr	Pkm/GJ	437	455	504
Tonnen-km/EEV Verkehr	Tkm/GJ	240	272	347
THG-Emissionen und Indikatoren				
THG-Emissionen	Mio. t CO ₂ -eq	953	697	455
Änderung gegenüber 1990	%	-22,9	-43,6	-63,1
THG-Emissionen, energiebedingt	Mio. t CO ₂ -eq	1.314	556	332
Änderung gegenüber 1990	%	32,7	-43,8	-66,4
THG-Emissionen/BIP real	g CO ₂ -eq/Euro	354	230	132
THG-Emissionen/Einwohner	t CO ₂ -eq/Kopf	11,8	8,3	5,5

Anhang 3: Spezifische Investitionskosten für erneuerbare Strom- und Wärmetechnologien

Technologie	Einheit	2020	2025	2030
Wind onshore	[Euro/kwel]	1273,2	1235,8	1198,5
Wind offshore	[Euro/kwel]	3465,0	3057,5	2650,0
Photovoltaik	[Euro/kwel]	1050,0	1005,0	960,0

Quelle: in Anlehnung an Lehr et al. (2015)