

prognos

Fraunhofer



Öko-Institut e.V.  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

ISI

MFIVE



IREES  
Institut für Ressourceneffizienz  
und Energiestrategien

FiBL

## Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung

Zusammenfassung

Berlin, 01.11.2018

Die Studie wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit beauftragt.

**Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

**Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

**Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

**Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)

## **Autorinnen und Autoren**

### **Öko-Institut e.V.**

Julia Repenning, Dr. Katja Schumacher, Thomas Bergmann, Ruth Blanck, Dr. Hannes Böttcher, Dr. Veit Bürger, Dr. Johanna Cludius, Lukas Emele, Wolfram Jörß, Klaus Hennenberg, Hauke Hermann, Charlotte Loreck, Dr. Sylvie Ludig, Dr. Felix Matthes, Christian Nissen, Margarethe Scheffler, Kirsten Wiegmann, Carina Zell-Ziegler

### **Fraunhofer ISI**

Dr. Tobias Fleiter, Benjamin Fries, Luisa Sievers, Matthias Pfaff

### **Prognos**

Nils Thamling, Dominik Rau

### **M-Five**

Dr. Johannes Hartwig, Sarah Welter

### **IREES**

Oliver Lösch

### **FIBL**

Axel Wirz

#### **Fraunhofer ISI**

Breslauer Str. 48  
76139 Karlsruhe  
Telefon +49 721 6809-0  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)

#### **IREES GmbH**

Schönfeldstr. 8  
76131 Karlsruhe  
Telefon +49 721 26 36 0  
[www.irees.de](http://www.irees.de)

#### **M-FIVE GmbH**

Mobility, Futures, Innovation, Economics Bahnhofstraße 46  
76137 Karlsruhe  
+49 721 824818-90  
[www.m-five.de](http://www.m-five.de)

#### **Prognos AG**

Goethestr. 85  
10623 Berlin  
Telefon +49 30 52 00 59-210  
[info@prognos.com](mailto:info@prognos.com)

#### **FIBL**

Kasseler Straße 1a  
D-60486 Frankfurt  
Telefon +49 69 7137699 0  
[www.fibl.org](http://www.fibl.org)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Wesentliche Erkenntnisse im Überblick</b>	<b>7</b>
<b>Überblick über wesentliche Ergebnisse</b>	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2. Methodisches Vorgehen, Referenz und sektorale Zielpfadkombinationen</b>	<b>8</b>
<b>3. Folgewirkung Treibhausgasminderung</b>	<b>12</b>
<b>4. Sektorale Betrachtung</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Gebäude</b>	<b>13</b>
4.1.1. Gebäude – „thermische Konditionierung“ (ESG)	13
4.1.1.1. Annahmen	13
4.1.1.2. Endenergieverbrauch und direkte Treibhausgasemissionen	13
4.1.1.3. Sozio-ökonomische Aspekte	15
4.1.1.4. Kernbotschaften	17
4.1.2. Gebäude - Stromverbrauch in privaten Haushalten und dem GHD-Sektor	18
4.1.2.1. Annahmen	18
4.1.2.2. Endenergieverbrauch	18
4.1.2.3. Kernbotschaften	19
<b>4.2. Industrie</b>	<b>19</b>
4.2.1. Annahmen	19
4.2.2. Endenergieverbrauch und direkte Treibhausgasemissionen	19
4.2.3. Ökonomische Aspekte	21
4.2.4. Kernbotschaften	22
<b>4.3. Verkehr</b>	<b>22</b>
4.3.1. Annahmen	22
4.3.2. Fahrzeugbestand und Verkehrsnachfrage	23
4.3.3. Endenergieverbrauch und direkte Treibhausgasemissionen	24
4.3.4. Sozio-ökonomische Aspekte	24
4.3.5. Kernbotschaften	26
<b>4.4. Energiewirtschaft</b>	<b>27</b>
4.4.1. Annahmen	27
4.4.2. Nettostromerzeugung	27

4.4.3.	Ökonomische Aspekte	28
4.4.4.	Kernbotschaften	29
<b>4.5.</b>	<b>Landwirtschaft</b>	<b>30</b>
4.5.1.	Annahmen	30
4.5.2.	Sozioökonomische Aspekte	30
4.5.3.	Kernbotschaften	31
<b>4.6.</b>	<b>Sonstige (Abfallwirtschaft)</b>	<b>32</b>
4.6.1.	Annahmen	32
4.6.2.	Ökonomische Aspekte	32
4.6.3.	Kernbotschaften	33
<b>4.7.</b>	<b>Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF)</b>	<b>34</b>
4.7.1.	Annahmen	34
4.7.2.	Ökonomische Aspekte	35
4.7.3.	Kernbotschaften	36
<b>5.</b>	<b>Gesamtwirtschaftliche Effekte</b>	<b>36</b>
<b>5.1.</b>	<b>Investitionsbedarf und Einsparungen</b>	<b>37</b>
<b>5.2.</b>	<b>Bruttoinlandsprodukt, Wertschöpfung und Beschäftigung</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>Weitere ökonomische Effekte</b>	<b>42</b>
<b>6.1.</b>	<b>Umwelt- und Gesundheitseffekte und externe Kosten</b>	<b>42</b>
6.1.1.	Umwelt- und Gesundheitseffekte	42
6.1.2.	Externe Kosten	43
<b>6.2.</b>	<b>Importabhängigkeit</b>	<b>43</b>
<b>6.3.</b>	<b>Versorgungssicherheit</b>	<b>44</b>
<b>6.4.</b>	<b>Wettbewerbseffekte</b>	<b>46</b>
<b>7.</b>	<b>Bewertung der Pfade und Schlussfolgerung</b>	<b>49</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Untersuchte Kategorien der Folgenabschätzung	11
Abbildung 3-1:	Sektorale THG-Emissionen in 2015 und in 2030 (REF, ZP A, ZP B)	12
Abbildung 4-1:	Endenergieverbrauch in Gebäuden differenziert nach Energieträgern	14
Abbildung 4-2:	Annuierte Differenzinvestitionen und Ausgaben / Einsparungen im Vergleich – Gebäude	16
Abbildung 4-3:	Endenergieverbrauch in der Industrie differenziert nach Energieträgern (exkl. KWK Wärmeerzeugung)	20
Abbildung 4-4:	Annuierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen der Industrie	21
Abbildung 4-5:	Pkw Bestand im Jahr 2030 nach Antrieben über die Szenarien	23
Abbildung 4-6:	Annuierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen des Verkehrs	25
Abbildung 4-7:	Nettostromerzeugung im Referenzszenario und den Zielpfaden A und B in den Jahren 2025 und 2030	28
Abbildung 4-8:	Annuierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen der Energiewirtschaft	29
Abbildung 4-9:	Annuierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen der Landwirtschaft	31
Abbildung 4-10:	Annuierte Differenzinvestitionen des Abfallsektors	33
Abbildung 4-11:	Referenz- und Zielpfadentwicklung LULUCF	34
Abbildung 5-1:	Investitionsimpulse – Differenzinvestitionen nach Handlungsfeld	38
Abbildung 5-2:	Annuitätische Darstellung – Vergleich Investitionen und Ausgaben	39
Abbildung 5-3:	Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen - Veränderungen gegenüber der Referenz in 2030	40
Abbildung 5-4:	Beschäftigung nach Wirtschaftsbereichen - Veränderungen gegenüber der Referenz in 2030	41
Abbildung 6-1:	Vermiedene externe Kosten in den Zielpfaden gegenüber dem Referenzszenario	43
Abbildung 6-2:	Importabhängigkeit (Energieträger)	44
Abbildung 6-3:	Versorgungssicherheit	45
Abbildung 6-4:	Industriestrompreis in der nicht-energieintensiven Industrie in Referenz und Zielpfaden	47
Abbildung 6-5:	Industriestrompreis in der energieintensiven Industrie in Referenz und Zielpfaden	48
Abbildung 6-6:	Energiestückkosten für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt und unterschiedliche Sektorgruppen, 2010-2030	49

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Definition und sektorale Kernannahmen	10
Tabelle 4-1:	Zusammenfassung der jährliche Mehrkosten im LULUCF-Sektor im Zielpfad	36

## Wesentliche Erkenntnisse im Überblick

Die Analysen zeigen dreierlei:

1. Die Ziele der einzelnen Sektoren sind mit unterschiedlichen Strategien erreichbar.
2. Alle untersuchten Umsetzungsstrategien sind aus volkswirtschaftlicher Sicht mit positiven Wirkungen verbunden, dies insbesondere bei einer effizienzbetonten Umsetzungsstrategie.
3. In allen Sektoren ergeben sich spezifische Herausforderungen, die bei der Erarbeitung und Umsetzung des ersten Maßnahmenprogramms zum Klimaschutzplan 2050 adressiert werden sollten.

## Überblick über wesentliche Ergebnisse

Die Erreichung der Sektorziele erfordert in allen Sektoren erhebliche zusätzliche Investitionen bzw. die Verlagerung von Investitionen im Vergleich zur angenommenen Referenzentwicklung. Die untersuchten Zielpfade weisen auf bestehende Gestaltungsspielräume hin.

In den meisten Sektoren zeigt sich, dass eine vorrangig auf Energieeffizienz fokussierte Strategie (in der Studie als Zielpfad A bezeichnet) mit volkswirtschaftlichen Vorteilen verbunden ist, d.h. dass den notwendigen Investitionen auch ähnlich hohe oder sogar noch höhere Einsparungen gegenüberstehen.

In der gesamtwirtschaftlichen Analyse zeigen sich insgesamt positive Auswirkungen auf Wertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung. Allerdings stehen Zugewinnen in vielen Branchen auch rückläufige Entwicklungen von Wertschöpfung und Beschäftigung in einigen Branchen gegenüber. Diese Entwicklungen müssen entsprechend flankiert werden. Bestimmte positive Ergebnisse beruhen zudem auf Annahmen, wie z.B. einem unverändert hohen inländischen Produktionsanteil in der Autoindustrie auch bei der Elektromobilität. Damit dies tatsächlich realisiert werden kann, müsste die Politik die entsprechenden Rahmenbedingungen gestalten.

Bei der Analyse von Strompreisen und Energiekosten zeigt sich, dass deren Entwicklung in den Zielpfaden im Vergleich zur Referenzentwicklung für die Wirtschaft meist vorteilhaft ist bzw. nur zu geringfügigen Belastungen führt. So führt z.B. der in den Zielpfaden unterstellte Ausbau der erneuerbaren Energien entsprechend des 65%-Ziels der Bundesregierung zu gegenüber der Referenzentwicklung verringerten Großhandelsstrompreisen.

Die deutlichen Effizienzverbesserungen in den Zielpfaden und der Übergang zur Elektromobilität führen zu erheblichen Einsparungen beim Import fossiler Energieträger. Eine Gefährdung der Versorgungssicherheit im Bereich der Stromerzeugung ist nicht zu erkennen, bzw. lässt sich durch vergleichsweise moderate Maßnahmen vermeiden.

Es wurden zudem positive Wirkungen durch vermiedene Schadstoffemissionen und vermiedene externe Kosten des Klimawandels ausgewiesen, wenngleich mögliche Klimaschäden für die Volkswirtschaft oder Anpassungsmaßnahmen nicht im Fokus der Untersuchung standen.

## 1. Einleitung

Klimaschutzpolitik bildet seit inzwischen mehr als zwei Dekaden ein herausgehobenes Feld deutscher Politik. Diese beruht auf einer umfassenden Strategie, die von der deutschen Bundesregierung bereits frühzeitig initiiert und stetig fortentwickelt wurde. Im europäischen Kontext konnte die Bundesregierung immer wieder als treibende Kraft die Verhandlungen zum europäischen Klimaschutz entscheidend mitbestimmen. Mit den ambitionierten nationalen Zielen hat Deutschland eine Vorreiterrolle innerhalb der EU eingenommen.

Das Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2007, das 2010 verabschiedete Energiekonzept und die Beschlüsse zur Beschleunigung der Energiewende vom Sommer 2011 beinhalten wichtige

energie- und klimapolitische Strategien, Politiken und Maßnahmen. Im Energiekonzept wurden zudem erstmals langfristige Energie- und Klimaschutzziele für Deutschland verabschiedet. Danach sollen die Treibhausgasemissionen in Deutschland im Vergleich zum Niveau von 1990 bis 2020 um mindestens 40 %, bis 2030 um mindestens 55%, bis 2040 um mindestens 70% und bis 2050 um 80 bis 95 % gesenkt und ehrgeizige Ziele für Energieeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien erreicht werden. Im Klimaschutzplan ist zudem das Leitbild der weitgehenden Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2050 verankert.

Um das 40%-Ziel im Jahr 2020 sicher zu erreichen, hat die Bundesregierung Anfang Dezember 2014 das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (BMUB 2014) mit zusätzlichen Maßnahmen beschlossen. Aktuelle Projektionen gehen jedoch davon aus, dass die Minderung gegenüber 1990 lediglich bei ca. 32 % in 2020 liegen wird (Öko-Institut 2017). Damit wird das 40%-Ziel deutlich verfehlt.

Mit dem im November 2016 beschlossenen Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung ein strategisches Dokument verabschiedet, mit dem die langfristigen bzw. übergreifenden Ziele des Klimaschutzabkommens von Paris und die Ziele des deutschen Energiekonzepts schrittweise operationalisiert werden sollen. Der Klimaschutzplan 2050 enthält neben einer Bekräftigung des genannten Langfristziels, der weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050, auch sektorale Zwischenziele, Leitbilder, Meilensteine und teilweise auch konkrete Maßnahmen für den Zielhorizont 2030, mit denen die langfristige Konsistenz der Entwicklung gesichert, gleichzeitig Strukturbrüche vermieden sowie Wohlstand und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands bewahrt bzw. gestärkt werden sollen.

Mit dem Klimaschutzplan 2050 ist auch eine umfassende Folgenabschätzung beschlossen worden, die als Grundlage für zwei unterschiedliche Prozesse dienen soll. Einerseits soll eine Grundlage für eine fundierte Diskussion mit den Sozialpartnern geschaffen werden. Andererseits sollen die Analysen aus den Folgenabschätzungen zumindest mittelbar auch dazu dienen, umfassend fundierte Politiken und Maßnahmen, also konkrete politische Instrumente zu entwickeln und zu diskutieren, mit denen die Ziele für das Jahr 2030 auch unter Maßgabe sehr unterschiedlicher Rahmenbedingungen erreicht werden können.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) das Konsortium aus Öko-Institut, Fraunhofer ISI, Prognos, IREES, M-Five und FIBL beauftragt das Projekt zur „Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung“ zu erarbeiten.

Im Vordergrund der Analysen steht dabei die Einordnung unterschiedlichster Ansätze, mit denen die für 2030 (ggf. vorläufig) vorgegebenen Sektorziele erreicht werden können. Diese Einordnung soll unter Berücksichtigung ökologischer, wirtschaftlicher, sozialer und übergreifender politischer Ziele (z.B. im Kontext der Europäischen Union sowie ihrer Ziele und Politiken) erfolgen. Als Novum sollen dabei die einschlägigen Umweltaspekte zumindest teilweise auf Basis monetarisierter Größen und im gleichen analytischen Rahmen wie Gesetzesfolgenabschätzungen oder Infrastrukturplanungen berücksichtigt werden.

## 2. Methodisches Vorgehen, Referenz und sektorale Zielpfadkombinationen

Die Folgenabschätzung der Sektorziele für 2030 für den Klimaschutzplan 2050 orientiert sich an den Verfahren und Ansätzen, die für die Abschätzung von gesetzlichen Regelungen in Nutzen-Kosten-Kategorien angewendet werden und für die mit dem Leitfaden für Nutzen-Kosten-Analysen des UBA auf eine methodische Grundlage zurückgegriffen werden kann (Porsch et al. 2014).

Es ist hervorzuheben ist, dass die vorliegende Folgenabschätzung sich den Folgen der Erreichung der Sektorziele 2030 im Klimaschutzplan 2050 widmet. Hier besteht ein wesentlicher Unterschied zu den üblichen Verfahren der Gesetzesfolgenabschätzung, die sich in der Regel auf einzelne spezifische Umsetzungsinstrumente beziehen und bei denen Folgen wie z.B. Verteilungs- oder Wettbewerbseffekte sich wesentlich genauer bestimmen lassen.



Das Vorgehen in der Folgenabschätzung beinhaltet folgende Schritte:

- i. **Festlegung der Rahmendaten:** In einem ersten Schritt wurden allgemeine und spezifische Rahmendaten in Abstimmung mit den relevanten Ressorts der Bundesregierung festgelegt, die die Grundlage für alle weiteren Analysen bilden. Die Rahmendaten betreffen unter anderem die Entwicklung demographischer und gesamtwirtschaftlicher Parameter, der anzulegenden Diskontrate, der Energie- und EUA-Preise, der Verkehrsnachfrage und des Wohnraumbedarfs. Zusätzliche Annahmen werden in Form von Sensitivitätsbetrachtungen berücksichtigt.
- ii. **Referenz und Zielpfade:**
  - **Referenzentwicklung (REF):** Die Referenz entspricht in allen Sektoren weitgehend dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Projektionsberichtes 2017 und den dort umgesetzten Maßnahmen. Eine Anpassung fand hinsichtlich der ressortabgestimmten Rahmendaten wie der Entwicklung von Wirtschaft und Energiepreisen statt.
  - **Zielpfade (ZP):** Für die Zielpfade werden Strategien und Hebel pro Sektor identifiziert, die das Erreichen der Sektorziele erlauben. Für die meisten Sektoren werden je zwei sektorale Pfadkombinationen (auch Zielpfade genannt) abgeleitet. Die Zielpfade sind unabhängig von einer konkreten Instrumentierung und stellen keine politischen Maßnahmen dar.<sup>1</sup> Hinweise für Strategien werden im Klimaschutzplan beschrieben bzw. werden darauf basierend abgeleitet. Die Zielpfade sind damit nicht kostenoptimiert und stellen nicht die einzigen Wege dar, die Ziele zu erreichen. In Zielpfad A wird der Schwerpunkt auf Energieeffizienz gelegt, während Zielpfad B mit Schwerpunkt auf erneuerbare Energie ausgestaltet ist. Im Folgenden werden die den Zielpfaden zugrundeliegenden Strategien, Wirkungsmechanismen oder Hebel vereinfachend „Annahmen“ genannt. Damit sollen sie deutlich von Instrumenten oder Maßnahmen abgegrenzt werden, die nicht Gegenstand dieser zielorientierten Folgenabschätzung sind. Die sektoralen Annahmen für die Zielpfade werden in Tabelle 2-1 im ersten Überblick dargestellt.

---

<sup>1</sup> Der Begriff „Maßnahmen“ wird häufig unscharf verwendet. Hier sind damit in der Regel konkrete Umsetzungsinstrumente gemeint und nicht allein die Beschreibung einer angestrebten Entwicklung. In diesem Sinne würde zum Beispiel der Ausbau der Erneuerbaren Energien an sich nicht als Maßnahme verstanden, sondern erst die spezifische Instrumentierung, wie z.B. eine Novelle des „Erneuerbare Energien Gesetzes“ (EEG).

**Tabelle 2-1: Definition und sektorale Kernannahmen**

	Zielpfad A	Zielpfad B
<b>Definition</b>	➤ Schwerpunkt Energieeffizienz	➤ Schwerpunkt Erneuerbare Energien oder alternative Strategien
<b>Gebäude</b>	➤ Weitgehendes Ausreizen der Potenziale für Energieeffizienz bei minimaler Ausnutzung der EE-Wärmpotenziale	➤ Weitgehende Ausschöpfung der verfügbaren EE-Wärmpotenziale bei Erreichung eines Mindestmaßes an Energieeffizienz
<b>Verkehr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sehr ambitionierte Effizienzsteigerung und Elektrifizierung bei Pkw</li> <li>➤ Effizienzsteigerung bei konventionellen schweren Lkw</li> <li>➤ Oberleitungs-Lkw im Straßengüterfernverkehr</li> <li>➤ Verlagerungseffekte (ÖV, Schiene, Binnenschifffahrt)</li> <li>➤ Optimierung und Nachfrageänderung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ambitionierte Effizienzsteigerung bei Pkw</li> <li>➤ Effizienzsteigerung bei konventionellen schweren Lkw</li> <li>➤ Stärkere Verlagerungseffekte (ÖV, Schiene, Binnenschifffahrt)</li> <li>➤ Optimierung und Nachfrageänderung</li> <li>➤ Nutzung von EE-strombasierten Kraftstoffen</li> </ul>
<b>Industrie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Stärkere Diffusion von Effizienztechniken als REF</li> <li>➤ Mehr Brennstoffwechsel (Biomasse, Power-to-Heat (PtH))</li> <li>➤ Mehr Materialeffizienz und Recycling</li> </ul>	➤ Weniger ambitionierter Fortschritt bei der Energieeffizienz als REF, der durch einen stärkeren Wechsel zu Erneuerbaren-Strom kompensiert wird.
<b>Energiewirtschaft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erneuerbaren-Energien (EE) - Anteil am Bruttostromverbrauch in 2030: 65%</li> <li>➤ Annahme: Schrittweise Stilllegungen von Kohlekraftwerken mit einer Lebensdauer &gt; 37 Jahre</li> <li>➤ Zubau von Erdgas-KWK und erneuerbarer Wärmezeugung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Annahmen wie ZP A</li> <li>➤ Zusätzlicher Zubau von EE zur Deckung der zusätzlichen Stromnachfrage aus den anderen Sektoren</li> </ul>
<b>Landwirtschaft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reduzierung der Stickstoffüberschüsse</li> <li>➤ Ausweitung der Güllevergärung und Abdeckung der Lager</li> <li>➤ Reduktion der fossilen Energieeinsätze in der Landwirtschaft (z.B. Energieeffizienz in Gewächshäuser, Reduktion Kraftstoffeinsätze)</li> <li>➤ Ausweitung des Ökolandbaus</li> <li>➤ Rückgang der Milchkuh- und Rinderbestände</li> <li>➤ Wiedervernässung bzw. nasse Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Moorböden (Lachgas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Annahmen wie ZP A</li> <li>➤ Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen zur Reduktion der Lachgasemissionen (Inhibitoren)</li> <li>➤ Moderaterer Rückgang der Milchkuh- und Rinderbestände</li> </ul>
<b>LULUCF</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reduktion des Torfabbaus</li> <li>➤ Wiedervernässung bzw. nasse Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Moorböden (Kohlendioxid)</li> <li>➤ Waldumbau und extensivere Holzentnahme</li> </ul>	

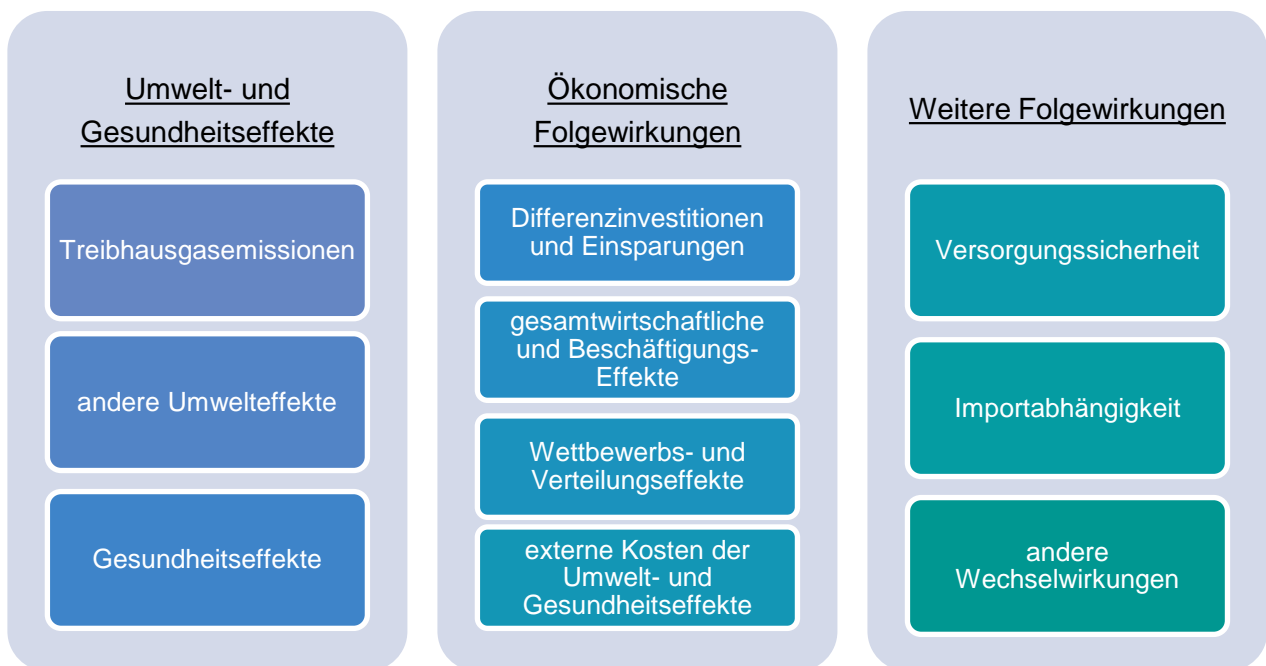
Quelle: eigene Darstellung

iii. **Folgenabschätzung:** Im nächsten Schritt wird die Folgenabschätzung durchgeführt, in der die Wirkungen der beiden Zielpfade im Vergleich zur Referenz bewertet werden.

- Es werden **primäre Wirkungen** untersucht, die Umwelt- und Gesundheitseffekte sowie direkte wirtschaftliche Effekte, wie interne Kosten (Investitionen, Brennstoffkosten, andere Betriebskosten, über das Emissionshandelssystem der Europäischen Union internalisierte Umweltkosten etc.) umfassen.

- Des Weiteren werden sekundäre Wirkungen ermittelt bzw. eingeordnet. Dazu gehören gesamtwirtschaftliche Effekte (Wertschöpfung, BIP, Beschäftigungseffekte, Wettbewerbseffekte), aber auch positive Wirkungen durch vermiedene externe Kosten des Klimawandels und der Schadstoffemissionen<sup>2</sup>, sowie auch eine Einordnung nicht monetarisierbarer Größen (Versorgungssicherheit, Gesundheitseffekte etc.) und mögliche Verteilungseffekte, die vor allem relevant sind im Zusammenhang mit Flankierungsmaßnahmen. Die unterschiedlichen Kategorien der Folgenabschätzung sind wie in Abbildung 2-1 strukturiert.

**Abbildung 2-1:      Untersuchte Kategorien der Folgenabschätzung**



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Ermittlung der Folgewirkungen der Zielpfade zur Erreichung der Sektorziele des Klimaschutzplans 2050 wird ein umfangreiches Modellinstrumentarium verwendet, das alle Bereiche der Volkswirtschaft, alle Energieverbrauchsbereiche und Treibhausgas-Emissionsquellen sowie einen großen Bereich der darüberhinausgehenden Emissionen und Umwelteffekte abdeckt. Die sekundären Wirkungen werden mit Hilfe eines gesamtwirtschaftlichen Modellansatzes und auf Basis des UBA-Tools bilanziert und bewertet. Qualitative Analysen ergänzen das Bild an geeigneten Stellen. Soziale Aspekte und Verteilungseffekte werden in den Handlungsfeldern aufgegriffen, die direkt Haushalte betreffen (Gebäude, Verkehr, Stromverbrauch).

<sup>2</sup> Voraussetzung ist, dass diese auf Grundlage des „Leitfaden zur Nutzen-Kosten-Abschätzung umweltrelevanter Effekte in der Gesetzesfolgenabschätzung“ des UBA (UBA-Texte 01/2015) ermittelt werden können,

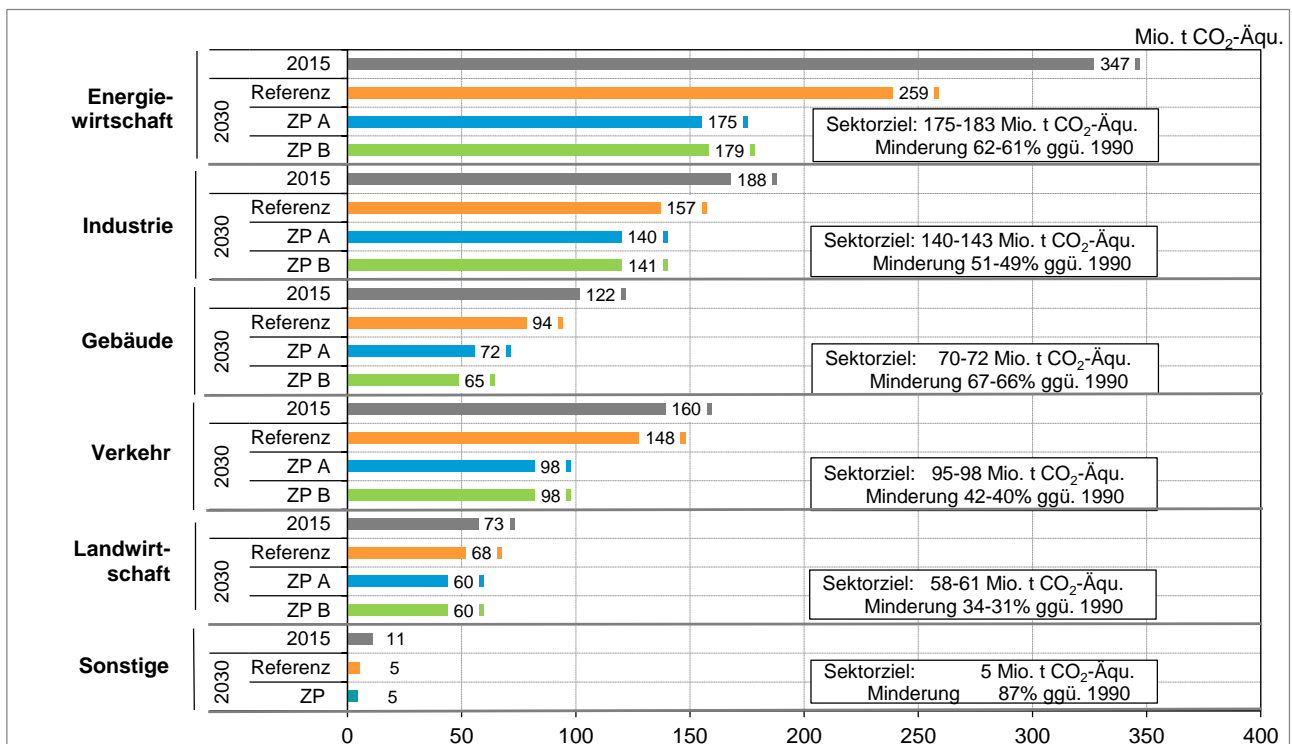
### 3. Folgewirkung Treibhausgasminderung

Neben der Gesamttreibhausgasminderung von mindestens 55% gegenüber dem Jahr 1990 sind im Klimaschutzplan Sektorziele für das Jahr 2030 formuliert. Maßgabe in diesem Vorhaben war es, diese Ziele zu erreichen und einer Referenzentwicklung gegenüber zu stellen. Abbildung 3-1 zeigt die Ergebnisse der sektoralen Treibhausgasemissionen in 2015 und 2030 in der Referenz sowie den beiden Zielpfaden.

Bereits in der Referenzentwicklung sinken die Emissionen bis zum Jahr 2030 auf 732 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., was einer Reduktion um 41 % gegenüber dem Jahr 1990 entspricht. Damit wird das Ziel des Klimaschutzplans von 55% Minderung deutlich verfehlt. Im Vergleich zum Jahr 2015 kann der Sektor Energiewirtschaft, neben dem Sektor Sonstige, seine Emissionen bis zum Jahr 2030 um 88 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (-25 % Minderung). am stärksten reduzieren. Im Sektor Gebäude werden 28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (-23 %) Minderung erreicht. Die geringste Minderung findet im Sektor Verkehr statt. Hier werden lediglich 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (7,5%) zwischen 2015 und 2030 gemindert.

In den Zielpfaden A und B sinken die Emissionen bis zum Jahr 2030 auf 548 bzw. 545 Mio t CO<sub>2</sub>-Äqu., dies entspricht einer Reduktion um 56 % gegenüber dem Jahr 1990. Damit wird das im Klimaschutzplan formulierte Ziel in beiden Zielpfaden erreicht. Auch die im Klimaschutzplan festgelegten Minderungsziele für die einzelnen Sektoren werden erreicht bzw. im Sektor Gebäude im Zielpfad B sogar übererfüllt. Grund hierfür sind der verstärkte Einsatz von Strom und Fernwärme, die zu zusätzlichen Emissionen im Sektor Energiewirtschaft führen.

Abbildung 3-1: Sektorale THG-Emissionen in 2015 und in 2030 (REF, ZP A, ZP B)



Quelle: Eigene Berechnungen

## 4. Sektorale Betrachtung

### 4.1. Gebäude

Das Handlungsfeld Gebäude umfasst den Energieverbrauch für alle Anwendungen (mit Ausnahme von „Mechanischer Energie“) in Gebäuden der Sektoren der privaten Haushalte (PHH) und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Für den für den Themenbereich „thermische Konditionierung von Gebäuden“ liegt mit der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) bereits eine Sektorstrategie vor. Diese wurde am 18. November 2015 vom Bundeskabinett beschlossen und bildet die Basis für die Betrachtungen in diesem Themenfeld. Die ESG bezieht den Energiebedarf für die thermische Konditionierung von Gebäuden (Raumwärme, Warmwasser, Klimatisierung) sowie den Strombedarf für Beleuchtung in Nichtwohngebäuden ein und betrachtet Gebäude in den Sektoren Haushalte, GHD und Industrie. Der KSP hingegen betrachtet im Handlungsfeld Gebäude nur Gebäude der Sektoren private Haushalte und GHD. Der Gebäuderelevante Energieverbrauch und die THG-Emissionen von Gebäuden im Sektor Industrie werden daher in Kapitel 4.2 und die landwirtschaftlichen Gebäude in Kapitel 4.5 integriert. In den über den Rahmen der ESG hinausgehenden Anwendungen wird überwiegend Strom eingesetzt, weshalb sich Kapitel 4.1.2 mit dem Stromverbrauch in privaten Haushalten und dem GHD-Sektor auseinandersetzt.

Die Ergebnisse der hier vorliegenden sektorübergreifenden Folgenabschätzung werden für das Handlungsfeld Gebäude mit den bereits vorliegenden sektorscharfen Ergebnissen der wissenschaftlichen Begleitforschung zur ESG (Prognos et al. (2015)) sowie der gesamtwirtschaftlichen Einordnung der ESG (Prognos; Ecofys; dena; PwC 2017) ergänzt.

#### 4.1.1. Gebäude – „thermische Konditionierung“ (ESG)

##### 4.1.1.1. Annahmen

Vorgabe für die beiden Zielszenarien der ESG ist die Reduktion des nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauchs bis 2050 um mindestens 80 % gegenüber dem Basisjahr 2008. Die beiden Zielszenarien bilden exemplarisch zwei unterschiedliche Strategien zur Zielerreichung an den Rändern des Zielkorridors der ESG ab. Die Erreichung des Zieles ist eingeschränkt durch die maximal erreichbare Energieeffizienz sowie durch die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien. Eine Zielerreichung ist ausschließlich mit der Kombination von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien möglich. Die alleinige Fokussierung auf eine der beiden Strategien ist nicht ausreichend.

Die Referenz und Zielpfade für Gebäude (Wohn- und Nicht-Wohn-Gebäude) sind wie folgt ausgestaltet:

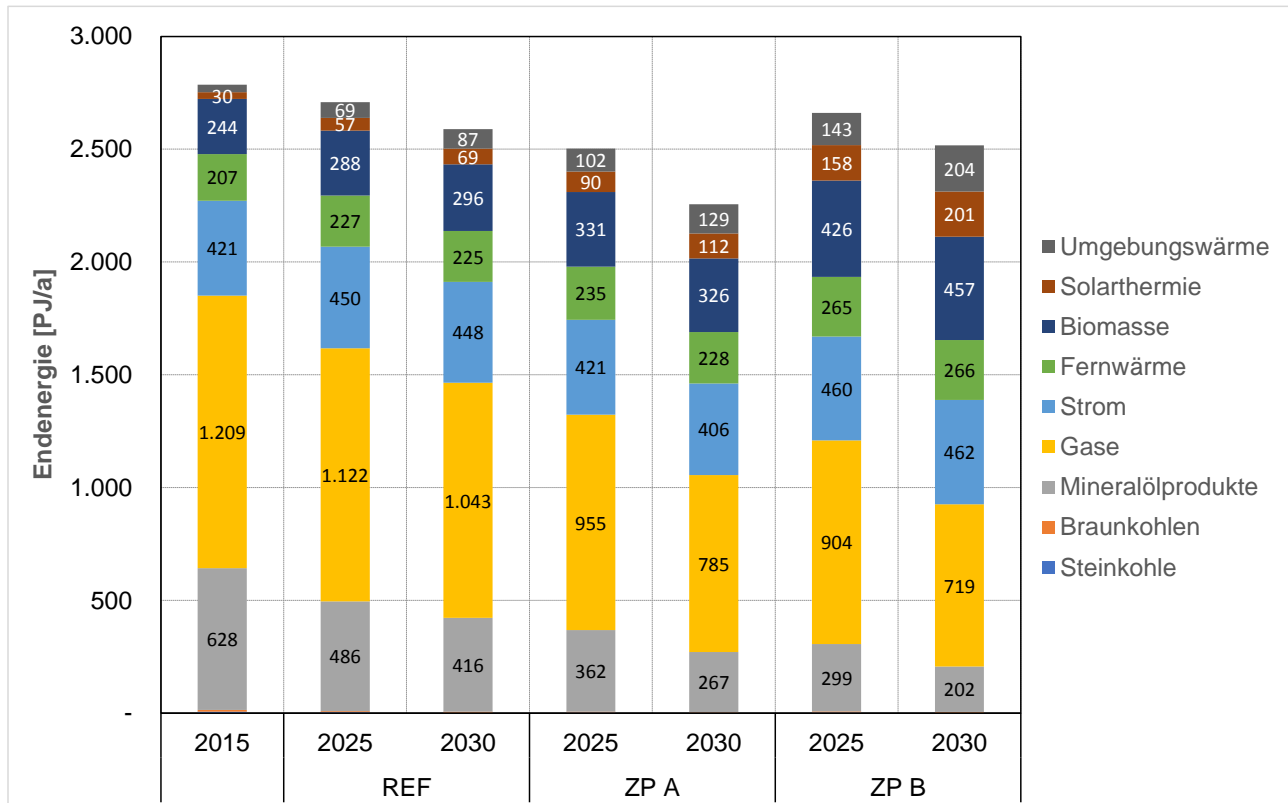
- Das **Referenzszenario** der ESG berücksichtigt die aktuellen Politiken bis Ende 2013 und entspricht weitgehend dem Referenzszenario der Energiereferenzprognose des BMWi (Prognos AG, EWI, GWS (2014)).
- **Zielpfad A** (Effizienz): Hauptmaßnahme für die Zielerreichung ist das weitgehende Ausreizen der Potenziale für Energieeffizienz bei minimaler Ausnutzung der EE-Wärmepotenziale.
- **Zielpfad B** (Erneuerbare Energien): Hauptmaßnahme für die Zielerreichung ist die weitgehende Ausschöpfung der verfügbaren EE-Wärmepotenziale bei Erreichung eines Mindestmaßes an Energieeffizienz.

##### 4.1.1.2. Endenergieverbrauch und direkte Treibhausgasemissionen

###### Endenergieverbrauch

Mit den abgestimmten Rahmendaten zur Bevölkerungs-, Wohnflächen- und Wirtschaftsentwicklung und den Annahmen zu den Zielpfaden wie oben ausgeführt, ergeben sich in der Szenarienanalyse folgende Endenergieverbräuche für den Gebäudesektor (siehe Abbildung 4-1).

**Abbildung 4-1: Endenergieverbrauch in Gebäuden differenziert nach Energieträgern**



Quelle: Auf Basis von Prognos et al. (2015)

Im Zielpfad A, in dem der Schwerpunkt auf die weitestmögliche Reduktion des Endenergieverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen unter Berücksichtigung von Dämmrestriktionen gelegt wird und ergänzend der verbleibende Endenergiebedarf anteilig durch erneuerbare Wärmeenergien gedeckt wird, sinkt der Endenergieverbrauch im Zeitraum 2015 bis 2030 um 19 % ab. Der Verbrauch fossiler Energieträger geht um 42 % zurück und der Stromverbrauch um 2 %. Der Verbrauch von Fernwärme steigt um 10 % auf 228 PJ. Den größten Zuwachs erfahren die erneuerbaren Energien mit +79 % auf 567 PJ im Jahr 2030.

Im Zielpfad B, in dem der Schwerpunkt auf den weitest möglichen Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien (Dekarbonisierung) gelegt wird und ergänzend Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz (energetische Gebäudesanierung) verfolgt werden, sinkt der Endenergieverbrauch im Jahr 2030 um 10 % gegenüber 2015 und damit deutlich weniger als im ZP A. Der Verbrauch fossiler Energieträger halbiert sich nahezu (-49 %) während der Endenergieverbrauch für Strom (+10 %), Fernwärme (+24%) und erneuerbare Energien (+154%) teils deutlich zunimmt. Besonders kritisch ist hierbei die intensive Nutzung von Biomasse, die die Erschließung zusätzlicher Potenziale durch die Ausweitung von Kurzumtriebsplantagen erfordert.

Treibhausgasemissionen

Mit Blick auf die Treibhausgasemissionen liegt der Zielkorridor für den Sektor Gebäude im Klimaschutzplan 2050 bei 66-67% THG-Minderung gegenüber 1990. Dieser Korridor wird im Zielpfad A mit einer Reduktion von 67% am oberen Rand erreicht, im Zielpfad B wird sogar eine 69% Minderung gegenüber 1990 erzielt. Dabei ist hervorzuheben, dass im Zielpfad B deutlich mehr Strom und Fernwärme eingesetzt werden als im Zielpfad A. Da im Klimaschutzplan das Quellenprinzip für THG-Emissionen angewendet wird, sind Emissionen, die aus Sicht der Verursacherbilanz (ESG, Ordnungsrecht Gebäude) der thermischen Konditionierung von Gebäuden zuzuordnen sind, im Klimaschutzplan dem Sektor Energiewirtschaft zugeordnet. Die THG-Emissionen für den Gebäudebereich im Zielpfad B sind aus diesem Grund geringer.

Aus den Analysen zu den Energieverbräuchen und den THG-Minderungen wird deutlich, dass die Ziele des Klimaschutzplanes 2030/2050 im Gebäudebereich nur durch die Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien erreichbar sind.

#### 4.1.1.3. Sozio-ökonomische Aspekte

In der sektoralen ökonomischen Betrachtung werden im Sinne eines direkten Kosten-Nutzen-Vergleichs die Investitionen den Einsparungen gegenübergestellt. Betrachtet werden nur die zusätzlichen energieeffizienzbedingten Investitionen sowie die daraus resultierenden Betriebs- und Brennstoffkosteneinsparungen bzw. -mehrausgaben gegenüber der Referenzentwicklung. Die Berechnung erfolgte bottom up mithilfe des Gebäudebestandsmodells der Prognos AG. Dieses weist u.a. die Menge und die Energieeffizienz der jährlich bis 2050 sanierten Wohngebäudeflächen differenziert nach Gebäudetyp und Baualtersklasse aus. Für jedes Jahr werden die spezifischen Investitionen der Gebäudesanierung in Abhängigkeit von der Energieeffizienz und dem Gebäudetyp je m<sup>2</sup> Wohnfläche festgelegt. Das Produkt der sanierten Flächen und der spezifischen Investitionskosten ergibt die Gesamtinvestitionen. Energiebedingte Investitionen setzen sich im Wesentlichen aus Kosten für die Modernisierung der Gebäudehülle sowie Kosten für die Erneuerung der Anlagentechnik zusammen. Die zusätzlichen Investitionen im Jahr 2030 im Zielpfad A (gegenüber der Referenz) liegen bei rund 14 Mrd. Euro für Wärmeerzeugung und die energetische Modernisierung der Gebäudehülle. Im Zielpfad B liegen die Differenzinvestitionen bei 7,5 Mrd. Euro für Wärmeerzeugung und Gebäudehülle. Im Vergleich zum gesamten Bauvolumen in Deutschland sind die zusätzlichen Hochbauinvestitionen zur Erreichung der Ziele mit 2-5% vergleichsweise gering.

Den Zusatzinvestitionen stehen Einsparungen für Betriebs- und Brennstoffe in deutlicher Höhe gegenüber. Allein im Jahr 2030 werden 6,6 Mrd. Euro im ZP A und 3,1 Mrd. Euro im ZP B eingespart. Bei einer zu erwartenden Lebensdauer der Einsparung von 25 Jahren für Wärmeerzeuger und 40 Jahre für die Gebäudehülle übersteigen die Einsparungen die Differenzkosten im ZP A erheblich.

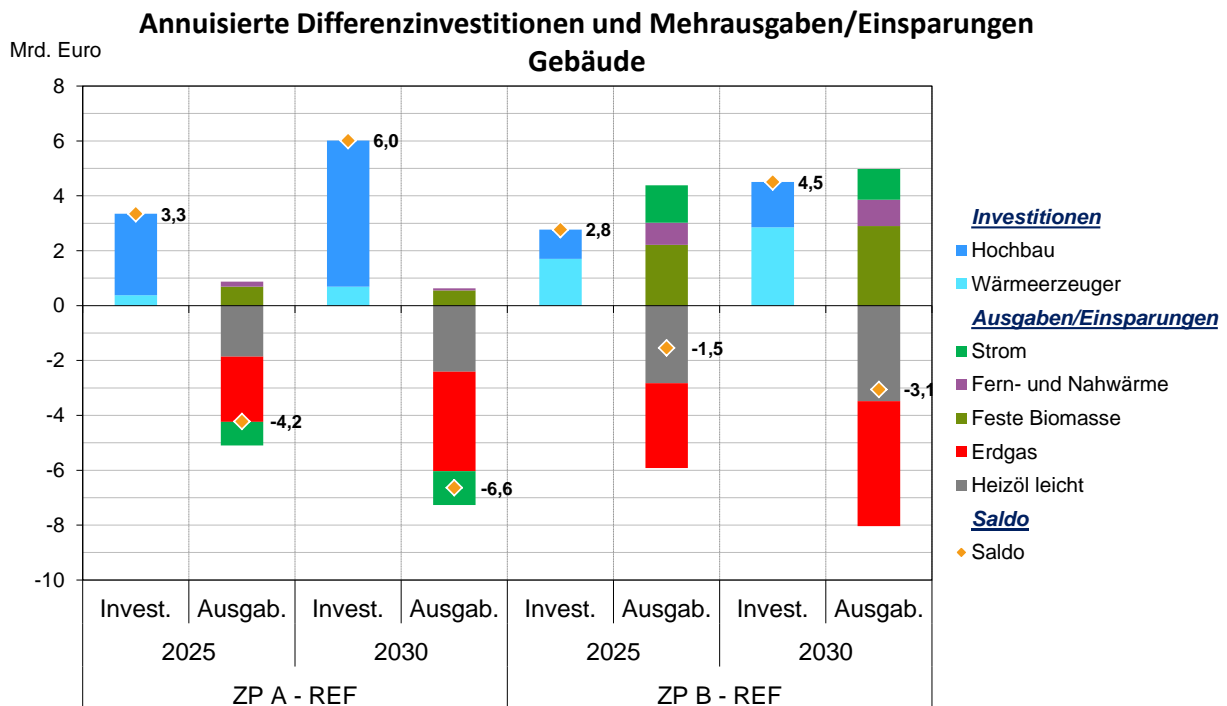
Im Sinne der Vergleichbarkeit der Differenzinvestitionskosten, die zu Anfang einer Investition anfallen und der über die Lebensdauer folgenden Einsparungen, sind die Differenzinvestitionen in Abbildung 4-2 in Form von Annuitäten (also als gleichbleibende Zahlungsströme über die Lebensdauer zur Abzahlung der Investition) dargelegt<sup>3</sup> und den jährlichen Einsparungen bzw. Ausgaben in zwei Stützjahren gegenübergestellt. Die Annuitäten in Stützjahren 2025 bzw. 2030 umfassen dabei die Annuitätenzahlungen für alle bis zum jeweiligen Stützjahr durchgeführten Investitionen. Die Kostenbetrachtung erfolgt aus volkswirtschaftlicher Perspektive.

---

<sup>3</sup> Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Anlagen mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuisiert (vgl. Abschnitt 5.1).



**Abbildung 4-2: Annuierte Differenzinvestitionen und Ausgaben / Einsparungen im Vergleich – Gebäude**



Quelle: Eigene Berechnungen

Im deutlich auf Effizienzsteigerung fokussierten ZP A betragen die annuierten Kosten, also die in verschiedenen Jahren anfallenden Investitionen, die über die Lebensdauer verteilt werden, im Jahr 2030 für die Sanierung der Gebäudehülle (Hochbau) und Neubau/Ersatz von Wärmeerzeugern 6 Mrd. €. In Folge dessen sinkt der Energieverbrauch deutlich, was zu einer Reduktion der Wärmekosten in Höhe von 6,6 Mrd. € im Jahr 2030 führt. In der Nettobetrachtung überwiegen die Einsparungen im Zielpfad A die zusätzlichen Kosten leicht. Die größten Einsparungen sind für die fossilen Brennstoffe Erdgas und Heizöl zu beobachten. Der Zielpfad A ist aus volkswirtschaftlicher Perspektive also wirtschaftlich darstellbar.

Dem gegenüber liegen die annuierten Investitionskosten im Zielpfad B, der mehr auf Erneuerbare Energien und weniger auf Effizienz setzt, mit 4,5 Mrd. Euro in 2030 deutlich über den Einsparungen. Aufgrund der geringeren Effizienzbemühungen in ZP B ist der Energiebedarf höher, was sich in höheren Wärmekosten ausdrückt. Die Einsparungen betragen im Jahr 2030 3,1 Mrd. € (ggü. 6,6 Mrd. € in ZP A) jährlich. In beiden Szenarien geht der Öl- und Gasbedarf zwar deutlich zurück, jedoch ist durch die geringeren Effizienzgewinne der Bedarf an Strom für Wärmepumpen und Biomasse in ZP B höher als in ZP A.

Neben der volkswirtschaftlichen Betrachtung wurden auch soziale Aspekte der beiden Zielpfade analysiert. Dabei wurden die Auswirkungen auf die Kosten des Wohnens in Wohngebäuden aus Sicht privater Haushalte (Mieterinnen und Mieter, Eigentümerinnen und Eigentümer, sowie Transferleistungsempfängerinnen und -empfänger) untersucht. In beiden Zielpfaden steigen die Kosten des Wohnens gegenüber der Referenz leicht an. Da Investitionen aus privatwirtschaftlicher Sicht deutlicher ins Gewicht fallen, ist der Anstieg der Kosten des Wohnens in ZP A ausgeprägter als in ZP B. Die in Prognos et. al 2017 durchgeführte sektorspezifische Analyse der ESG Szenarien hat jedoch gezeigt, dass die den privaten Haushalten zusätzlich für Konsum zur Verfügung stehenden Mittel aufgrund der positiven Beschäftigungseffekte ebenfalls in beiden



Zielpfaden steigen. Im Zielpfad A stehen nach Abzug der zusätzlichen Kosten des Wohnens gut 33 Mrd. Euro mehr Konsummittel zur Verfügung als im Referenzszenario. Im ZP B sind es lediglich gut 23 Mrd. Euro. Die Gegenüberstellung verdeutlicht folgende Situation: Hinsichtlich der Einkommenssituation der Haushalte ist ZP A vorteilhaft gegenüber dem ZP B, da nach Abzug der Kosten des Wohnens mehr Mittel für Konsum zur Verfügung stehen.

Die mittlere zusätzliche Belastung gegenüber der Referenz beträgt im Jahr 2030 in ZP A 0,55% des verfügbaren Haushaltseinkommens, in ZP B 0,22% des verfügbaren Haushaltseinkommens. Dies entspricht einem durchschnittlichen Anstieg der Ausgaben von 17 Euro / Monat ggü. der Referenz in ZP A und um 7 Euro / Monat in ZP B. Hierbei handelt es sich um Durchschnittswerte. Im Einzelnen können die Belastungen je nach Konstellation sehr unterschiedlich ausfallen. Dies muss bei der Ausgestaltung der Instrumente/Maßnahmen und ihrer Flankierung berücksichtigt werden.

Die zusätzlichen Ausgaben steigen mit dem Einkommen, da sie an die Wohnfläche gekoppelt sind, die wiederum mit dem Einkommen steigt. Die relative Belastung ist über die Einkommensgruppen nahezu konstant. In den unteren Einkommensgruppen federn angepasste Transferleistungen die zusätzliche Belastung weitgehend ab. In Sensitivitätsrechnungen mit höheren Preisprojektionen für Heizöl, Erdgas und Strom verändern sich die Ergebnisse kaum.

#### **4.1.1.4. Kernbotschaften**

Die Ziele des Klimaschutzplans im Gebäudebereich sind nur durch die Kombination von Energieeffizienzverbesserungen und dem verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien erreichbar. Der Energieeffizienz kommt dabei eine hohe Bedeutung zu, den Einsatz von Biomasse und Strom (Wärmepumpen) zur Beheizung von Gebäuden einzugrenzen. Denn der Gebäudesektor steht in direkter Konkurrenz mit anderen Sektoren (vorwiegend bspw. mit Industrie und Verkehr) um die Verfügbarkeit dieser begrenzten Ressourcen.

Werden die im ZP B anzustrebenden Mindest-Effizienzziele verfehlt, ist eine Zielerreichung nicht mehr, bzw. nur mit hohem finanziellem Aufwand und mit Belastungen anderer Sektoren möglich. In Betracht kämen folgende Maßnahmen, die in Szenarien aufgrund ihrer hohen Kosten meist nicht zum Einsatz kommen: Der Einsatz von Wärmepumpen in schlecht gedämmten Gebäuden, eine noch stärkere Ausweitung des Biomasseeinsatzes, der breite Einsatz von synthetischen Brennstoffen oder eine zweite Sanierungswelle außerhalb der üblichen Instandhaltungszyklen.

Die ambitionierten Effizienzmaßnahmen im ZP A verringern den Endenergieverbrauch erheblich und entlasten dadurch das Gesamtenergiesystem. Eine hohe Energieeffizienz reduziert darüber hinaus die Pfadabhängigkeit von anderen Entwicklungen und erhöht die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung. Die effizienteren Gebäude sind eher „immun“ gegen ein Scheitern der Dekarbonisierungsstrategie bei Strom und Fernwärme. Selbst bei moderatem Verfehlen der Effizienzziele, kann im ZP A mit zusätzlichen Maßnahmen im Umwandlungssektor gegengesteuert werden. Werden hohe THG-Minderungen von bis zu minus 95 % bis 2050 angestrebt, so hat ZP A deutliche Vorteile gegenüber ZP B, da zusätzliche THG-Minderungen durch eine stärkere Ausschöpfung der EE-Wärmequellen vergleichsweise leicht realisierbar sind. ZP B hingegen schöpft schon bei einer 80%igen THG-Reduktion die als verfügbar geltenden EE-Wärme-Potenziale komplett aus.

Aus Sicht der Haushalte steigen die Kosten des Wohnens in den Zielpfaden gegenüber der Referenz leicht an. Dem stehen positive Effekte für Beschäftigung und Einkommen gegenüber, die deutlich größer sind als die Veränderungen der Kosten des Wohnens (Prognos et al. 2017). Hinsichtlich der Einkommenssituation der Haushalte zeigt sich, dass nach Abzug der Kosten des Wohnens im ZP A mehr Mittel für Konsum zur Verfügung stehen als im ZP B.

In Summe deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Zielpfad A gesamtwirtschaftlich sinnvoller, aber schwerer erreichbar ist. Die Einführung neuer und die Weiterentwicklung bestehender Politikinstrumente sind daher für das Handlungsfeld „thermische Konditionierung von Gebäuden“ dringend geboten. Von zentraler Bedeutung wird es sein, Investitionen in Energieeffizienz von Gebäuden aus Haushaltssicht attraktiver zu machen.

#### 4.1.2. Gebäude - Stromverbrauch in privaten Haushalten und dem GHD-Sektor

##### 4.1.2.1. Annahmen

Die Szenarien für den Bereich „Haushalte – Strom“ decken den Strombedarf in Haushalten (wie Haushaltsgeräte und Beleuchtung) abzüglich dem der Gebäudetechnik (wie Heizung, Klimatisierung und Warmwasser) ab. Diese Szenarien basieren auf früheren Modellergebnissen, insbesondere auf dem Projektionsbericht 2017 (Bundesregierung 2017a), und wurden für die Folgenabschätzung an die veränderten Rahmendaten (höhere Bevölkerung und höhere Anzahl Haushalte) angepasst. Verändertes Nutzungsverhalten (positiv durch z.B. Mess- und Feedbackfunktionen oder negativ wie z.B. durch Rebound-Effekte) wurde hier nicht explizit einbezogen.

- In der Referenzentwicklung zeigen sich in diesem Sektor schnell die Auswirkungen der letzten technischen Entwicklungen sowie politischen Vorgaben, v.a. die europäischen Mindestenergieeffizienzanforderungen (Ökodesign-Richtlinie und deren Regulierungen für die jeweiligen Produktkategorien). Das Szenario nimmt an, dass sich weitere technische Entwicklungen mangels zusätzlicher Anreize nur langsam auf dem Markt behaupten und dass die Preise für hocheffiziente Geräte entsprechend langsam fallen.
- Im Zielpfad A werden bestehende Energieeffizienz-Potentiale so weit wie möglich und zügig ausgeschöpft. Für Mindestenergieeffizienzanforderungen werden Regulierungsprozesse im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie beschleunigt und deutlich ambitionierter, um der technischen Entwicklung zu folgen, sodass in den meisten Fällen nur noch hocheffiziente Produkte auf dem Markt sind.
- Im Zielpfad B werden bestehende Effizienz-Potentiale ausgeschöpft. Im Vergleich zum ZP A werden die Maßnahmen jedoch langsamer und weniger umfangreich umgesetzt.

Im Sektor GHD decken die Szenarien den gesamten Stromverbrauch abzüglich dem der Gebäudetechnik (wie Heizung, Klimatisierung und Warmwasser) und der Beleuchtung ab. Auch hier wurden die Rahmendaten (BIP) angepasst. Für die Berechnung des Referenzszenarios und der Zielpfade A und B wurde ebenfalls das Simulationsmodell des Projektionsberichts 2017 (Bundesregierung 2017a) genutzt und direkt auf den dort erstellten Szenarien aufgebaut. Für den Sektor GHD unterscheiden sich ZP A und ZP B nicht.

##### 4.1.2.2. Endenergieverbrauch

Durch die bestehenden Maßnahmen im Referenzszenario fällt der Strombedarf zwischen 2015 und 2030, von 110 TWh p.a. auf 97 TWh p.a.. Nach dem jetzigen Stand der bereits abgestimmten EU-Regulierungen, gibt es nach 2020 keine relevante neue Mindestenergieeffizienzanforderung, so dass der Strombedarf pro Haushalt bis 2030 etwa stabil bleibt.

Im Zielpfad A ermöglichen die Annahmen insgesamt eine Einsparung am Gesamtverbrauch gegenüber dem Referenzszenario von etwa 20 %. Im Jahr 2030 liegt die Einsparung beim Strombedarf gegenüber der Referenzentwicklung bei 21 TWh (21,4 %).

Im Zielpfad B führen die Maßnahmen mittelfristig und langfristig zu spürbaren Einsparungen, aber nicht in derselben Höhe wie im Szenario ZP A. Im Jahr 2030 wird jedoch eine Einsparung des Strombedarfs gegenüber der Referenzentwicklung von 11,4 TWh (13,4 %) erreicht.

Der Stromverbrauch im GHD-Sektor bleibt in allen drei Szenarien bis 2030 nahezu konstant. Allerdings ändert sich die Struktur der Verbraucher. So zeigen sich ein starker Zuwachs bei den Rechenzentren und ein deutlicher Rückgang bei Straßenbeleuchtung und Kühlgeräten.

#### 4.1.2.3. Kernbotschaften

Durch die Ökodesign-Richtlinie wurde für die berücksichtigten Produkte ein Großteil des wirtschaftlichen Einsparpotentials bereits im Referenzszenario ausgeschöpft. Aus ökonomischer Sicht erweist sich für die Endverbraucher das Szenario ZP B über den Zeitraum 2025 – 2030 als ausgewogen und das Szenario ZP A, wo die Effizienz der Produkte (Haushaltsgeräte und Beleuchtung) noch höher ist, als unwirtschaftlich.

Die Energieeinsparungen und die Wirtschaftlichkeit könnten allerdings bei Haushaltsgeräten in den Szenarien ZP A und ZP B weiter verbessert werden, wenn einerseits die Kaufentscheidung (in Bezug auf Größe und Funktionalität) und andererseits die Nutzung (z.B. richtiges Waschprogramm) von Geräten durch die Kunden/Nutzer besser an die Bedürfnisse angepasst wären. Diese Aspekte wurden im Modell nicht berücksichtigt. Bei Beleuchtung sinkt der Energieverbrauch in beiden Szenarien ZP A und ZP B weiter. Jedoch könnten mögliche Rebound Effekte (mehr Lichtquellen und höhere Nutzungsintensität) einen negativen Einfluss auf den gesamten Stromverbrauch für Beleuchtung haben.

## 4.2. Industrie

### 4.2.1. Annahmen

Das Referenzszenario stützt sich grundsätzlich auf das Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2017. Es wurde jedoch an die veränderten Rahmendaten, insbesondere das höhere Wirtschaftswachstum und die niedrigeren Energiepreise angepasst.

Die Zielpfade sind unter der Prämisse erstellt, die gesetzten Klimaschutzziele der Bundesregierung für 2030 zu erreichen. Für den Industriesektor ist dabei eine Reduktion um mindestens 49% der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 vorgesehen. Der angestrebte Emissionskorridor beträgt 140-143 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.. Laut Definition des Sektorziels im Klimaschutzplan beinhaltet der Sektor Industrie Emissionen aus Energieverbrauch für Prozesswärmeerzeugung und Stromerzeugung in Industriekraftwerken, prozessbedingten Emissionen sowie F-Gase. Industriekraftwerke inkl. KWK-Anlagen werden im Kapitel der Energiewirtschaft berechnet. Eine zusammenfassende THG-Bilanzierung des Industriesektors ist in Kapitel 3 zu finden.

Die Zielpfade sind wie folgt ausgestaltet:

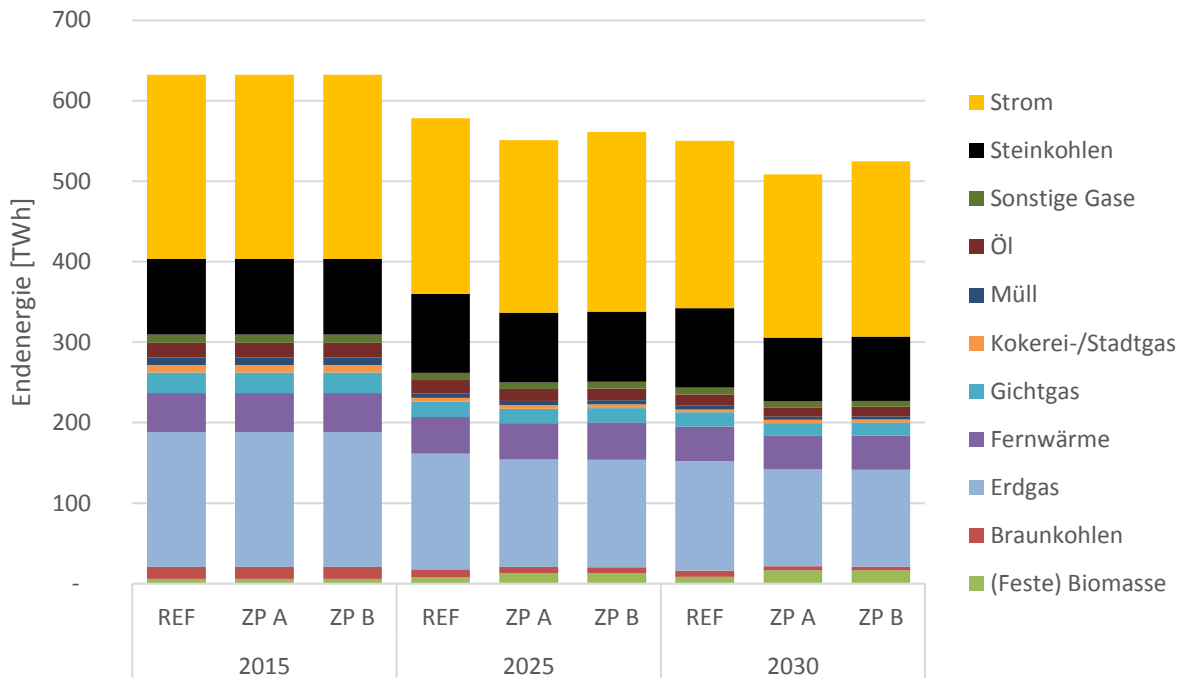
- Der Zielpfad A legt den Schwerpunkt auf eine stärkere Diffusion von Effizienztechniken und Brennstoffwechsel hinzu Biomasse und Power-to-heat (PtH). Recycling und Materialeffizienz nehmen eine größere Rolle ein.
- Der Zielpfad B ist als Variante des Zielpfades A zu bewerten. Er enthält einen weniger ambitionierten Fortschritt bei der Energieeffizienz im Vergleich zur Referenz, der durch einen stärkeren Wechsel zu Erneuerbaren-Strom kompensiert wird. Biomasse, Materialeffizienz und Recycling bleiben unverändert.

### 4.2.2. Endenergieverbrauch und direkte Treibhausgasemissionen

#### Endenergieverbrauch

Mit den abgestimmten Rahmenannahmen zur Wirtschaftsentwicklung und den Energiepreisen sowie den Annahmen zu den Zielpfaden wie oben ausgeführt, ergeben sich in der Szenarienanalyse folgende Endenergieverbräuche für den Industriesektor (siehe Abbildung 4-3).

**Abbildung 4-3: Endenergieverbrauch in der Industrie differenziert nach Energieträgern (exkl. KWK Wärmeerzeugung)**



Quelle: Eigene Berechnungen

Der resultierende Endenergieverbrauch der Industrie sinkt sowohl im Referenzszenario (-13%) sowie in den Zielpfaden A (-20%) und B (-17%) von 2015 bis 2030. Diese Entwicklung resultiert aus einer Kombination von eher konstanter Produktionsmenge bei den energieintensiven Grundstoffen und einem ambitionierten Energieeffizienzfortschritt.

Der Stromverbrauch sinkt in allen Szenarien von 229 TWh in 2015 auf 208 TWh in der Referenz, 203 TWh im Zielpfad A bzw. 218 TWh im Zielpfad B. Der Anteil von Power-to-heat (PtH) liegt im Zielpfad B mit 17 TWh am höchsten. Der höhere Stromverbrauch in ZP B im Vergleich zu ZP A ist sowohl auf einen verstärkten Einsatz von PtH sowie einen weniger ambitionierten Energieeffizienzfortschritt zurück zu führen. Die umgesetzten PtH-Anwendungen beschränken sich weitestgehend auf den Einsatz von Wärmepumpen, wo es die Temperaturniveaus erlauben. Der Einsatz von Elektrokesseln zur Wärmeerzeugung ist im Vergleich zu Biomasse und Erdgas auch im ZP B trotz Förderung noch nicht wirtschaftlich.

#### Treibhausgasemissionen

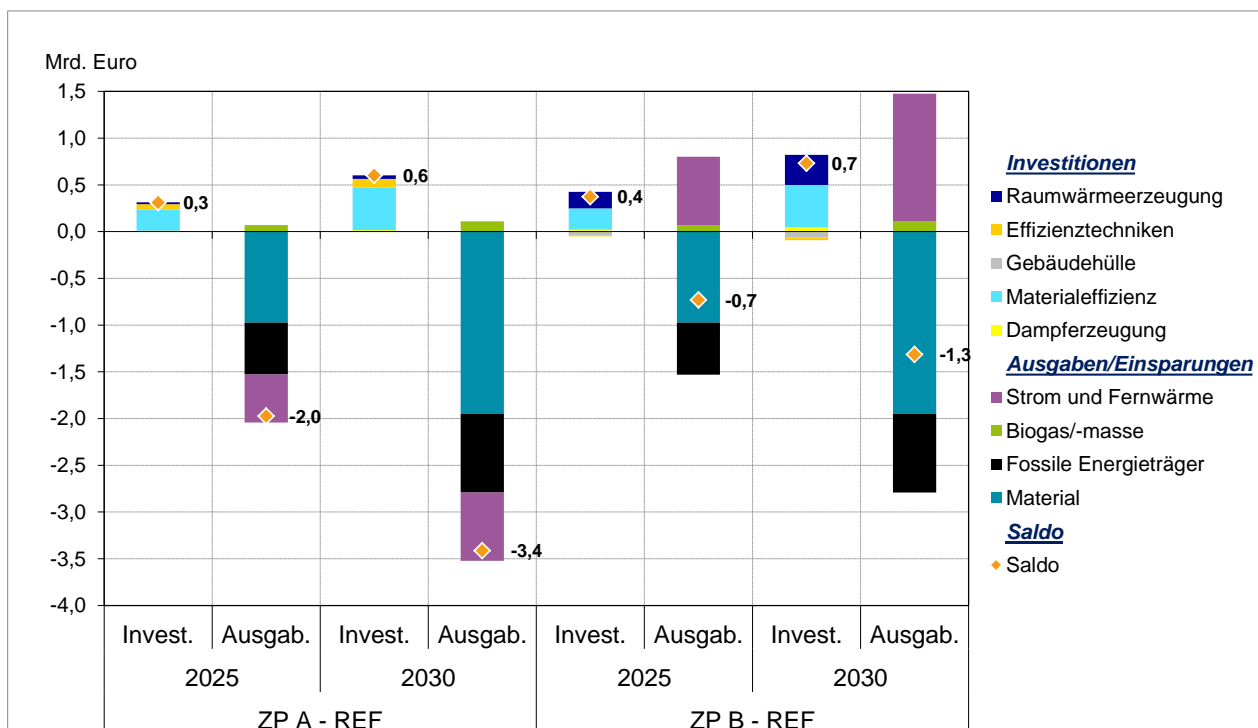
Für den Industriesektor ist die Reduktion von 140-143 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. 49 – 51% der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 vorgesehen. Es ist zu beachten, dass Emissionen aus Strom- und Wärmeerzeugung der Industriekraftwerke in diesem Sektor bilanziert werden. Die Zielpfade führen zu Emissionen von 140 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. im Jahr 2030 im Zielpfad A und 141 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. im Zielpfad B. Damit liegen beide Pfade am ambitionierteren Rand des Sektorziels.

### 4.2.3. Ökonomische Aspekte

Die in der Referenz und in den Zielpfaden beschriebenen Entwicklungen erfordern vor allem Investitionen in Raumwärmeerzeugung, Gebäudehülle sowie Materialeffizienz. Investitionen in den Bereichen Effizienz von Querschnittstechniken und Prozesstechniken sind vergleichsweise niedrig. Investitionen in Materialeffizienz wurden dabei als exogene Vorgabe durch eine verminderte Produktionsmenge ausgewählter energieintensiver Grundstoffe umgesetzt. Betriebskosten resultieren vorwiegend aus dem Einsatz von Energieträgern. Hinzu kommen Änderungen bei den Betriebskosten durch die angenommene Materialeffizienzverbesserung, die in den verbrauchenden Sektoren zu geringeren Materialkosten führt.

Ein direkter Vergleich der Investitionen und der Betriebskosten ist nur bedingt aussagekräftig, da die vor 2030 getätigten Investitionen aufgrund der langen Lebensdauern noch weit nach 2030 auf die Betriebskosten wirken. Dieser Vergleich ist mit den annuisierten Investitionen möglich<sup>4</sup>. Abbildung 4-4 zeigt, dass entsprechend die jährlichen Nettokosten als Summe aus annuisierten Investitionen und Energiekosten in beiden Zielpfaden niedriger als in der Referenz liegen. Die anfallenden Investitionen werden also durch die Einsparungen bei den Energiekosten überkompensiert. Dies entspricht Kosteneinsparungen für das Jahr 2030 von 3,4 (ZP A) bzw. 1,2 (ZP B) Mrd. Euro. Die Nettoeinsparungen fallen im ZP B aufgrund des höheren Stromverbrauchs etwas niedriger aus als im ZP A. Der stärkere Einsatz von PtH und die weniger ambitionierte Energieeffizienzverbesserung im Vergleich zur Referenzentwicklung sind als wichtigste Ursachen für diesen Trend in ZP B zu nennen.

**Abbildung 4-4: Annuisierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen der Industrie**



Quelle: Eigene Berechnungen

<sup>4</sup> Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Anlagen mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuisiert (vgl. Abschnitt 5.1).

#### 4.2.4. Kernbotschaften

Zusammenfassend zeigt sich, dass das 2030-Ziel des Klimaschutzplans für den Industriesektor bei den gegebenen Annahmen zur wirtschaftlichen Entwicklung, durch eine Kombination aus ambitioniertem Energieeffizienzfortschritt, Brennstoffwechsel (Biomasse ersetzt teilweise Erdgas, Kohle und Öl) sowie steigenden Anteilen Recycling und Materialeffizienz erreichbar ist.

Die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen mit schnellem Effizienzfortschritt ist im Referenzszenario bereits sehr ambitioniert und führt zu erheblichen Emissionseinsparungen. Investitionen müssen bereits hier in erhöhtem Maße getätigt werden. Zielpfad A zeigt, dass selbst eine noch ambitionierte Umsetzung als in der Referenz volkswirtschaftlich lohnend ist. Nicht erreichte Effizienzfortschritte wie im Zielpfad B gehen mit einem höherem Strom- und Fernwärmebedarf einher, der zu Belastungen in anderen Sektoren führt, die die erhöhte Nachfrage wieder decken müssen. Beide Zielpfade zeigen jedoch, dass vergleichsweise niedrige Investitionen in Effizienz durch Kosteneinsparungen überkompensiert werden.

Hinsichtlich des Minderungspfades bis 2050 ist zu beachten, dass im Zeitraum 2030-2050 neue Minderungshebel notwendig sein werden, die sich in dem hier betrachteten Zeitraum von 2015-2030 noch nicht in größeren Investitionssummen niederschlagen. Jedoch gilt es dennoch, auch die langfristigen Vermeidungsoptionen bereits zwischen 2020 und 2030 auf den Weg zu bringen. Hierzu zählt neben dem politischen und rechtlichen Rahmen vor allem die notwendige Technologieentwicklung inkl. Investitionen in Demonstrationsanlagen und Infrastruktur. Die notwendigen Voraussetzungen unterscheiden sich je nach Vermeidungshebel. Beispiele sind die Nutzung von Erneuerbarem Strom (PtH) oder Methan/Wasserstoff (PtG) zur Wärmeerzeugung, Kreislaufwirtschaft, Materialeffizienz und Substitution entlang der Wertschöpfungskette, perspektivisch Carbon Capture and Usage ggfs. auch Storage (CCU/CCS), sowie innovative CO<sub>2</sub>-arme Produktionsverfahren und Produkte.

### 4.3. Verkehr

#### 4.3.1. Annahmen

Die angenommene Referenzentwicklung im Verkehrssektor stützt sich grundsätzlich auf das Mit-Maßnahmen-Szenario aus dem Projektionsbericht 2017 und damit auch auf die Verkehrsverflechtungsprognose 2030, wurde jedoch an die veränderten Rahmendaten, insbesondere bezüglich der geringeren Kraftstoffpreisentwicklung, des höheren Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums sowie weiterer beschlossener Maßnahmen angepasst.

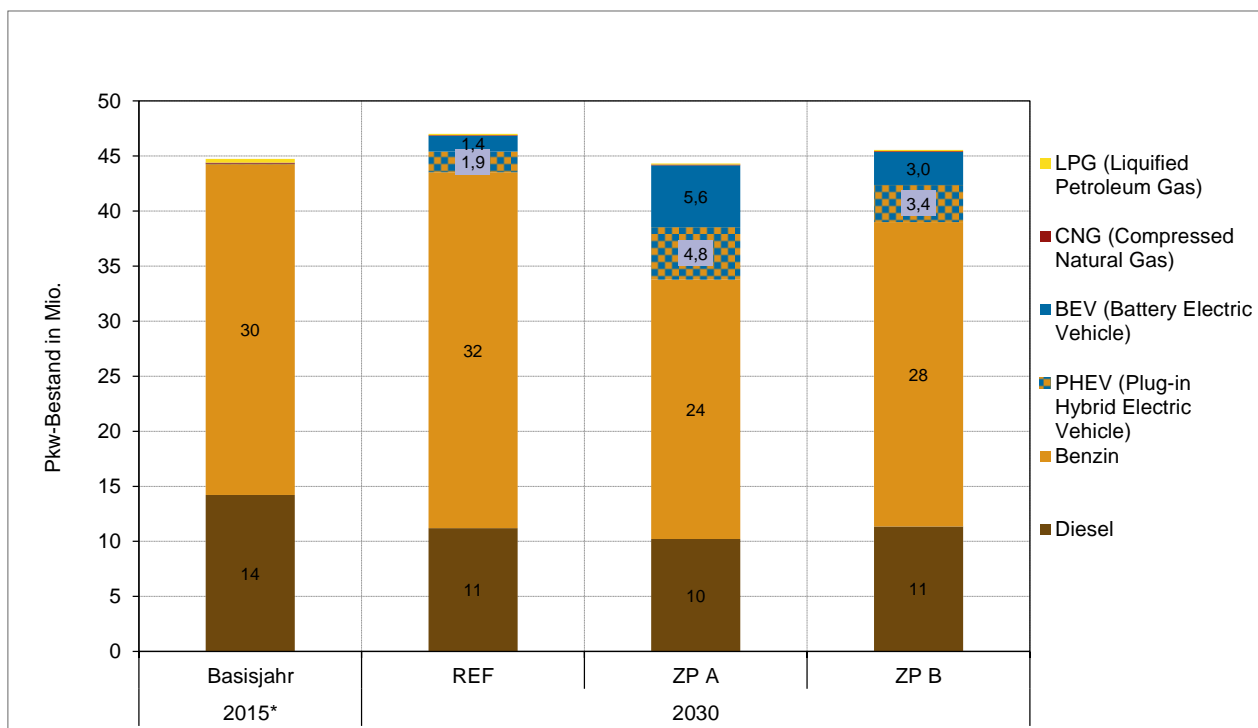
Die Zielpfade sind unter der Prämisse erstellt, die gesetzten Klimaszutzziele der Bundesregierung für 2030 zu erreichen. Für den Verkehrssektor ist dabei eine Reduktion um mindestens 40% der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 vorgesehen.

- Der Zielpfad A legt den Schwerpunkt auf Effizienzsteigerungen und Elektrifizierung bei Pkw (-75% CO<sub>2</sub> bei Pkw-Neuzulassungen gegenüber 2021) sowie Effizienzsteigerung bei konventionellen schweren Lkw (22% gegenüber 2015) und die Einführung von Oberleitungs-Lkw (10% der Fahrleistung in 2030) mit zusätzlicher Verlagerung auf öffentlichen Verkehr, Schienenverkehr und Binnenschifffahrt sowie Optimierung und Nachfrageänderung.
- Der Zielpfad B beschreibt einen weniger effizienzorientierten Weg als Zielpfad A (Effizienzsteigerung und Elektrifizierung von Pkw von 63% CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber 2021; 25% bei konventionellen schweren Lkw gegenüber 2015). Hier werden weitere Minderungen durch einen sehr hohen Anteil dekarbonisierter Kraftstoffe (6%) erreicht in Kombination mit stärker ausgeprägter Verkehrsverlagerung und Änderung der Verkehrsmittelwahl (Modal Split), sowie Optimierung und Nachfrageänderung.

### 4.3.2. Fahrzeugbestand und Verkehrsnachfrage

Die Zielvorgaben führen zu Änderungen im Fahrzeugbestand und der Verkehrsnachfrage. Durch die Effizienzvorgaben werden im Jahr 2030 deutlich mehr batteriebetriebene Elektroautos (46 % in Zielpfad A und 30 % in Zielpfad B) zugelassen als in der Referenz (9 %). Auch der Anteil von Plug-in Hybrid-Pkw steigt, während der Anteil von neuen Diesel- aber vor allem Benzinfahrzeugen deutlich sinkt. Der Pkw-Bestand im Zielpfad A reduziert sich um 6 % gegenüber der Referenzentwicklung in 2030 auf gut 44 Mio. Pkw und liegt damit sogar 1 % unter dem Ausgangswert aus 2015. Im Zielpfad B ist der Pkw-Bestand mit 45,5 Mio. Pkw in 2030 um 3 % geringer als in der Referenz, jedoch leicht höher als im Jahr 2015. Die Bestände unterschieden nach Antrieben und den Szenarien sind in Abbildung 4-5 dargestellt. Der stärkere Rückgang des Pkw-Bestandes in Zielpfad A erklärt sich durch die etwas höheren Kosten für neue Pkw (Elektro- und Plug-in-Hybrid-Pkw und effiziente konventionelle Pkw).

Abbildung 4-5: Pkw Bestand im Jahr 2030 nach Antrieben über die Szenarien



Quelle: eigene Berechnungen

Die Verkehrsnachfrage im Personenverkehr über alle Verkehrsmittel sinkt in den Zielpfaden gegenüber der Referenz (in 2030 um 6 % im ZP A, um 8 % im ZP B). Dies bedeutet nicht zwangsläufig, dass es zu einer Einschränkung von Mobilität kommt also dass die Anzahl der zurückgelegten Wege abnimmt. Durch die bessere Nahraumversorgung, die fortschreitende Urbanisierung und die verstärkte Nutzung anderer Verkehrsmittel werden nähere Ziele gewählt. Auch wird auf den Rad- und Fußverkehr verlagert. Nur geringfügig werden weniger Wege zurückgelegt. Im Verkehrssektor hat zudem die wachsende Bedeutung von Sharing-Economy Potentiale für den Klimaschutz. Diese Entwicklung ist begleitet von einem Modal-Shift in Richtung öffentlichen Verkehr, der im Zielpfad B stärker ausgeprägt ist als im Zielpfad A.

Im Güterverkehr geht die Verkehrsnachfrage insgesamt in beiden Zielpfaden um etwa 7 % gegenüber der Referenz zurück. Auch der Verlagerungseffekt vom Straßengüterverkehr zu vornehmlich Schienentransport (30 % / 33 % Zuwachs in ZP A / B) aber auch Binnenschifffahrt (17 % / 18 %) ist in beiden Zielpfaden ähnlich, im Zielpfad B nur leicht ausgeprägter als in Zielpfad A. Die Abnahme der gesamten Güterverkehrsleis-



tung resultiert maßgeblich aus einer Reduktion der Wegelängen durch die fortschreitende Digitalisierung, die eine Optimierung der Routen erleichtert und durch eine verstärkte Nachfrage nach regionalen Produkte.

Die konkreten Reaktionen hängen schlussendlich von den gewählten Instrumenten ab (in wieweit wird z.B. der Radverkehr gefördert oder in welchem Ausmaß eine Einpreisung externer Kosten vorgenommen wird). Hier wurden dazu entsprechend des Auftrags keine konkreten Annahmen hinterlegt.

#### 4.3.3. Endenergieverbrauch und direkte Treibhausgasemissionen

Die Kraftstoffnachfrage entwickelt sich in beiden Zielszenarien im Gesamtbedarf ähnlich. Im Vergleich zur Referenz ergibt sich eine Reduktion des Endenergiebedarfs von rund 25% in 2030. In ZP A ist der Bedarf an Ottokraftstoffen gegenüber der Referenz um 35 % geringer, bei den Dieselmotoren 28 %. Die starken Einsparungen werden durch einen mehr als verzweifachten Strombedarf für elektrisch betriebene Fahrzeuge etwas kompensiert. Im ZP B ergibt sich ein reduzierter Endenergiebedarf von gut 30 % bei den Ottokraftstoffen und 25 % bei den Dieselmotoren. Auch diese Minderungen werden teils durch einen deutlich höheren Strombedarf für elektrisch betriebene Fahrzeuge kompensiert. Der inländische Strombedarf fällt jedoch geringer als im effizienzorientierten ZP A aus. Für einen Anteil von rund 6 % strombasierter Kraftstoffe in ZP B und einem gegenüber der Referenz reduzierten Endenergiebedarf würden bereits zusätzliche Strommengen in Höhe von etwa 70 TWh benötigt. Es ist anzumerken, dass beide Zielpfade von einem vollständigen Import von EE-strombasierten Kraftstoffen ausgehen. Der dazu benötigte Strombedarf ist daher hier nicht bilanziert. Entsprechend der Ausgestaltung der Zielpfade ist der Anteil strombasierter Kraftstoffe im Zielpfad B deutlich höher als im Zielpfad A. Ob diese im Zeitraum bis 2030 in ausreichenden Mengen nachhaltig (im Ausland) erzeugt werden können, bleibt unsicher.

Für den Verkehrssektor ist eine Reduktion von 40 - 42 % der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 vorgesehen. Auch hier ist zu beachten, dass Emissionen im Klimaschutzplan nach dem Quellprinzip bilanziert werden. Emissionen, die durch den Stromverbrauch elektrischer Fahrzeuge entstehen, werden demnach im Sektor Energiewirtschaft bilanziert. Strombasierte Kraftstoffe werden gemäß den Annahmen vollständig importiert und sind daher emissionsseitig nicht bilanziert.

Die Zielpfade führen zu Emissionen von 98 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. im Jahr 2030 und liegen damit beide am unteren Rand des Sektorziels (40% Minderungen gegenüber 1990).

#### 4.3.4. Sozio-ökonomische Aspekte

Die in der Referenz und in den Zielpfaden beschriebenen Entwicklungen erfordern Investitionen in Infrastruktur und Fahrzeuge und bewirken Veränderungen bei den Ausgaben für Kraftstoffe und dem öffentlichen Verkehr. Die Herstellungskosten von Fahrzeugen hängen insbesondere von der Entwicklung der Batteriekosten und den Kosten für Effizienztechnologien ab. Für die Batteriesystemkosten wird in dieser Studie die Annahme aus dem Projektionsbericht 2017 der Bundesregierung übernommen (Batteriesystemkosten bei 100 Euro/kWh in 2030). Zusätzlich wird eine Sensitivitätsrechnung mit geringeren Kosten (61 Euro/kWh) gemäß (Bloomberg New Energy Finance 2017) durchgeführt. Die Herstellungskosten für Fahrzeuge wurden mit dem Modell TEMPS für verbrennungsmotorische Fahrzeuge auf Basis der Effizienzannahmen und der Kostenkurven des ICCT und für Elektroantrieb anhand der Annahmen zu Batteriesystemkosten abgeleitet.

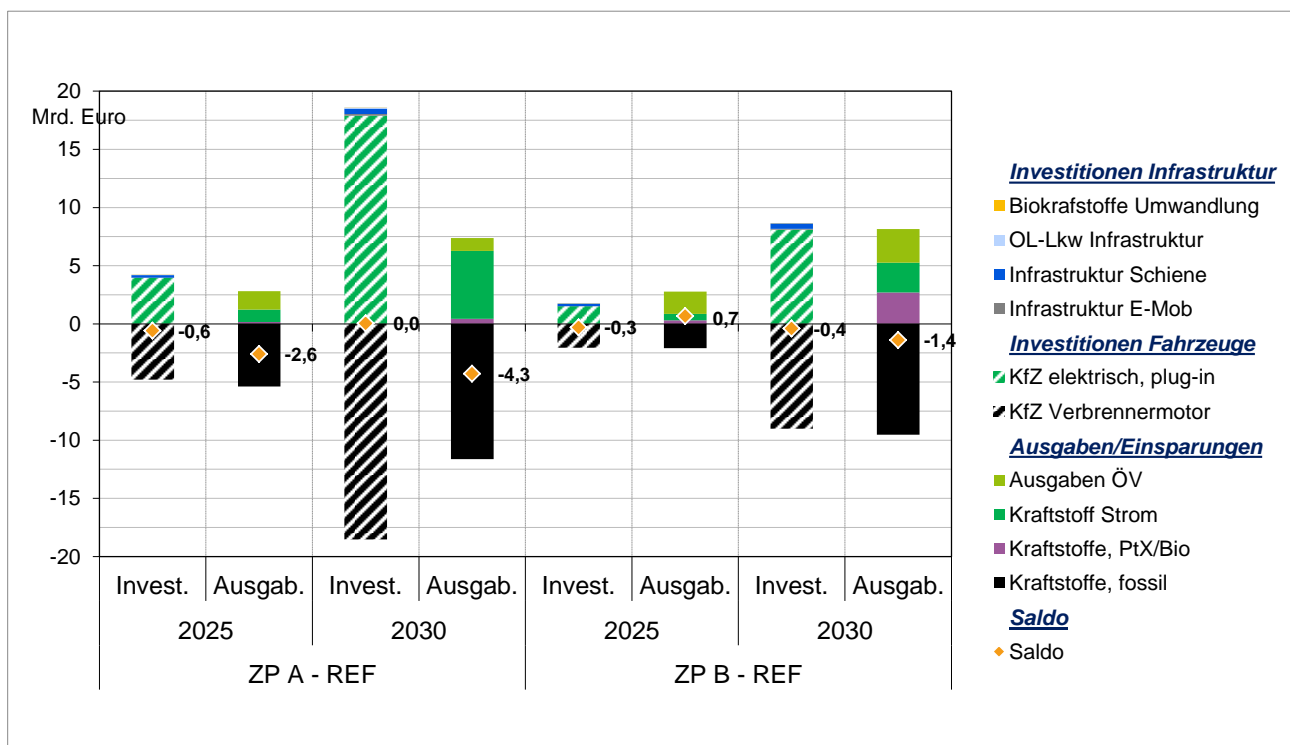
Infrastrukturseitig werden Investitionen in Ladeinfrastruktur für Elektromobilität, Schieneninfrastruktur, Oberleitungsinfrastruktur für Oberleitungs-Lkw sowie für Umwandlungsanlagen für PtX-Kraftstoffe nötig. Annahmengenmäßig werden strombasierte Kraftstoffe bis zum Jahr 2030 nicht inländisch hergestellt. Perspektivisch sind auch hier Infrastrukturinvestitionen in Deutschland notwendig. Einsparungen ergeben sich in den Zielpfaden gegenüber der Referenz für fossile Kraftstoffe, die weniger nachgefragt werden, während die Ausgaben für Strom und öffentlichen Verkehr sowie für PtX-Kraftstoffe steigen.



Im Sinne eines direkten Kosten-Nutzen-Vergleichs werden die Investitionen den Einsparungen bzw. Mehrausgaben gegenübergestellt. Betrachtet werden nur die zusätzlichen Investitionen sowie die daraus resultierenden Kosteneinsparungen bzw. -mehrausgaben gegenüber der Referenzentwicklung. Wesentliche Aspekte sind dabei zum einen die Herstellungskosten der Fahrzeuge, die wiederum abhängig sind von den Entwicklungen der Batteriekosten und Kosten für Effizienztechnologien, zum anderen die Infrastrukturkosten, insbesondere für Ladeinfrastruktur, Schieneninfrastruktur, Oberleitungsinfrastruktur und Umwandlungsinfrastruktur für Bio-Kraftstoffe. Auf der Ausgabenseite ergeben sich deutliche Einsparungen für fossile Kraftstoffe, jedoch zusätzliche Ausgaben für Strom sowie Bio- und PtX-Kraftstoffe und Öffentlichen Verkehr bei Verlagerung.

Im Sinne der Vergleichbarkeit der Differenzinvestitionskosten, die zu Anfang einer Investition anfallen und der über die Lebensdauer folgenden Einsparungen, sind die Investitionen in Abbildung 4-6 in Form von Annuitäten (also als gleichbleibende Zahlungsströme über die Lebensdauer zur Abzahlung der Investition) dargestellt<sup>5</sup> und den jährlichen Einsparungen bzw. Ausgaben in zwei Stützjahren jeweils im Vergleich zur Referenz gegenübergestellt. Die Kostenbetrachtung erfolgt aus volkswirtschaftlicher Perspektive.

**Abbildung 4-6: Annuierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen des Verkehrs**



Quelle: Eigene Berechnungen

In beiden Zielpfaden ergeben sich deutliche Verschiebungen bei Investitionen und Ausgaben. Auf der Investitionsseite gleichen zusätzliche Investitionen in elektrische und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge verminderte Investitionen in Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in beiden Zielpfaden aus, so dass der Nettoinvestitionseffekt

<sup>5</sup> Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Anlagen mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuiert (vgl. Abschnitt 5.1).

fekt nahe Null ist. Im effizienz- und elektromobilitätsorientierten Zielpfad A ist dieser Effekt, insbesondere im Jahr 2030, am deutlichsten ausgeprägt. Dieses Nullsummenspiel ist durch zwei Effekte geprägt. Einerseits steigen die Preise für Pkw in den Zielpfaden durch Effizienz- und Elektrotechnologien an, andererseits geht die Anzahl der Pkw-Neuzulassungen in Zielpfaden zurück, so dass insgesamt die notwendigen Fahrzeuginvestitionen geringer sind als in der Referenz. Da die in den Szenarien hinterlegten Batteriepreisentwicklungen als eher konservativ einzuschätzen sind, würden in der Sensitivitätsvariante (entlang der aktuell niedrigeren Batteriepreisprojektionen) die zusätzlichen Investitionen in batteriebetriebene Fahrzeuge weniger stark ansteigen und der Nettoeffekt rückläufige Investitionen gegenüber der Referenz ausweisen.

Auf der Ausgabenseite gehen die Ausgaben für fossile Kraftstoffe zurück, der Rückgang ist in Zielpfad A aufgrund der höheren Effizienzsteigerung und des höheren Anteils von Elektromobilität deutlich stärker als in Zielpfad B, in dem zusätzliche Ausgaben für strombasierte Kraftstoffe und höhere Ausgaben für öffentlichen Nahverkehr aufgrund von Verlagerung zum Tragen kommen. In beiden dargelegten Zielpfaden werden die Investitionen durch die Einsparungen kompensiert, der Effekt ist in Zielpfad A deutlich stärker ausgeprägt. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist daher Zielpfad A der vorzugswürdige Zielpfad. Dies gilt jedoch nur unter der Prämisse, dass die Änderungen bei den Fahrzeugkosten und auch die stattfindende Reduktion der Verkehrsnachfrage im Individualverkehr einen rückläufigen Fahrzeugbestand zur Folge haben.

Auch aus Sicht der Haushalte können in den Zielpfaden im Mittel Einsparungen gegenüber der Referenz erwartet werden. Dies geht besonders auf die gesunkene Fahrleistung zurück. Selbst wenn die Preise für Kraftstoffe in den Zielpfaden gegenüber der Referenz ansteigen, wird im Mittel keine zusätzliche Belastung erwartet. Wie die Effekte der Zielpfade auf die Haushalte im Detail aussehen, hängt von den zur Zielerreichung eingesetzten Instrumenten ab. Selbst wenn im Mittel keine zusätzlichen Kosten erwartet werden, kann es Gruppen geben, die, z.B. weil sie ihre Fahrleistung nur schwer reduzieren können, zusätzlichen Belastungen ausgesetzt sind. Andererseits können z.B. Effizienzsteigerungen bei neuen Pkw über den Gebrauchtwagenmarkt auch zu Kraftstoffeinsparungen bei Zweit- und Drittnutzern (d.h. meist einkommensschwächeren Haushalten) führen. Eine Analyse dieser Effekte ist notwendig, kann aber erst dann durchgeführt werden, wenn potenzielle Instrumente zur Zielerreichung genauer definiert worden sind.

#### 4.3.5. Kernbotschaften

Für die Erreichung des Klimaschutzziels im Verkehr sind sowohl eine Verlagerung von Verkehr, eine Optimierung und Nachfrageänderung als auch eine deutliche Effizienzsteigerung und Elektrifizierung notwendig, wobei Elektromobilität und Effizienz bei Pkw das höchste Minderungspotenzial zeigen.

Effizienzsteigerungen bei neu zugelassenen Lkw wirken - durch verhältnismäßig kurze Lebensdauern der Fahrzeuge im Gegensatz zu Pkw - vergleichsweise schnell auf den Bestand und leisten daher einen wichtigen Beitrag. Oberleitungs-Lkw sind eine strategisch interessante und im Vergleich zu PtX-Lkw kostengünstige Option zur Dekarbonisierung des Straßengüterfernverkehrs.

Eine alleinige Fokussierung auf Fahrzeugeffizienz und Elektromobilität reicht jedoch nicht aus. Auch wenn das Potenzial zur Effizienzsteigerung der Fahrzeuge in sehr ambitionierter Art und Weise ausgeschöpft wird, verbleibt eine Lücke zur Erreichung des Klimaschutzziels. Diese Lücke muss entsprechend damit ausgeglichen werden, dass sich auch die Verkehrsnachfrage ändert sowohl im motorisierten Individualverkehr wie auch im Güterverkehr.

Der Beitrag von Biokraftstoffen hängt von der Reduktion des Endenergieverbrauches ab, da davon ausgegangen wird, dass die absoluten Mengen, die in der Referenzentwicklung zur Verfügung stehen, nicht weiter angehoben werden und damit Sektoren miteinander konkurrieren und jedem Sektor nur begrenzte Mengen zur Verfügung stehen. Strombasierte Kraftstoffe können einen gewissen, aber begrenzten Beitrag zur Errei-

chung der Sektorziele leisten (siehe Zielpfad B). Jedoch sind sie mit hohen Umwandlungsverlusten verbunden und Verlagerung der Produktion und damit Energieversorgungsproblematik ins Ausland.

Trotz der starken strukturellen Unterschiede können sich die Änderungen bei den Investitionen bei Erreichung des Sektorziels über alle Kategorien ausgleichen. Die zusätzlichen Ausgaben für den Stromverbrauch der Elektromobilität, Biokraftstoffe und stromgenerierte Kraftstoffe und Mehrausgaben für den öffentlichen Verkehr werden in beiden Zielpfaden durch deutlich geringere Ausgaben für fossile Kraftstoffe überkompensiert. Insgesamt sinken die Ausgaben, wenn die Änderungen bei den Fahrzeugkosten und auch die stattfindende Reduktion der Verkehrsnachfrage im Individualverkehr einen rückläufigen Fahrzeugbestand zur Folge haben. Zielpfad A stellt sich aus volkswirtschaftlicher Sicht in der reinen Kosten-Einsparungs-Betrachtung vorzugswürdig dar. Mögliche soziale Implikationen hängen stark von der Ausgestaltung der Instrumente zur Zielerreichung ab.

Mögliche Risiken für die Automobilbranche durch einen Strukturwandel sollten frühzeitig adressiert werden. Bei einer Verschiebung der Produktion hin zu elektrischen Antrieben sollte darauf hingewirkt werden, die Wertschöpfung in Deutschland zu halten, um Arbeitsplätze zu schaffen und Innovationen zu befördern.

Im Hinblick auf weitere Umwelt- und Gesundheitseffekte zeigt die Analyse, dass ein nachhaltiges Gesamtkonzept für den Verkehr, welches auch Verminderungs- und Verlagerungspotenziale berücksichtigt, deutlich bessere Chancen bietet, in dem es die Lebensqualität in Städten verbessert, Flächenkonkurrenz sowie Schadstoffemissionen reduziert, Gesundheit durch mehr aktive und nicht motorisierte Mobilität befördert, weniger Staus bewirkt und vieles mehr.

## 4.4. Energiewirtschaft

### 4.4.1. Annahmen

In der Referenzentwicklung wird zugrunde gelegt, dass die bis zum 31.7.2016 beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden. Die erneuerbaren Energien erreichen hierbei bis zum Jahr 2030 einen Anteil von 52% am Bruttostromverbrauch.

Die Zielpfade sind unter der Prämisse erstellt, die gesetzten Klimaschutzziele der Bundesregierung für 2030 zu erreichen. Für die Energiewirtschaft ist dabei eine Reduktion um mindestens 61% der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 vorgesehen. Der angestrebte Emissionskorridor beträgt 175-183 Mt CO<sub>2</sub>-Äqu.

- Im Zielpfad A wird ein verstärkter Ausbau Erneuerbarer Energien bis zu einem Anteil von 65% am Bruttostromverbrauch in 2030 angenommen. Hinsichtlich der Kohlekraftwerke wurde für die Zwecke der Modellierung die Annahme getroffen, dass Anlagen mit einer Lebensdauer von mehr als 37 Jahren bis zum Jahr 2030 schrittweise stillgelegt werden. Zusätzlich werden Erdgas-KWK und erneuerbare Wärmeerzeugung zugebaut.
- Der Zielpfad B entspricht in seinen Annahmen im Wesentlichen dem des Zielpfades A. Geringere Effizienzsteigerungen in anderen Sektoren führen jedoch zu einer erhöhten Stromnachfrage im Vergleich zum ZP A. Diese Nachfrage wird durch den zusätzlichen Ausbau von Erneuerbaren Energien gedeckt. Der EE-Anteil beträgt in diesem Szenario 67%.

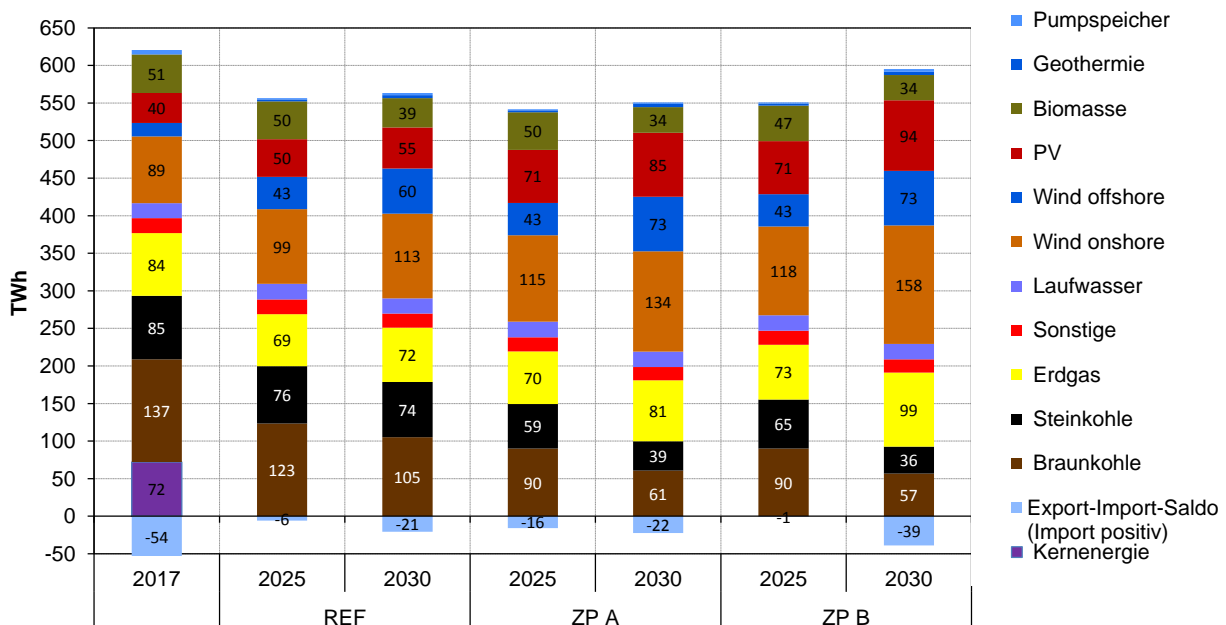
### 4.4.2. Nettostromerzeugung

Während die Verstromung von Kohle in den Zielpfaden gegenüber der Referenz deutlich abnimmt, liegt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in beiden Szenarien definitionsgemäß deutlich über den Werten des Referenzszenarios (siehe Abbildung 4-7). Im ZP A beträgt der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch im Jahr 2030 65%, so dass das im Koalitionsvertrag formulierte Ziel erreicht wird.

Im ZP B wird die höhere Stromnachfrage (insbesondere aus den Sektoren Industrie und Verkehr) durch den zusätzlichen Ausbau erneuerbarer Energien ausgeglichen. Dadurch ergibt sich im Jahr 2030 ein Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von 67%.

Die Erdgas-Stromerzeugung nimmt im Zeitverlauf in beiden Zielpfaden leicht zu. Hintergrund ist ein Ersatz von Kohle-KWK-Anlagen durch Erdgas-KWK-Anlagen. Gleichzeitig steigt durch den Ausbau der erneuerbaren Energien der Bedarf an flexibler Erdgas-Stromerzeugung. Dieser ist insbesondere im ZP B ausgeprägter. Die Stromexporte gehen im Zeitverlauf tendenziell zurück. Im ZP B steigen die Exporte bedingt durch stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien im Jahr 2030 jedoch wieder an.

**Abbildung 4-7: Nettostromerzeugung im Referenzszenario und den Zielpfaden A und B in den Jahren 2025 und 2030**



Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut

#### 4.4.3. Ökonomische Aspekte

In den Zielpfaden wird mehr in das Stromsystem investiert als in der Referenzentwicklung. Der zusätzliche Ausbau der erneuerbaren Energien macht mehr als die Hälfte der zusätzlichen Investitionen aus. Gleichzeitig sinken in den Zielpfaden die Brennstoff- und Betriebskosten im Vergleich zur Referenzentwicklung. Beispielsweise wird in den Zielpfaden weniger Steinkohle importiert als in der Referenz.

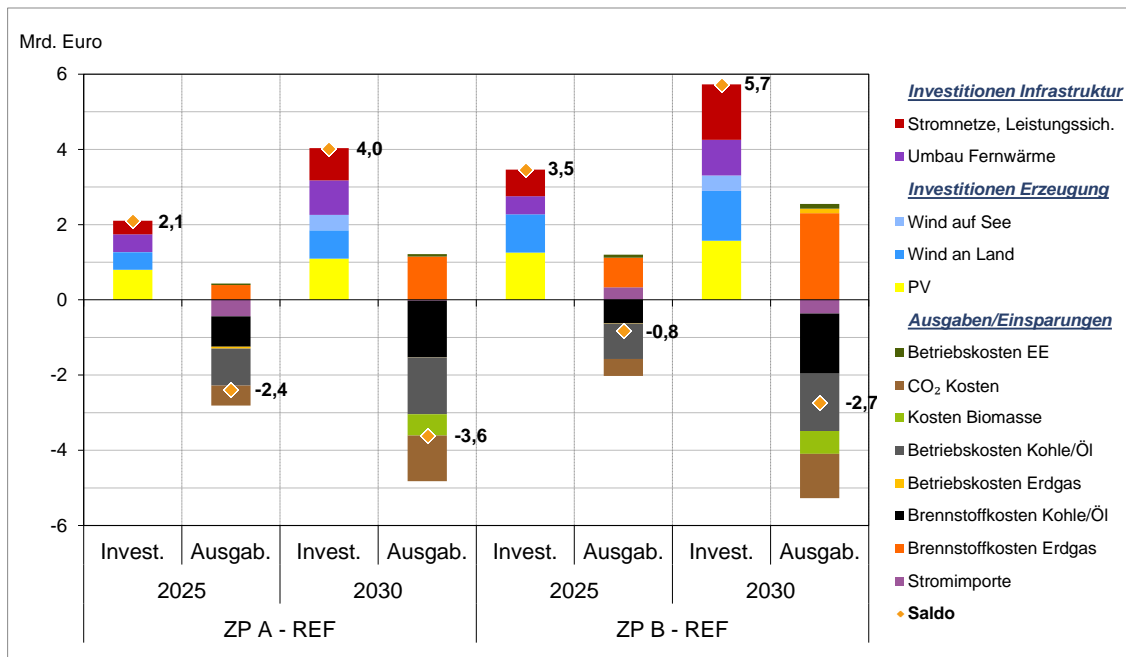
Ein Vergleich der zusätzlichen annuisierten Differenzinvestitionen<sup>6</sup> und der Kosteneinsparungen der Zielpfade mit dem Referenzszenario erfolgt in Abbildung 4-8.

<sup>6</sup> Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Anlagen mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuisiert (vgl. Abschnitt 5.1).

Im Zielpfad A stehen im Jahr 2030 annuisierte Differenzinvestitionen von 4 Mrd. € ungefähr gleich hohen Kosteneinsparungen im Bereich der Brennstoff- und Betriebskosten im Umfang von 3,6 Mrd. € gegenüber.

Vor allem aufgrund des zusätzlichen Ausbaus der erneuerbaren Energien im Zielpfad B liegen die zusätzlichen annuisierten Differenzinvestitionen von 5,7 Mrd. € in 2030 höher als im ZP A. Die annuisierten zusätzlichen Investitionen sind außerdem doppelt so hoch wie die gleichzeitig anfallenden Kosteneinsparungen bei den Brennstoff- und Betriebskosten. Zielpfad B ist ökonomisch somit bis 2030 weniger vorteilhaft.

**Abbildung 4-8: Annuisierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen der Energiewirtschaft**



Quelle: Eigene Berechnungen

#### 4.4.4. Kernbotschaften

Um das Sektorziel in der Energiewirtschaft zu erreichen, ist eine deutliche Reduktion der Kohleverstromung notwendig. Grundvoraussetzung für die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft ist ein beschleunigter Ausbau der erneuerbaren Energien, vor allem Windenergie und Photovoltaik.

Für die Integration der erneuerbaren Energien, muss der Ausbau der Stromnetze weiter vorangetrieben werden. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten ist eine zusätzliche Leistungsabsicherung in Form von Speichern, Nachfrageflexibilität und Gasturbinen notwendig.

Die Rolle von KWK-Anlagen im Stromsystem verändert sich. Ältere Kohle-KWK-Anlagen werden ersetzt. Gleichzeitig werden KWK-Anlagen vor dem Hintergrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien flexibler betrieben und innovative KWK-Systeme leisten Beiträge zur Dekarbonisierung der netzgekoppelten Fernwärmeversorgung.

Die beiden Zielpfade unterscheiden sich hauptsächlich bezüglich der Stromnachfrage. Zielpfad A basiert, verglichen mit Zielpfad B, auf anspruchsvolleren Effizienzsteigerungen in Nachfragesektoren. Der damit einhergehende erhöhte Energiebedarf in Zielpfad B erfordert somit einen rascheren Ausbau der erneuerba-

ren Energien als im Zielpfad A. Das Verhältnis von nötigen Investitionen und gleichzeitigen Einsparungen sind im Zielpfad A somit im deutlich besseren Verhältnis.

## 4.5. Landwirtschaft

### 4.5.1. Annahmen

Das Referenzszenario im Handlungsfeld Landwirtschaft basiert auf den bestehenden Projektionen des Projektionsberichts 2017 (siehe Kapitel 4). Im Gegensatz zum Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts wurde im Referenzpfad allerdings eine ambitionierte Umsetzung der inkraftgetretenen Düngeverordnung analog zum Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts berücksichtigt. Zudem wurde die Entwicklung der Vergärung aus Energiepflanzen der Nachfrageentwicklung aus den anderen Sektoren angepasst (Abnahme gegenüber der Referenz) und es erfolgte eine Neuberechnung der energiebedingten Emissionen des Landwirtschaftssektors.

Im Zielpfad müssen die Sektorziele der Landwirtschaft aus dem Klimaschutzplan der Bundesregierung für das Jahr 2030 erreicht werden. Gegenüber 1990 ist für den Landwirtschaftssektor eine Reduktion zwischen 31-34 % vorgesehen, das entspricht einem Emissionskorridor von 58-61 Mt. CO<sub>2</sub>-Äqu..

- Im Zielpfad A wird das Sektorziel einschließlich der energiebedingten Emissionen durch eine weitere Reduzierung der Stickstoffüberschüsse, eine Reduktion der Milchkuh- und Rinderbestände um 6% gegenüber dem Jahr 2015, eine Ausweitung des Ökolandbaus<sup>7</sup> auf 20% der landwirtschaftlichen Fläche sowie durch eine Reduzierung der Energieeinsätze (Gewächshäuser und Kraftstoffeinsätze) erreicht. Zudem führt eine 20-prozentige Wiedervernässung bzw. nasse Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Moorböden im LULUCF Sektor zu einer Reduktion der Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden.
- Im Zielpfad B erfolgt die Emissionsreduktion über die gleichen Annahmen wie im Zielpfad A, allerdings werden im Zielpfad B zusätzlich Nitrifikationshemmstoffe (Inhibitoren) auf 25 % der konventionell bewirtschafteten Fläche ab 2026 eingesetzt. Zudem erfolgt eine geringere Tierbestandsreduktion (3% gegenüber dem Jahr 2015 als im Zielpfad A).

### 4.5.2. Sozioökonomische Aspekte

Änderungen in den Betriebskosten zwischen dem Referenzpfad und den Zielpfaden ergeben sich vor allem durch Änderungen im Zukauf von Düngemitteln. Hier besteht Einsparpotenzial auf Betriebsebene vor allem im Hinblick auf den Mineraldüngereinsatz. Über den gesamten Zeitraum 2018 bis 2030 erfolgen hier wesentliche Einsparungen in den Zielpfaden A und B gegenüber dem Referenzszenario. Durch den Rückgang von Energiepflanzengärresten kommt es allerdings im Jahr 2030 zu einem geringen Anstieg des Mineraldünger-einsatzes ggü. dem Referenzszenario. Die in der Landwirtschaft anfallenden jährlichen Mehrkosten betreffen auf Betriebsebene vor allem den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen im Zielpfad B. Da der Einsatz erst ab dem Jahr 2026 berücksichtigt wurde, bestehen hier Unterschiede zwischen 2025 und 2030.

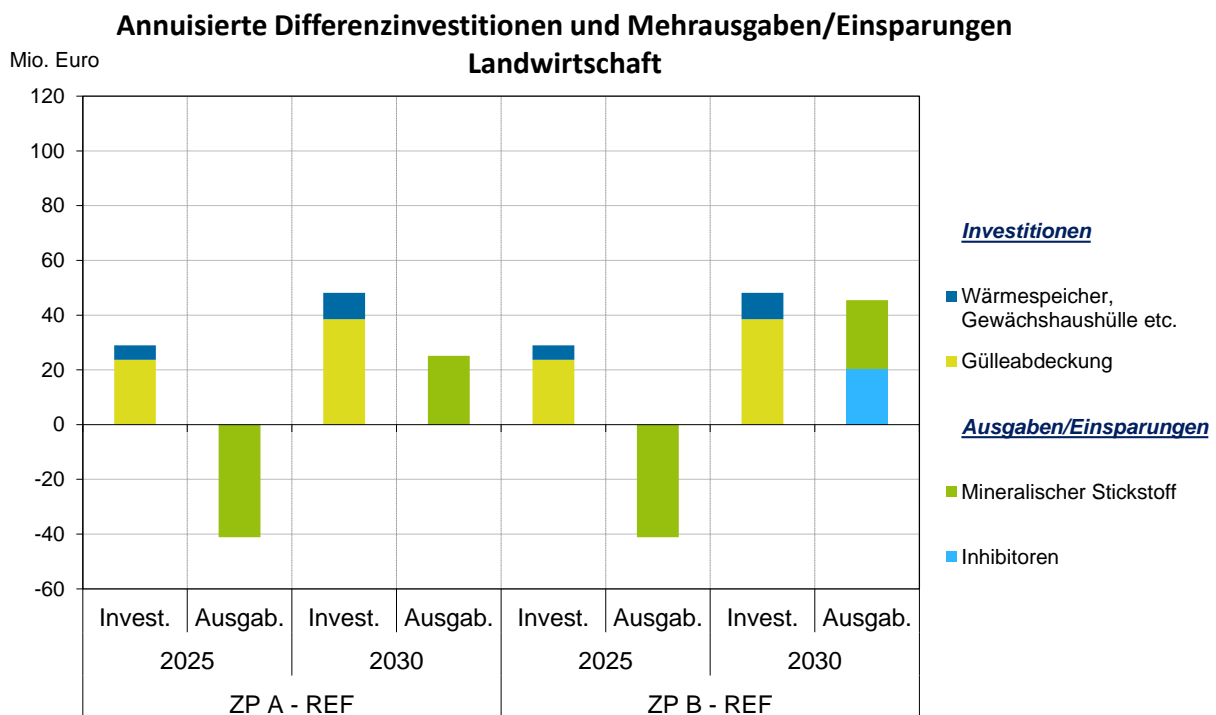
<sup>7</sup> Die angenommene Minderung an Treibhausgasemissionen bezieht sich hierbei auf die Nutzfläche, nicht auf die Produktionsmenge.

Im Sinne der Vergleichbarkeit von Investitionskosten, die jeweils nur einmalig anfallen und Einsparungen oder Mehrausgaben, die über mehrere Jahre entstehen, sind die Investitionen in Abbildung 4-9 in Form von Annuitäten, also als gleichbleibende Zahlungsströme über die Lebensdauer zur Abzahlung der Investition, für je zwei Stützjahre 2025 und 2030 dargelegt<sup>8</sup>.

Weitere Investitionen, die für den Ausbau der Güllevergärung, vor allem für die Abdeckung der Gärrestlager, erforderlich sind, werden voraussichtlich nur bei zusätzlicher finanzieller staatlicher Förderung erfolgen oder bei einer entsprechenden ordnungsrechtlichen Verankerung für Bestandsanlagen.

Neben den Änderungen der Betriebs- und Investitionskosten gegenüber der Referenzentwicklung entstehen weit höhere Kosten durch die Festsetzung von Förderprogrammen, vor allem im Bereich des Ökolandbaus, aber auch für eine Tierbestandsabstockungsprämie und Ausgleichszahlungen für eine nasse Bewirtschaftung von Mooren, die eine staatliche Subventionierung erfordern. Neben Klimaschutzeffekten bieten diese Programme aber zahlreiche weitere ökologische Zusatznutzen.

**Abbildung 4-9: Annuisierte Differenzinvestitionen und Mehrausgaben/Einsparungen der Landwirtschaft**



Quelle: Eigene Berechnungen

### 4.5.3. Kernbotschaften

Unter den getroffenen Annahmen ist die Erreichung der Klimaziele des Landwirtschaftssektors bis zum Jahr 2030 allein mit technischen Maßnahmen, wie Abdeckung von Güllelagern, Reduktion der Energieverbräuche

<sup>8</sup> Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Investition mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuiert (vgl. Abschnitt 5.1).



bei landwirtschaftlichen Gebäuden oder Landmaschinen, schwierig. Bis zum Jahr 2030 sind daher in beiden Zielpfaden bereits strukturelle Änderungen der Bewirtschaftung berücksichtigt worden, wie z.B. der Ausbau des Ökolandbaus, eine moderate Verringerung der Tierbestände und eine nasse Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Moore, welche im Landwirtschaftssektor zu einer Reduktion der Lachgasemissionen aus Böden führen und im LULUCF zu einer weitreichenden Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen.

Weiteres mögliches Reduktionspotenzial in Bezug auf technische Maßnahmen besteht im Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen im Zielpfad B. Obwohl bereits in der Praxis zugelassen, ist die Anwendung stark umstritten, da große Unsicherheiten in Bezug auf die Umweltauswirkung z.B. auf Gewässer und Gewässerqualität bestehen. Weitere Unsicherheiten bestehen bezüglich der Minderungswirkung und Dauerhaftigkeit (Resistenzbildung) dieser Maßnahme. Für eine Auswahl von Maßnahmen mit gesicherter Datenbasis zur Erreichung der Klimaziele im Landwirtschaftssektor ist der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen derzeit nicht geeignet.

Im Gegensatz zu anderen Sektoren stehen in der Landwirtschaft den Kosten der Maßnahmen selten sinkende Betriebsmittelkosten als ökonomischer Anreiz gegenüber. Dies gilt sowohl für technische Maßnahmen (z.B. gasdichte Lagerung der vergorenen Gülle) wie für strukturelle Änderungen in der Bewirtschaftung. Daher müssen Förderprogramme oder andere Instrumente Investitions- und Umsetzungshemmnisse überwinden.

Neben der Reduktion von Treibhausgasen haben die Änderungen, die zur Erreichung der Klimaschutzziele im Jahr 2030 in der Landwirtschaft notwendig sind, aber viele weitere Zusatznutzen und Synergien in Bezug auf die Umweltziele anderer EU-Vorgaben (Nitrat-RL, Wasserrahmen-RL, NEC-RL). Dazu zählen geringere Ammoniakemissionen, geringere Stickstoffeinträge, weniger Pestizideinsätze, positive Auswirkungen auf die Biodiversität etc. und tragen dazu bei die landwirtschaftliche Produktion nachhaltiger zu gestalten. Solange diese Co-Benefits nicht in die Produkte eingepreist werden können, wird erfolgreicher Klimaschutz in der Landwirtschaft nur über Förderprogramme und weitere finanzielle Transfers realisiert werden können.

## 4.6. Sonstige (Abfallwirtschaft)

### 4.6.1. Annahmen

In diesem Handlungsfeld werden nur die nicht-energiebedingten Emissionen des Abfallsektors berücksichtigt, die aus Abfalldeponien, der biologischen oder mechanischen Abfallbehandlung und dem Abwasser stammen.

Das Referenzszenario im Handlungsfeld Abfall basiert zum Großteil auf den Rahmendaten und Annahmen des Mit-Maßnahmen-Szenarios des Projektionsberichts 2017. Im Vergleich zum Projektionsbericht wurde bereits im Referenzpfad eine leichte Verschiebung des biogenen Abfalls von Kompostieranlagen zu Biogasanlagen angenommen. Zusätzlich wurden Verbesserungen der Biogasanlagen im Behandlungsprozess und bei der Produktlagerung unterstellt.

Im Abfallsektor wurde nur ein Zielpfad berücksichtigt, welcher im Wesentlichen eine Ausweitung der Deponiebelüftung annimmt, aber auch die im Klimaschutzplan festgeschriebene verstärkte Nutzung von Reststoffen berücksichtigt.

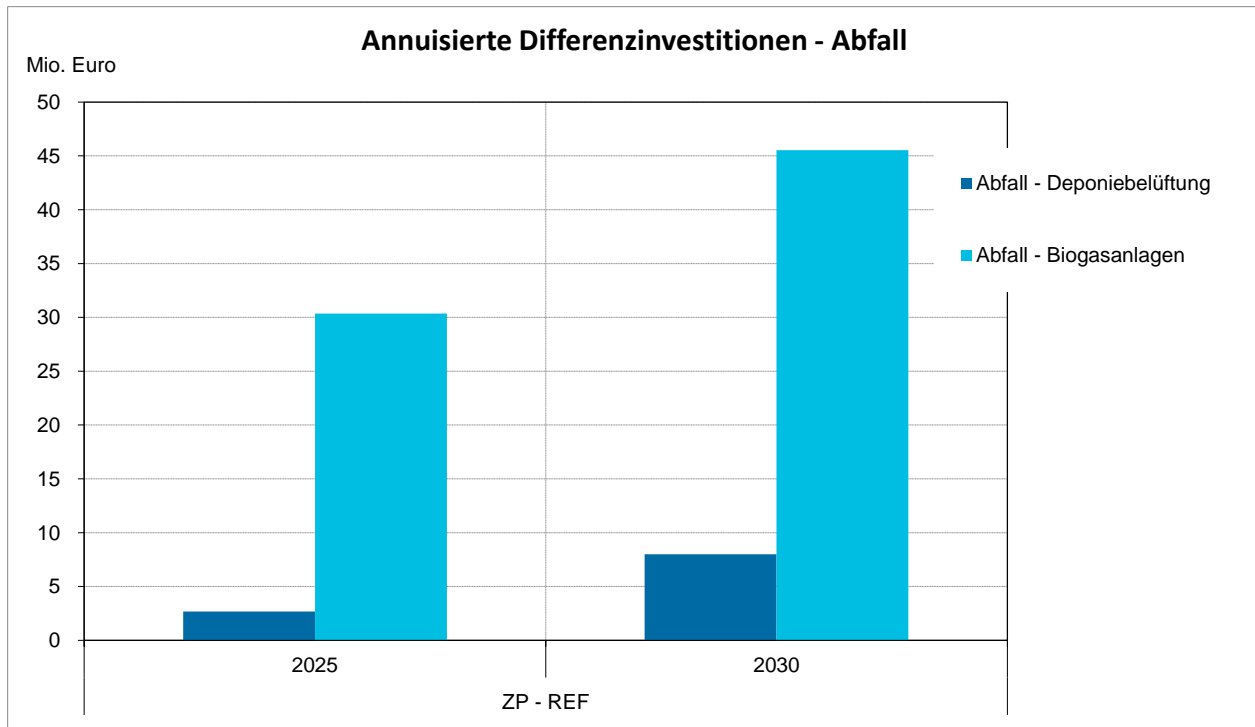
### 4.6.2. Ökonomische Aspekte

Um das Klimaschutzziel zu erreichen sind auch im Abfallsektor Investitionen notwendig. Diese betreffen vor allem technische Maßnahmen zur Deponiebelüftung als auch den Neubau von Biogasanlagen zur Vergärung von Abfällen. Die Investitionen sind in Abbildung 4-10 in Form von Annuitäten, also als gleichbleibende



Zahlungsströme über die Lebensdauer zur Abzahlung der Investition, für je zwei Stützjahre 2025 und 2030 dargelegt<sup>9</sup>.

**Abbildung 4-10: Annuisierte Differenzinvestitionen des Abfallsektors**



Quelle: Eigene Berechnungen

### 4.6.3. Kernbotschaften

Seit 1990 wurden die nicht-energiebedingten Emissionen aus dem Abfallsektor um 70 % reduziert. Damit wurden im Vergleich zu anderen Sektoren wesentliche Emissionsreduktionen in diesem Sektor in den letzten 10 bis 20 Jahren durch konsequente Umweltschutzpolitik bereits erreicht.

Größeres technisches Reduktionspotenzial im Abfallsektor besteht im Wesentlichen in einer Ausweitung der Deponiebelüftung. Im Zielpfad wurde eine Intensivierung der Deponiebelüftung berücksichtigt, allerdings besteht hier noch weiteres Reduktionspotenzial.

Die verstärkte Nutzung von Bioenergie aus Abfallstoffen führt nicht direkt zu Emissionsreduktionen im Abfallsektor, aber ersetzt den Einsatz von anderen Energieträgern und leistet damit einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Energieversorgung.

Unabhängig von Sektorzuordnung und Bilanzierung der Emissionsreduktion, sind die höchsten Einsparpotenziale im Abfallbereich durch eine Abfallvermeidung zu erreichen. Hier besteht auch langfristig weiteres Potenzial, die Emissionen der gesamten Abfallkreislaufwirtschaft weiter zu reduzieren.

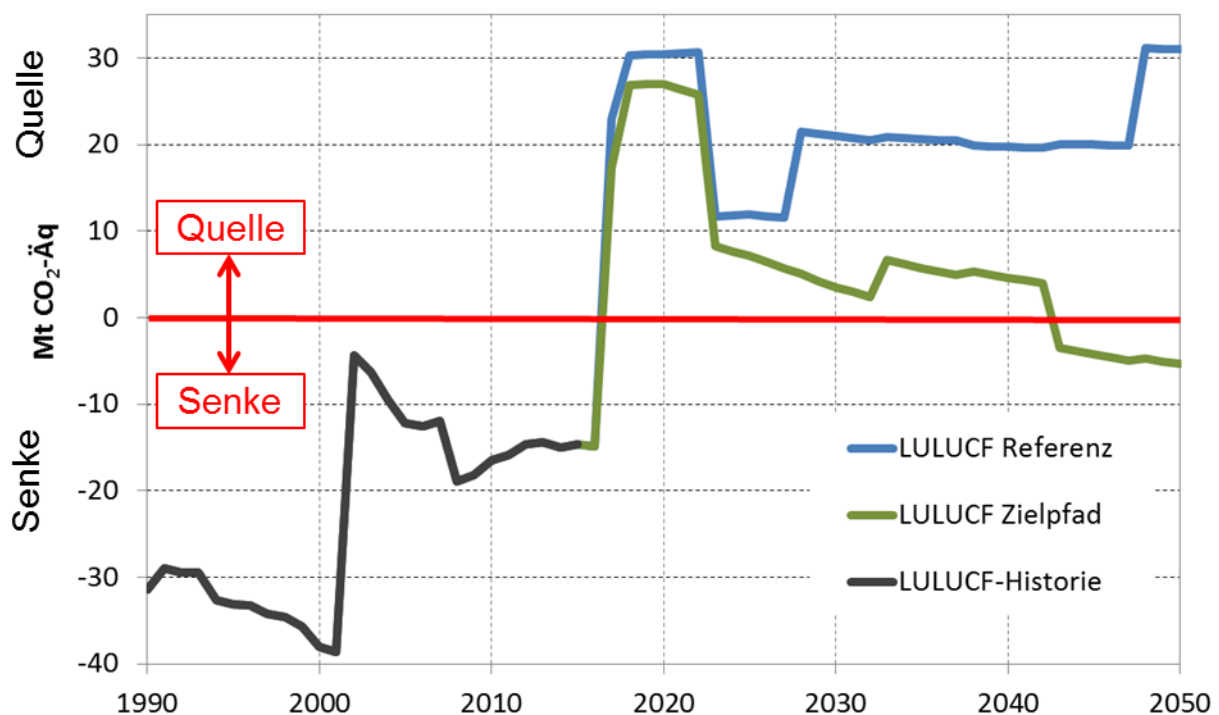
<sup>9</sup> Die Investitionskosten werden über die Lebensdauer der Investition mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuiert (vgl. Abschnitt 5.1).

## 4.7. Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF)

### 4.7.1. Annahmen

Der LULUCF-Sektor (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) wies im Jahr 2015 über alle Landnutzungen Netto-Kohlenstofffestlegungen in Höhe von ca. 15 Mio. t CO<sub>2</sub> auf. In den Kategorien Ackernutzung, Grünlandnutzung, Siedlungen und Feuchtgebiete entstanden Netto-Emissionen in Höhe von zusammen 45 Mio. t CO<sub>2</sub>. Der größte Teil der Emissionen stammte aus landwirtschaftlich genutzten organischen Böden und der Umwandlung von Grünland in Ackerland. Gleichzeitig wurden in existierenden und neuen Wäldern und Holzprodukten dagegen zusammen gut 60 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr eingelagert. Die Referenzentwicklung im LULUCF-Sektor entspricht dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Projektionsberichts der Bundesregierung 2017 (Bundesregierung 2017). Dieses beinhaltet bereits das Gebot zum Erhalt von Grünland (durch Schutz oder Neueinsaat nach Umbruch) und eine Begrenzung der Flächenneuanspruchnahme durch Siedlungen, die bis 2030 auf maximal 30 ha/Tag begrenzt werden soll. Nach Annahmen der Referenzszenarios entwickelt sich der Sektor nach 2020 in eine Netto-Quelle, u.a. durch eine Verringerung der Waldsenke (Abbildung 4-11).

Abbildung 4-11: Referenz- und Zielpfadentwicklung LULUCF



Quelle: Eigene Berechnungen, Thünen-Institut 2017 WEHAM Naturschutzpräferenzszenario

Der Klimaschutzplan enthält die Vorgabe, dass die Netto-Senke des Sektors erhalten und mit weiteren Maßnahmen gesichert werden soll. Die Annahmen im Zielpfad sind deshalb so gewählt, dass die projizierte Net-

to-Quelle des LULUCF-Sektors im Zeitraum 2040-2045 wieder in eine Senke wechseln würde (Abbildung 4-11). Bis dahin würden im Durchschnitt jährlich Netto-Emissionen von etwa 10 Mio. t CO<sub>2</sub> entstehen. Der Zielpfad für den Sektor unterscheidet sich von der Referenz durch eine Wiedervernässung oder nasse Bewirtschaftung von Mooren, eine naturschutznähere Waldbewirtschaftung und dem Einstellen des Torfabbaus. Um den Erhalt noch vorhandener Torfmoorböden zu sichern und Emissionen aus diesen Böden zu verringern, wird eine Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moore umgesetzt. Diese findet auf 20 % der Grünland- und 20 % der Ackerlandflächen mit solchen Böden statt. Auf 75 % dieser Flächen wiederum werden Paludikulturen angebaut, die der Biomasseproduktion für eine energetische Nutzung dienen können. In der Waldbewirtschaftung wird eine Umsetzung von Naturschutzmaßnahmen im Wald nach Annahmen des WEHAM Naturschutzpräferenzszenarios<sup>10</sup> angenommen. Dies beschreibt im Vergleich zum WEHAM Basisszenario, das der Referenz unterliegt, die Entwicklung naturnäherer Baumbestände und höherer Laubholzanteile. Die Nutzung auf Flächen mit bereits bestehenden Nutzungseinschränkungen werden weiter reduziert und alte Wälder nicht genutzt. Als weitere Annahme wird eine Reduktion des Torfabbaus zu 100 % bis zum Jahr 2030 umgesetzt.

#### 4.7.2. Ökonomische Aspekte

Die Kosten, die für die Wiedervernässung und damit für die Einsparung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus organischen Böden anfallen, werden im LULUCF-Sektor berücksichtigt. Hierzu gehören Förderkosten der Projektvorbereitung (Planung, hydrologische Gutachten, Prüfung der Machbarkeit) sowie wasserbauliche Investitions- und Betriebskosten für Schöpfwerke, Wehre, Pumpen u.a. Anlagen. Darüber hinaus fallen weitere Kosten in Form von Förderprogrammen als Ausgleichszahlungen für eine moorschonende Bewirtschaftung im Landwirtschaftssektor an.

Die Reduktion des Torfabbaus ergibt sich daraus, dass keine weiteren Abbaugenehmigungen mehr erteilt werden. Es wird angenommen, dass ab dem Jahr 2021 eine lineare Abnahme des Torfabbaus bis auf null im Jahr 2030 erfolgt. Da mit dem Wechsel auf Ersatzsubstrate auch eine Abnahme der Erträge stattfinden kann, wird angenommen, dass die Abnahme zuerst im Hobbygartenbau erfolgt, da dort mit deutlich geringeren negativen ökonomischen Effekten im Vergleich zum Erwerbsanbau zu rechnen ist. Im Hinblick auf Mehrkosten ist aktuell damit zu rechnen, dass ein Ersatz von Torf etwa zu einer Verdoppelung der Kosten führt. Es wird weiter angenommen, dass auf Bundesebene eine Torfersatzstrategie entwickelt wird, die von 2020 bis 2022 mit Forschungs- und Förderprogrammen flankiert wird, die eine kostengünstige und qualitativ hochwertige Produktion von Torfersatzstoffen anstreben und sich die Mehrkosten dadurch reduzieren lassen.

Die Kosten für einen Waldumbau und Naturschutzmaßnahmen, wie sie im Naturschutzpräferenzszenario (NPS) umgesetzt wurden, können durch einen Vergleich ökonomischer Kennzahlen des Basisszenarios (Referenzentwicklung) und des NPS ermittelt werden. Dazu wurde auf Berechnungen des Thünen-Instituts im Rahmen des WEHAM-Szenarien Projekts zurückgegriffen. Diese ermittelten den waldbaulichen Deckungsbeitrag, d.h. den holzernte-kostenfreien Erlös (Einnahmen des Holzverkaufes abzüglich der Kultur- und Läuterungskosten). Die sich daraus ergebenden Abweichungen zwischen Referenzpfad und Zielpfad werden als Kosten interpretiert, wenn es durch einen Wechsel zu einer Verringerung von Deckungsbeiträgen kommt. Mittels Förderprogrammen müssten diese Mindereinnahmen, die bei Waldbesitzern auflaufen, durch Fördermittel und Ausgleichszahlungen neutralisiert werden.

In der folgenden Tabelle 4-1 sind die Kosten, die LULUCF-Sektor zu erwarten sind, zusammenfassend zusammengestellt. In der Summe betragen die jährlichen Kosten 300 Mio. €/a.

---

<sup>10</sup> Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz (WEHAM-Szenarien), [www.weham-szenarien.de](http://www.weham-szenarien.de)

**Tabelle 4-1: Zusammenfassung der jährliche Mehrkosten im LULUCF-Sektor im Zielpfad**

Kostentyp	Annahme	2025	2030
LULUCF Betrieb	Ausgaben Torfersatzmaterial	56 Mio. €/a	56 Mio. €/a
LULUCF Programme	Wasserbau/Technik zur Wiedervernässung von Mooren (Kohlendioxid)	153 Mio. €/a	153 Mio. €/a
	Waldumbau und extensivere Holzentnahme	100 Mio. €/a	100 Mio. €/a

Quelle: Eigene Berechnungen

#### 4.7.3. Kernbotschaften

Die LULUCF-Annahmen im Zielpfad zum Erhalt der Moorböden, Veränderung der Waldbewirtschaftung und in geringerem Maße die Reduktion des Torfabbaus können im Jahr 2030 mit einem Umfang von 17 Mio. t CO<sub>2</sub>e zur Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland beitragen. Die zu erwartenden Kosten liegen bei etwa 300 Mio. €/Jahr.

Zudem sind durch diese Annahmen positive Effekte für den Naturschutz in Deutschland zu erwarten, da durch die Nutzungsänderungen mit einer positiven Veränderung von Habitatstrukturen (mehr Laubholz, mehr ältere Bäume, mehr Totholz, neue wiedervernässte Moorstandorte) zu rechnen ist.

Trotz extensiverer Holzentnahme im Laubholz kann im Zielpfad durch einen erhöhten Nadelbaumeinschlag im Zuge des Waldumbaus im Vergleich zur Referenzentwicklung mit einem leichten Anstieg des Holzaufkommens bis zum Jahr 2030 gerechnet werden.

## 5. Gesamtwirtschaftliche Effekte

Wirtschaftliche Folgen entstehen, wenn sich durch eine politische Vorgabe die Ausgabenhöhe oder -struktur von Staat, Bürgern oder Unternehmen verändert (siehe „Leitfaden zur Nutzen-Kosten-Abschätzung umweltrelevanter Effekte in der Gesetzesfolgenabschätzung“<sup>11</sup>). Zu unterscheiden ist zwischen

- i. direkten ökonomischen Impulsen nach Wirtschaftsbereichen bzw. Handlungsfelder, die durch die politischen Vorgaben in einzelnen Sektoren entstehen,
- ii. direkten und indirekten makroökonomischen Effekten, die durch die Vorgaben in vor- oder nachgelagerten Wirtschaftsbereichen und im Wechselspiel zwischen den Wirtschaftsbereichen bewirkt werden, sowie induzierten Effekten, die sich aus Gesamtnachfrageänderungen ergeben
- iii. den sozialen bzw. Verteilungseffekten, die sich für Haushalte und Bürger durch Veränderungen der Einkommens- und Ausgabenstruktur ergeben und
- iv. den externen Kosten, die sich durch Umweltwirkungen einsparen lassen oder zusätzlich ergeben.

<sup>11</sup> UBA-Texte 01/2015 (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-nutzen-kosten-abschaetzung>)

Sektorale ökonomische Effekte sowie soziale Effekte bzw. Verteilungsaspekte wurden bereits in den jeweiligen sektoralen Kapiteln dargestellt. In diesem Kapitel werden zunächst die gesamtwirtschaftlichen Effekte (BIP, BWS, Beschäftigung) dargelegt und im folgenden Kapitel 6 die weiteren ökonomischen Effekte (externe Kosten, Importabhängigkeit, Versorgungssicherheit und Wettbewerbseffekte).

## 5.1. Investitionsbedarf und Einsparungen

Um die Sektorziele zu erreichen, sind Investitionen in Klimaschutz- bzw. Effizienztechnologien essentiell. Viele dieser Investitionen bringen umfangreiche Modernisierungen, Infrastrukturentwicklungen und auch Digitalisierung mit sich, die neue Chancen im deutschen Wirtschaftssystem aufzeigen können, technologische Entwicklung und Kompetenz vorantreiben und einen Transformationsprozess zu einem klimafreundlichen Wirtschaftssystem anstoßen können. Den zusätzlichen Investitionen, die auf Seiten der Wirtschaft oder Verbraucher erforderlich wären, stehen durch die Modernisierung und Effizienzsteigerung vielfältige Einsparungen, bspw. von Energiekosten, Betriebs- und Wartungskosten, Versicherungskosten, entgegen, die in vielen Fällen die zusätzlichen Investitionen deutlich kompensieren können.

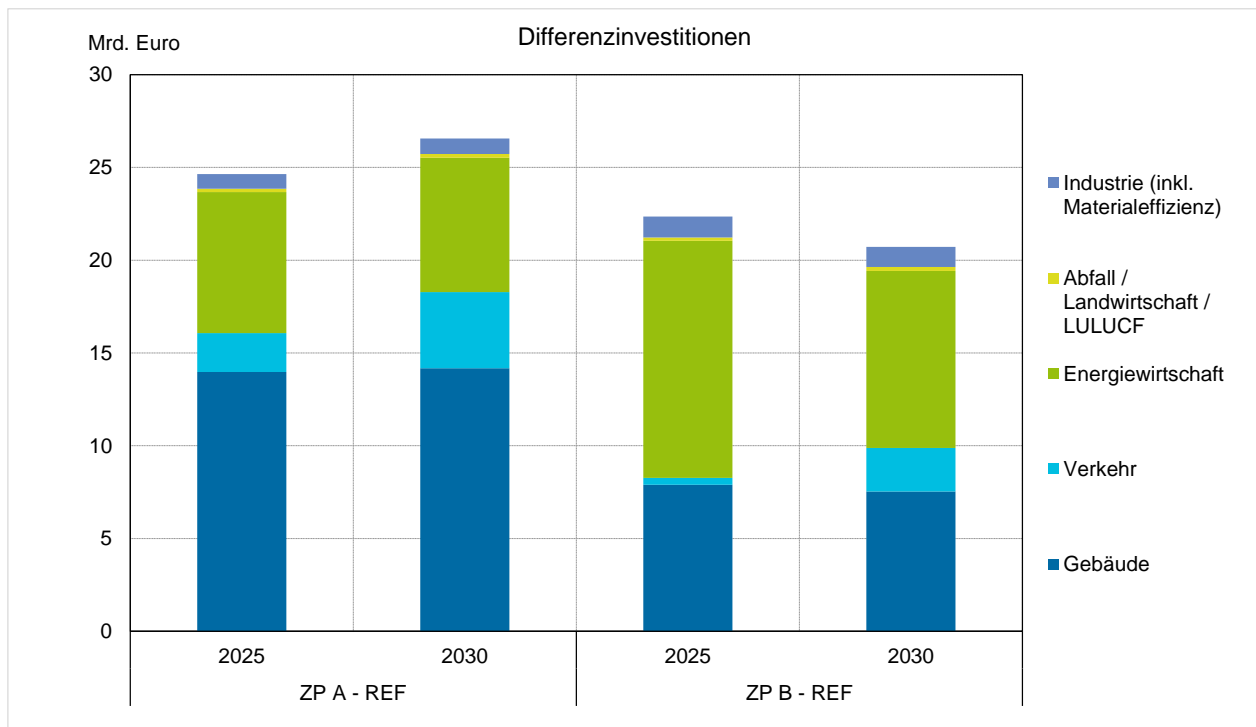
Auf der Investitionsseite ergeben sich zur Erreichung der Sektorziele bis zum Jahr 2030 zusätzliche Investitionsbedarfe in Höhe von ca. 270 Mrd. Euro im Zielpfad A und ca. 240 Mrd. Euro im Zielpfad B (jeweils kumulierte Differenzinvestitionen gegenüber der Referenz im Zeitraum 2018 bis 2030). Abbildung 5-1 stellt die Investitionsimpulse für je zwei Stützjahre (2025 und 2030) dar. Im Zielpfad A liegen die Investitionen bei 23 Mrd. Euro im Jahr 2025 und gut 26 Mrd. Euro im Jahr 2030, in Zielpfad B bei gut 22 Mrd. Euro in 2025 und knapp 21 Mrd. Euro im Jahr 2030.

**Im Zielpfad A** mit einem Schwerpunkt auf Energieeffizienz sind zusätzliche Investitionen insbesondere im Bereich der Gebäudesanierung nötig (kumuliert ca. 160 Mrd. Euro im Zeitraum bis 2030). Die Erreichung der Ziele für erneuerbare Energien in der Energiewirtschaft bedeutet Differenzinvestitionen in Höhe von knapp 80 Mrd. Euro (kumuliert von 2018 bis 2030) im Zielpfad A. Abbildung 5-1 stellt wieder die Investitionsimpulse für je zwei Stützjahre (2025 und 2030) dar. Im Zielpfad A liegen sie im Gebäudesektor bei knapp 14 bzw. leicht über 14 Mrd. Euro in den Stützjahren, für die Energiewirtschaft bei 7,5 bzw. 7,8 Mrd. Euro.

**Im Zielpfad B** mit einem Schwerpunkt auf strombasierte Technologien in den meisten Handlungsfeldern wird in der Energiewirtschaft noch in weitere erneuerbare Stromerzeugungstechnologien investiert, um die Stromnachfrage der anderen Handlungsfelder zu decken. Damit ergibt sich ein kumulierter Investitionsbedarf von ca. 110 Mrd. Euro bis zum Jahr 2030 bzw. mit Blick auf die Stützjahre 2025 und 2030 ein Investitionsbedarf von 12,5 bzw. knapp 10 Mrd. Euro.

Im Gebäudesektor bedeutet ein stärkerer Schwerpunkt auf strombasierte Wärmeerzeuger, dass weniger Sanierungsinvestitionen durchgeführt werden, so dass die kumulierten Investitionen im Zielpfad B (gegenüber der Referenz) bei ca. 100 Mrd. Euro liegen (mit ca. 7,8 bzw. 7,5 Mrd. Euro in den Stützjahren).

Abbildung 5-1: Investitionsimpulse – Differenzinvestitionen nach Handlungsfeld

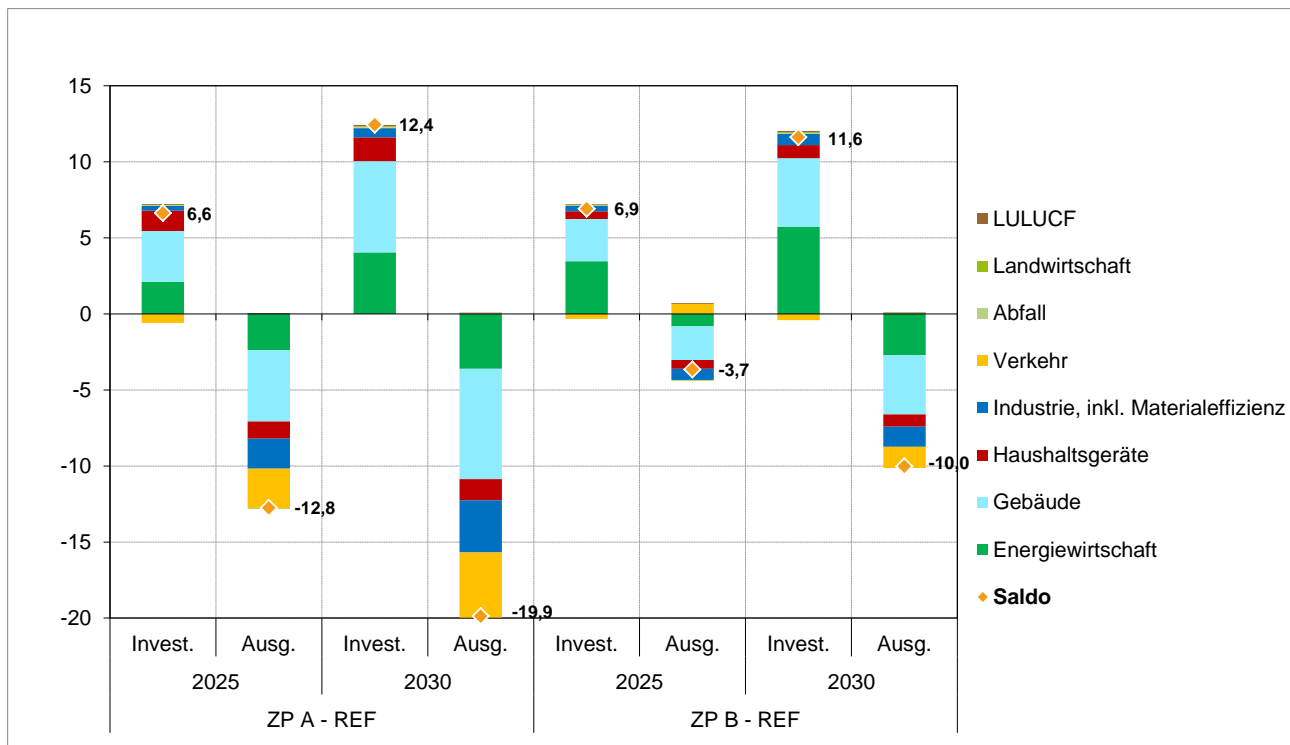


Quelle: Eigene Berechnung

Eine reine Betrachtung der Investitionsbedarfe erlaubt allerdings kein differenziertes Bild über die Belastung der deutschen Wirtschaft oder von Verbrauchern in Folge der Sektorziele. Vielmehr ist von Interesse, inwieweit sich die zusätzlichen Investitionsaufwendungen durch resultierende Einsparungen an Energiekosten, Betriebs-, Wartungs-, Instandhaltungs-, Versicherungs- oder sonstige Kosten ausgleichen und sich damit in einer angemessenen Zeit rentieren bzw. Profit abwerfen.

Um zeitlichen Aspekten gerecht zu werden, da Investitionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen und über unterschiedliche lange Zeiträume zu Veränderungen in Brennstoff- und Betriebskosten führen, werden die Investitionen in jährliche Kosten über die Lebenszeit der Maßnahme umgelegt (Umwandlung in Annuitäten) und den jährlich anfallenden Einsparungen der Energie- und Betriebs- bzw. sonstigen Kosten gegenübergestellt. Der Saldo ergibt die Nettokosten oder -erlöse der Investitionen pro Jahr (Doll et al. 2008). Abbildung 5-2 stellt diese Betrachtung für zwei Stützjahre 2025 und 2030 dar. Alle bis dahin durchgeführten Investitionen werden über die Lebensdauer der Anlagen mit einer geeigneten Diskontrate von 2% annuisiert. Die im betrachteten Jahr anfallenden Annuitäten werden anschließend aufaddiert. Von dieser Kohorte der Annuitäten werden die im betrachteten Jahr durch die die Investitionen eingesparten Betriebs- und Energiekosten in Summe abgezogen, so dass im Ergebnis die Nettodifferenzkosten für das betrachtete Jahr resultieren.

Abbildung 5-2: Annuitätische Darstellung – Vergleich Investitionen und Ausgaben



Quelle: Eigene Berechnungen

Anmerkung: Annuitäten errechnet mit 2% Diskontrate und individuellen Lebensdauern der Technologien (bspw. Gebäudesanierung 40 Jahre, Kraftstoffumwandlung 30 Jahre, Fahrzeuge 14 Jahre, Strom: Erdgas-KWK 40 Jahre, Erneuerbare Technologien 20 Jahre, Stromnetze 40 Jahre, Materialeffizienz Industrie 15 Jahre)

Es zeigt sich, dass die Einsparungen in Zielpfad A in beiden Stützjahren deutlich die annuisierten Differenzinvestitionen übersteigt, während dies in Zielpfad B nicht der Fall ist. Ein vertiefter Blick ergibt, dass dies auch für die individuellen Handlungsfelder zutrifft. Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass das gesamte Investitionsaufkommen im Zielpfad A im Jahr 2030 höher ist als im Zielpfad B.

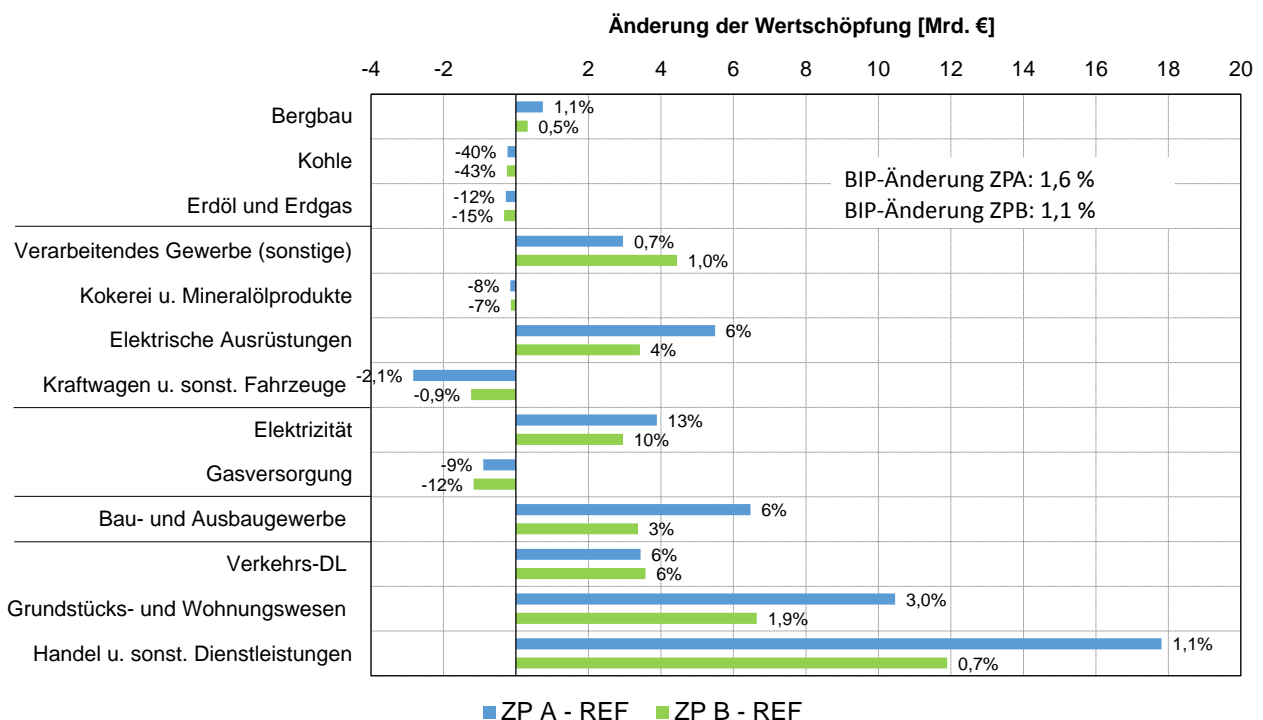
Aus der Mikroperspektive lässt sich festhalten, dass Zielpfad A eine effizienzorientierte, volkswirtschaftlich darstellbare Modernisierung in allen Handlungsfeldern bewirkt. Innovationen und Investitionen werden frühzeitig angestoßen und erlauben Lerneffekte und technologischen Fortschritt, der zu deutlichen Einsparungen führt und Märkte erschließen lässt. Ein anfänglich zusätzlicher Investitionsbedarf bewirkt Einsparungen und wirft über die Zeit eine Rendite ab. Mögliche Hemmnisse, die solchen (Anfangs-)Investitionsaktivitäten entgegenstehen, unterscheiden sich zwischen den Handlungsfeldern und können durch geeignete politische Maßnahmen adressiert werden, die jedoch nicht Teil dieser Folgenabschätzung sind.

## 5.2. Bruttoinlandsprodukt, Wertschöpfung und Beschäftigung

Die Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Folgen baut auf der Integration der einzelnen Sektoren auf und wird mit dem Modell ISI-Macro ermittelt. In das Modell ISI-Macro gehen unterschiedliche Impulse aus den Sektoren ein, die sich in Veränderungen der Endnachfrage (in Form von Investitionen und privatem Konsum) und Veränderungen der Lieferungen zwischen Wirtschaftszweigen (in Form von Veränderungen der Vorleistungsmatrix) einteilen lassen. Veränderungen der Impulse und der Interaktionseffekte aus dem Zusammenspiel zwischen Investitionen, Konsum und Vorleistungen beeinflussen die Bruttowertschöpfung.

Beide Zielpfade zeigen ein etwas stärkeres Wirtschaftswachstum im Vergleich zur Referenz. Das Bruttoinlandsprodukt des Zielpfads A ist im Jahr 2030 1,6 % höher als in der Referenz und im Zielpfad B 1,1 % höher. Das höhere Wirtschaftswachstum kann insbesondere durch das erhöhte Investitionsniveau sowie durch den Nachfragerückgang nach importierten fossilen Energieträgern erklärt werden. Absolute und relative Veränderungen der Bruttowertschöpfung in den Zielpfaden gegenüber der Referenz in 2030 sind für einzelne Wirtschaftszweige in Abbildung 5-3 dargestellt.

**Abbildung 5-3: Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen - Veränderungen gegenüber der Referenz in 2030**

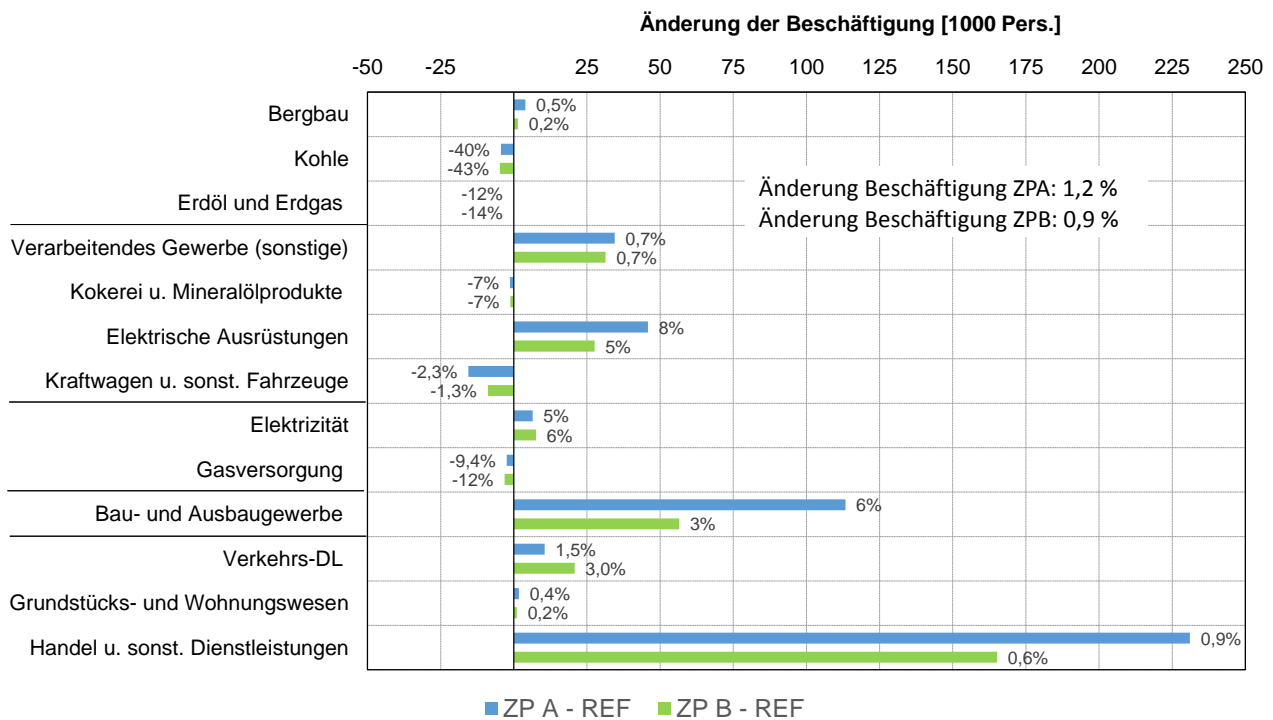


Quelle: Eigene Berechnungen

Aus den Veränderungen der Produktionsleistungen der einzelnen Sektoren können nicht nur die Wertschöpfung und das Bruttoinlandsprodukt abgeleitet, sondern auch der Arbeitskräftebedarf dargestellt werden. Hierzu werden unter Berücksichtigung der sektoralen Produktivität die Veränderungen auf der Erwerbstätigenseite ermittelt. Die Beschäftigungseffekte sind analog zu den Wertschöpfungseffekten positiv. Die relative Beschäftigtenänderung gegenüber der Referenz ist in Abbildung 5-4 für einzelne Wirtschaftssektoren dargestellt. Sie fällt etwas geringer aus, als für das BIP, das heißt die Zielpfade sind durch eine etwas höhere Produktivität gekennzeichnet im Vergleich zur Referenz. Wie für die Wachstumseffekte gilt auch hier, dass die 427.000 (ZPA) bzw. 307.000 (ZPB) zusätzlichen Beschäftigten in 2030 als Potential basierend auf dem Arbeitskräftebedarf anzusehen sind.



**Abbildung 5-4: Beschäftigung nach Wirtschaftsbereichen - Veränderungen gegenüber der Referenz in 2030**



Quelle: Eigene Berechnungen

Interpretation bezogen auf Handlungsfelder

Bezogen auf die Handlungsfelder zeigen sich direkte und indirekte Wertschöpfungs- und Beschäftigungsimpulse in verschiedenen Wirtschaftszweigen. Für den Handlungsbereich Verkehr zeigt sich, dass es zwar einen Rückgang in der Fahrzeugproduktion von konventionellen Fahrzeugen gegenüber der Referenz gibt (Wirtschaftszweig Kraftwagen und sonstige Fahrzeuge), gleichzeitig aber andere Wirtschaftszweige (bspw. der Wirtschaftszweig elektrische Ausrüstungen) durch die verstärkte Herstellung von elektrischen Fahrzeugen und der Nachfrage nach entsprechenden Komponenten (Batterien, Ladeinfrastruktur) stärker profitieren. Ebenso ist durch Verlagerung ein verstärkter Impuls für Verkehrsdienstleistungen zu beobachten, so dass mögliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungsrückgänge im Bereich Kraftwagen und sonstige Fahrzeuge durch positive Impulse in anderen Wirtschaftszweigen ausgeglichen werden. Eine Voraussetzung für diesen Ausgleich ist, dass entsprechende Wertschöpfungsstrukturen für Batterieherstellung auch in Deutschland aufgebaut und angesiedelt werden und sich positiv wirtschaftlich auswirken.

Im Handlungsfeld Gebäude werden durch den Klimaschutzplan positive Differenzinvestitionen vor allem im Baugewerbe, aber auch im Maschinenbau angeregt. Die geringere Heizenergienachfrage aufgrund der verbesserten Gebäudesanierung führt demgegenüber allerdings zu rückläufigen Impulsen bei den Dienstleistungen der Gasversorgung. Einen positiven Wertschöpfungsimpuls gibt es auch im Bereich der Dienstleistungen für Grundstücks- und Wohnungswesen. Allerdings sind hier auch unterstellte Mieten von Eigentümern unterlegt, so dass diese Einnahmen nicht zu einer Zunahme der Beschäftigung führen. Auch für das Handlungsfeld Gebäude bilden die Impulse über alle Handlungsfelder verteilt positive Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte.

Die Strategien im Handlungsbereich Energiewirtschaft sorgen für einen positiven Effekt des Produktionswertes im Wirtschaftsbereich Elektrizitätswirtschaft. Daneben gibt es noch positive Effekte in an der Wertschöpfungskette für Erneuerbare Energien (Herstellung wie auch Instandhaltung) und am Netzausbau beteiligten Bereichen (Elektrische Ausrüstungen für Turbinen und Infrastruktur, sonstiges verarbeitendes Gewerbe für Baumaterialien für Windenergieanlagen). Dem gegenüber steht eine verringerte Nachfrage nach fossilen Energieträgern, die sich in reduzierten Importen sowie in reduzierter Wertschöpfung und Beschäftigung im heimischen Kohlesektor zeigt. Die Verschiebungen in den Investitionen durch die Unterschiede im Kraftwerksbau sind dabei nicht so ohne weiteres aufzurechnen: in der Bewertung spielt auch die unterschiedliche Arbeitsproduktivität in den einzelnen Sektoren eine Rolle. Unsicherheiten bestehen dabei sowohl in der Weitergabe der Investitionen auf den Strompreis als auch in der Entstehung von zusätzlichen Rückstellungen und deren Effekte auf die Wertschöpfung.

Im Handlungsfeld Industrie ergibt sich eine höhere Wertschöpfung und Beschäftigung durch Energie- und Materialeinsparungen in einzelnen Bereichen des verarbeitenden Gewerbes, analog dazu jedoch auch ein Rückgang in energie- und materialbereitstellenden Bereichen. Insgesamt weist der Wirtschaftszweig „Sonstiges verarbeitendes Gewerbe“ positive Impulse auf. Im Handlungsfeld Landwirtschaft werden durch die Umnutzung der Flächen keine Wertschöpfungs- oder Beschäftigungseffekte generiert.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die Effekte für jeden Handlungsbereich über verschiedene Wirtschaftszweige verteilt sind und immer in der Gesamtschau betrachtet werden müssen, um ein aussagekräftiges Bild zu erhalten.

## 6. Weitere ökonomische Effekte

### 6.1. Umwelt- und Gesundheitseffekte und externe Kosten

#### 6.1.1. Umwelt- und Gesundheitseffekte

Umwelt- und Gesundheitseffekte werden im Rahmen der Folgenabschätzung für Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffemissionen, Schwermetallemissionen, Nährstoffeinträge, Flächennutzungsänderungen, Biodiversität und Lärm betrachtet. Methodisch orientiert sich das Vorgehen am vom Umweltbundesamt herausgegebenen Leitfadens zur Nutzen-Kosten-Abschätzung umweltrelevanter Effekte in der Gesetzesfolgenabschätzung (Porsch et al. 2014).

Eine quantitative Bewertung der beiden Zielpfade im Vergleich zum Referenzszenario wurde (neben den THG-Emissionen) vorgenommen für:

- Emissionen von Luftschadstoffen & Schwermetallen: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, flüchtige Kohlenwasserstoffe (NMVOC), NH<sub>3</sub>, Feinstaub PM<sub>2,5</sub>, Quecksilber,
- Stickstoffeinträge der Landwirtschaft in den Boden,
- Flächennutzungsaspekte (Wald, Moore, Windenergie).

Gegenüber dem Referenzpfad führen beide Zielpfade zu spürbaren Verbesserungen der Belastungssituation in fast allen betrachteten Dimensionen. Die Entlastungen liegen meist in der Größenordnung von 5 bis 30 %. Eine Ausnahme ist die Flächeninanspruchnahme der Windenergie, die in Zielpfad A bzw. B bis 2030 um etwa 15 bzw. 30 % über der Referenz liegt.

Im Vergleich der beiden Zielpfade sind Zielpfad A und Zielpfad B ökologisch gesehen nahezu gleichwertig. Zielpfad A hat leichte Vorteile, wegen niedrigerer Feinstaubemissionen und einem geringeren Bedarf an Windenergieflächen.

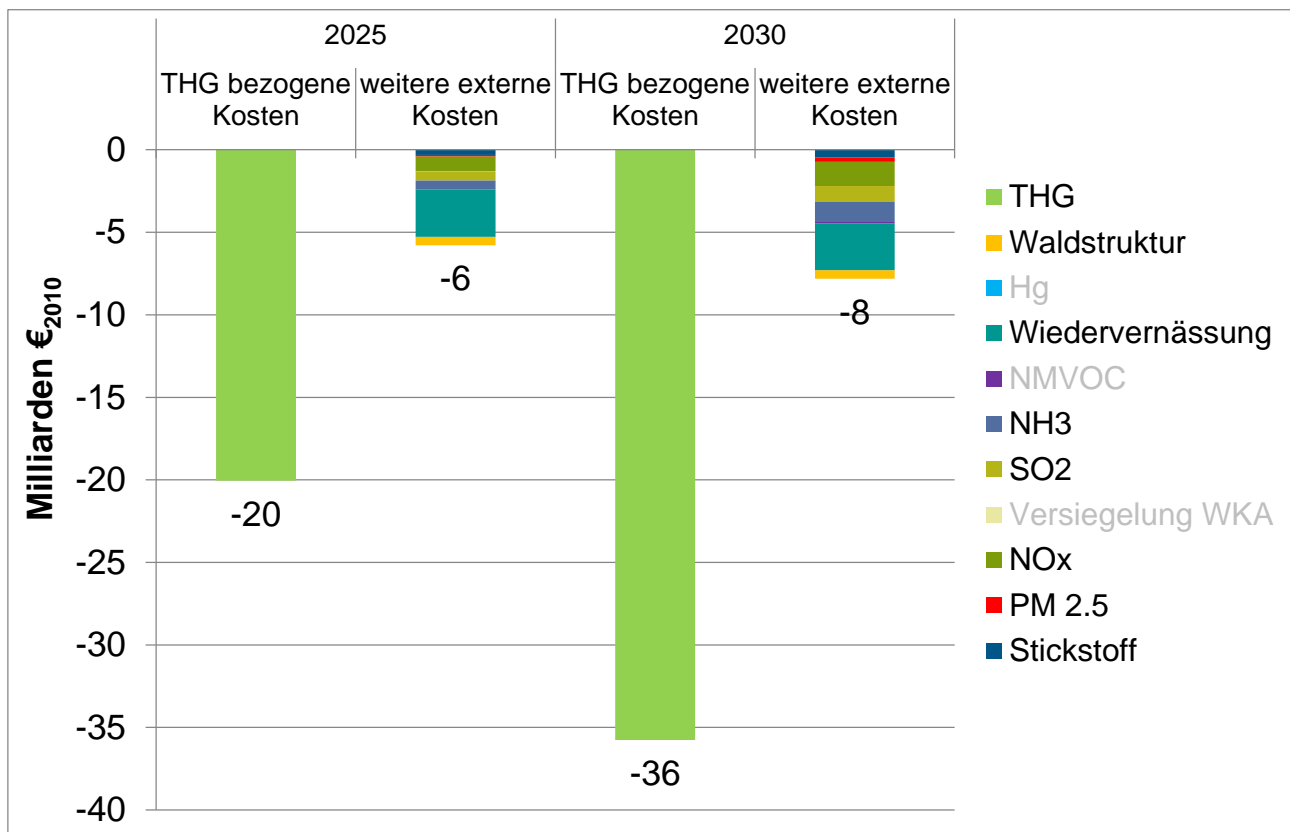
### 6.1.2. Externe Kosten

Die quantifizierten Umwelt- und Gesundheitseffekte wurden gemäß der methodischen Vorgaben aus (Porsch et al. 2014) in vermiedene externe Kosten umgerechnet. Dabei wurden die aktuellsten verfügbaren Kostensätze für Umweltkosten gemäß der Methodenkonvention 3.0 (Umweltbundesamt (UBA) 2018) berücksichtigt.

Die ökologischen Vorteile der Zielpfade gegenüber dem Referenzpfad übersetzen sich für 2025 in vermiedene externe Kosten von etwa 26 Milliarden Euro, für 2030 von etwa 43 Milliarden Euro (Abbildung 6-1). Dies gilt angesichts der geringen Unterschiede in der ökologischen Bewertung sowohl für Zielpfad A als auch für Zielpfad B.

Der Großteil der vermiedenen Kosten ist mit ca. 80% in der Reduktion der THG-Emissionen begründet. Die übrigen quantitativ relevanten Kostenkategorien sind Flächenaufwertungen (Wiedervernässung und Waldbewirtschaftung), verminderte Stickstoffeinträge in den Boden sowie verringerte Emissionen der Luftschadstoffe NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> und Feinstaub.

**Abbildung 6-1: Vermiedene externe Kosten in den Zielpfaden gegenüber dem Referenzszenario**



Quelle: Eigene Berechnungen

Anmerkung: Quantitativ nicht sichtbare Kostenbeiträge sind in der Legende grau gekennzeichnet

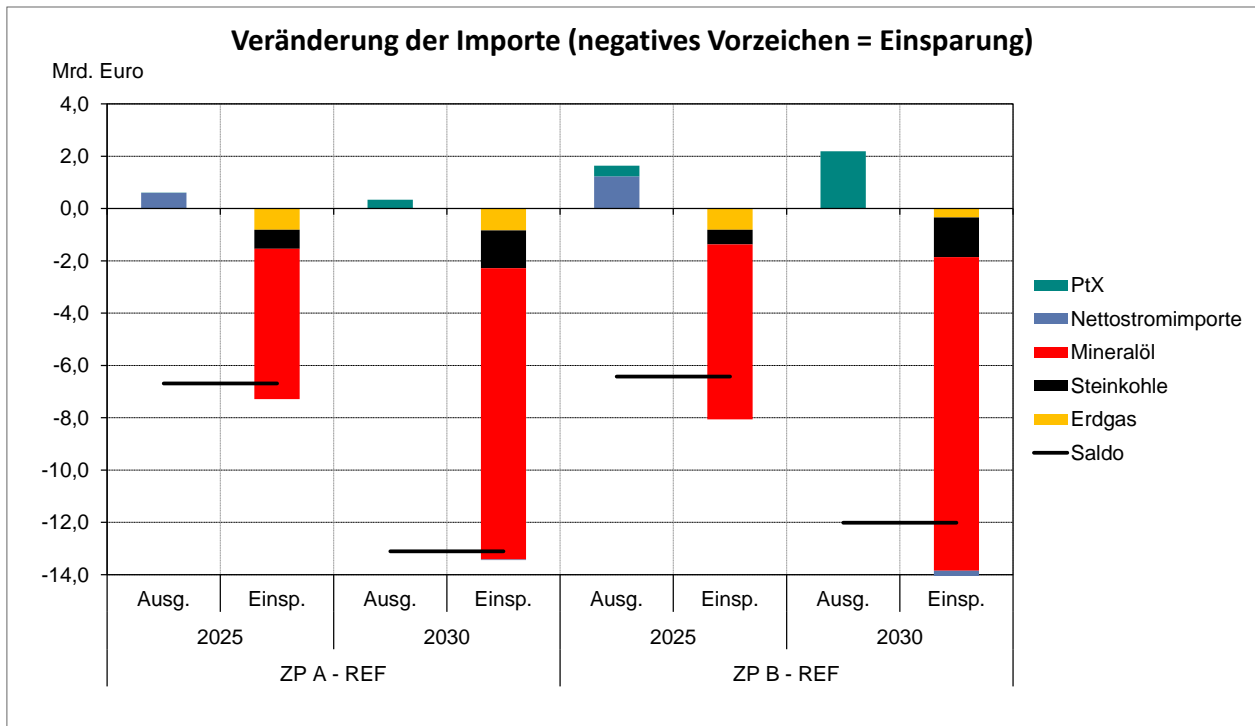
### 6.2. Importabhängigkeit

Die Zielpfadkombinationen bewirken Veränderungen der End- und Primärenergienachfrage, die sich auch auf die Energieimporte auswirken. Im Jahr 2015 wurde 97% der Mineralölverbräuche, 90% der Erdgasverbräuche und 89% der Steinkohle importiert (AGEB 2017). Da die Steinkohleförderung in Deutschland im

Jahr 2018 ausläuft, steigt die Importquote auf 100% an. Entsprechend der Veränderungen der Primärenergie nachfrage in den Zielpfaden und der erwarteten Importquoten, verringert sich der Import im Jahr 2030 von Steinkohle um 46% in ZP A und um 48% in ZP B gegenüber dem Jahr 2015, von Mineralöl um 28% in Zielpfad A und 30% in Zielpfad B, von Erdgas um 11% in ZP A und 19% in ZP B. Strombasierte Kraftstoffe werden annahmegemäß bis zum Jahr 2030 komplett importiert.

Aus ökonomischer Sicht sind die Zahlungsströme von Bedeutung, die durch den Handel ins Ausland gehen. Abbildung 6-2 stellt daher die Veränderungen der monetär bewerteten Energieimporte gegenüber der Referenzentwicklung dar. Den kleinen zusätzlichen Ausgaben für PtX und Importstrom stehen deutlich größere Einsparungen im Bereich der fossilen Energieträger, vor allem für Mineralöl, gegenüber. Die Nettoeinsparungen an Importen betragen im Jahr 2030 13 Mrd. Euro in Zielpfad A und 12 Mrd. Euro in Zielpfad B gegenüber der Referenz.

**Abbildung 6-2: Importabhängigkeit (Energieträger)**



Quelle: eigene Berechnungen

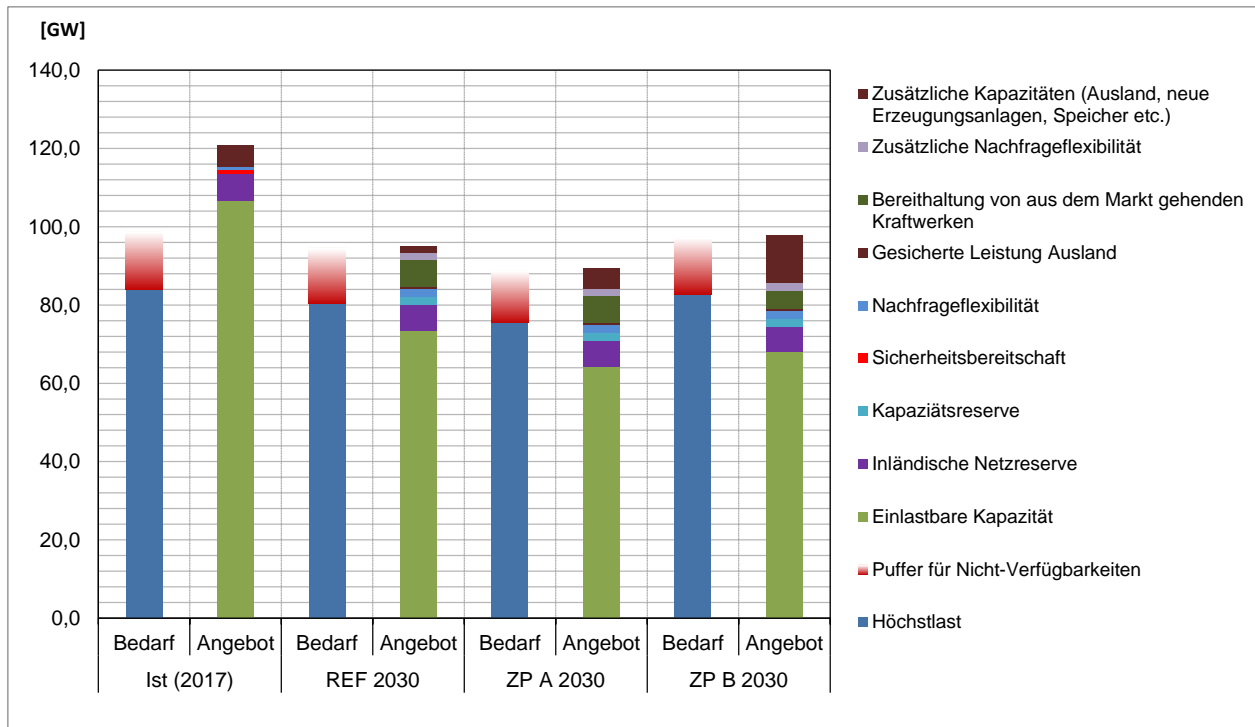
### 6.3. Versorgungssicherheit

Die Gewährleistung eines hohen Niveaus im Bereich der Versorgungssicherheit betrifft unterschiedliche Dimensionen, von denen im Rahmen der Folgeabschätzung nur die bedarfsgerechte Auslegung des Stromsystems betrachtet wird. Fragen von Versorgungszuverlässigkeit und Systemsicherheit, die im Wesentlichen den Bereich der Verteil- und Transportnetze betreffen, wurden dagegen nicht vertieft analysiert.

Die umfassende Bewertung der Versorgungssicherheit erfolgt im Rahmen des entsprechenden Monitorings nach §51 EnWG, in dem umfassende Varianten- und Wahrscheinlichkeitsrechnungen erfolgen, die sich auf den integrierten europäischen Strommarkt beziehen. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der Folgen-

abschätzung eine vereinfachte Analyse zur bedarfsgerechten Auslegung des Stromerzeugungssystems durchgeführt.

Abbildung 6-3: Versorgungssicherheit



Quelle: Eigene Berechnung

Die schrittweise Umstellung des deutschen Stromsystems auf vor allem variable erneuerbare Erzeugungsoptionen (On- und Offshore-Windenergie, Solaranlagen) und der im Zeitraum bis 2030 erfolgende schrittweise Abbau der CO<sub>2</sub>-intensiven Kohleverstromung geht mit einem Rückgang der einlastbaren, d.h. nicht vom Wind- und Solardargebot abhängigen Kraftwerkskapazitäten (Kernkraftwerke, Stein- und Braunkohlekraftwerke, Erdgas- und sonstige fossil betriebene Kraftwerke, Wasserkraft- und Biomasseanlagen) einher.<sup>12</sup> Im Referenz-Szenario sinkt die einlastbare Netto-Kraftwerkskapazität von ca. 107 GW auf 94 GW im Jahr 2020 sowie 79 bzw. 73,5 GW in den Szenariojahren 2025 und 2030. In den beiden Zielpfad-Szenarien gehen die einlastbaren Kraftwerkskapazitäten auf 72 bzw. 73 GW im Szenariojahr 2025 sowie 64 bzw. 68 GW im Szenariojahr 2030 zurück.

Demgegenüber steht ein im Vergleich zum aktuellen Stand für das Referenz-Szenario nur wenig veränderter Spitzenlastbedarf, der sich im Szenariozeitraum bis 2030 in der Bandbreite von 80 bis 86 GW bewegt. Im stark auf Energie- und Stromeffizienz fokussierten Zielpfad-Szenario A geht der Spitzenlastbedarf parallel zur Stromnachfrage von 2017 bis 2025 bzw. 2030 auf etwa 79 bzw. 75,5 GW zurück. Für den Zielpfad B mit einem höheren Strombedarf ergeben sich für die Zeithorizonte 2025 und 2030 Referenzniveaus von 85 bzw. 83 GW für die Bewertung der bedarfsgerechten Auslegung des Stromsystems.

<sup>12</sup> An dieser Stelle bleibt unberücksichtigt, dass durch die Ausnutzung von Durchmischungseffekten, insbesondere bei der Windenergie, konventionelle Kapazitäten eingespart werden können. Bei einer europäischen Betrachtung ist dieser Effekt deutlich größer ausgeprägt als bei einer rein nationalen Betrachtung.

Unter Berücksichtigung der notwendigen Puffer für Nichtverfügbarkeiten etc. im Bereich der einlastbaren Kraftwerke sowie den existierenden Reserven bzw. Reserveregelungen (die im Zeitverlauf nach den bisherigen Planungen jedoch zurückgehen) und den wie bisher eingeplanten Beiträgen aus Nachfrageflexibilitäten und Kraftwerkskontrahierungen im Ausland ergibt sich in allen Szenarien ein Bedarf an zusätzlicher gesicherter Kraftwerksleistung. Im Referenzszenario liegt dieser bei etwa 8 GW im Jahr 2025 sowie 10,5 GW im Jahr 2030. Im Zielpfad-Szenario A betragen die entsprechenden Werte ca. 10 GW in 2025 sowie 13 GW in 2030 und im Zielpfad-Szenario B 17 GW für 2025 sowie 19 GW im Jahr 2030.

Für die Deckung dieses zusätzlichen Leistungsbedarfs werden drei unterschiedliche Varianten präsentiert, die wesentlich von ökonomischen Grundüberzeugungen bzw. politischen Grundsatzentscheidungen abhängen. In einem ersten, „integrationsintensiven“ Pfad wird die notwendige gesicherte Leistung großteils oder vollständig über Portfolioeffekte mit den verbundenen ausländischen Stromsystemen bzw. -märkten gesichert. In Ergänzung oder alternativ dazu können als zweite Variante über einen „reserveintensiven“ Pfad die Beiträge des Auslandes begrenzt oder ersetzt werden, indem stillzulegende Kraftwerke oder im Zeitverlauf auch Neubaukraftwerke zur Leistungsabsicherung als Reserven vorgehalten werden, ohne dass sie noch am Strommarkt teilnehmen könnten. Die entsprechenden Mechanismen sind im aktuellen Strommarktdesign angelegt bzw. werden aktuell genutzt (Sicherheitsbereitschaft für Kohlekraftwerke, besondere netztechnische Betriebsmittel) und müssten ggf. entsprechend ausgeweitet werden. Wiederum alternativ oder ergänzend könnte drittens das bestehende Strommarktdesign in Richtung eines Systems verändert werden, in dem die Bereithaltung oder Schaffung einlastbarer Kapazitäten bzw. entsprechender Äquivalente auf der Nachfrageseite ausgeschrieben und entsprechende Einkommensströme generiert werden. Auch solche Mechanismen sind zumindest für Teilbereiche existent und werden genutzt (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, Abschaltbare Lasten-Verordnung).

Für das Referenz-Szenario sowie das Zielpfad-Szenario A würde jeder dieser drei Pfade in moderater Ausprägung und damit natürlich auch jede Kombination die zur Gewährleistung eines hohen Niveaus von Versorgungssicherheit ausreichenden einlastbaren Kapazitäten (oder entsprechender Äquivalente auf der Nachfrageseite) schaffen. Für das Zielpfad-Szenario B müssten mindestens zwei der genannten Pfade kombiniert werden, wenn die damit erschließbaren Leistungspotenziale jeweils moderat erschlossen werden sollen.

Die mit den unterschiedlich ausgeprägten Pfadentscheidungen verbundenen Flexibilitäten führen dazu, dass bzgl. der o.g. Varianten Grundsatzentscheidungen kurzfristig nicht unausweichlich sind, aber bis zur Mitte der 2020er Jahre wirksam werden sollten.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass der betrachtete Pfad eines schrittweisen Auslaufens der Kohleverstromung mit Blick auf die Versorgungssicherheit die herausforderndste Variante darstellt. Andere Instrumentierungsvarianten, mit denen auch die Auslastung emissionsintensiver Kraftwerke reduziert bzw. Reboundeffekte durch die Produktionsübernahme in anderen Kraftwerken begrenzt werden können (z.B. jeweils über eine effektive CO<sub>2</sub>-Bepreisung), können in den betrachteten Zeiträumen zu einem geringeren Rückgang der einlastbaren Kraftwerkskapazitäten führen.

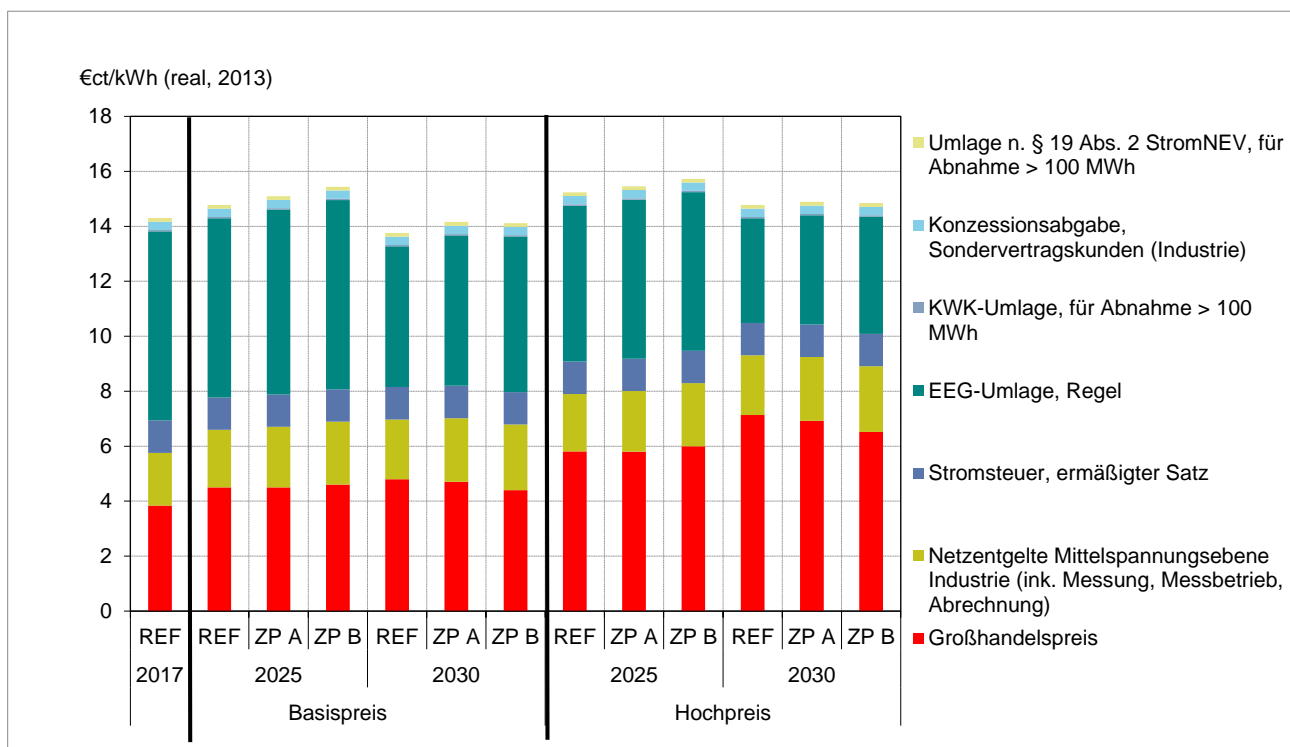
#### **6.4. Wettbewerbseffekte**

Die Folgenabschätzung zeigt, dass die Erreichung der Sektorziele des Klimaschutzplans für die allermeisten Sektoren mit Nettoeinsparungen und damit geringeren Produktionskosten verbunden sein kann, so dass sich eine Verbesserung der preislichen Wettbewerbssituation einstellen kann. Klimaschutz bietet die Chance, Zukunftstechnologien in Deutschland anzusiedeln. Unternehmen können neue Exportchancen erschließen. Die meisten Wettbewerbsfaktoren (wie z.B. Kapital, Lohn, Rohstoffe, Bekanntheitsgrad / Vernetzung, Standort, Produkte (Spezialisierung)) werden kaum negativ durch Klimaschutzaktivitäten beeinflusst.

In einigen wenigen Sektoren können Klimaschutzkosten jedoch Wettbewerbs- und Standortnachteile verstärken. Dem wird derzeit dadurch entgegen gewirkt, dass die Industrie von einem Großteil der Klimaschutzkosten ausgenommen ist. Langfristig sind Ausnahmen jedoch nicht tragfähig. Politische Maßnahmen müssen derart gestaltet werden, dass sie Innovationen und Investitionen anreizen, eine Lenkungswirkung entfalten und somit Unternehmen und Verbraucher nachhaltig einen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. Generell sind potentielle Verzerrungen der Wettbewerbsfähigkeit durch nationalen Klimaschutz maßgeblich von den Klimaschutzbemühungen anderer Staaten abhängig. Hier schafft die Umsetzung des Abkommens von Paris weltweit vergleichbare Bedingungen.

In der Folgenabschätzung wurde ein besonderes Augenmerk auf die Energiepreise gelegt, die sich in den Zielpfaden ergeben und eine mögliche Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit andeuten können. Abbildung 6-4 und Abbildung 6-5 zeigen die Strompreise für nicht-energieintensive und energieintensive Industrien jeweils für die Referenzentwicklung und die Zielpfade sowie für den hier unterlegten Rahmendatensatz und eine Hochpreisvariante für Energieträger. Im Basis- sowie im Hochpreisszenario sinken die Strompreise für die nicht-energieintensive Industrie im Zeitverlauf sowohl in der Referenz als auch in den Zielpfaden. Der Unterschied zwischen der Referenz und den Zielpfaden ist marginal. Für die energieintensive Industrie liegt der Strompreis in den Zielpfaden sogar unter denen der Referenzentwicklung. De facto sieht sich die Industrie keiner Verzerrung der Preissituation gegenüber.

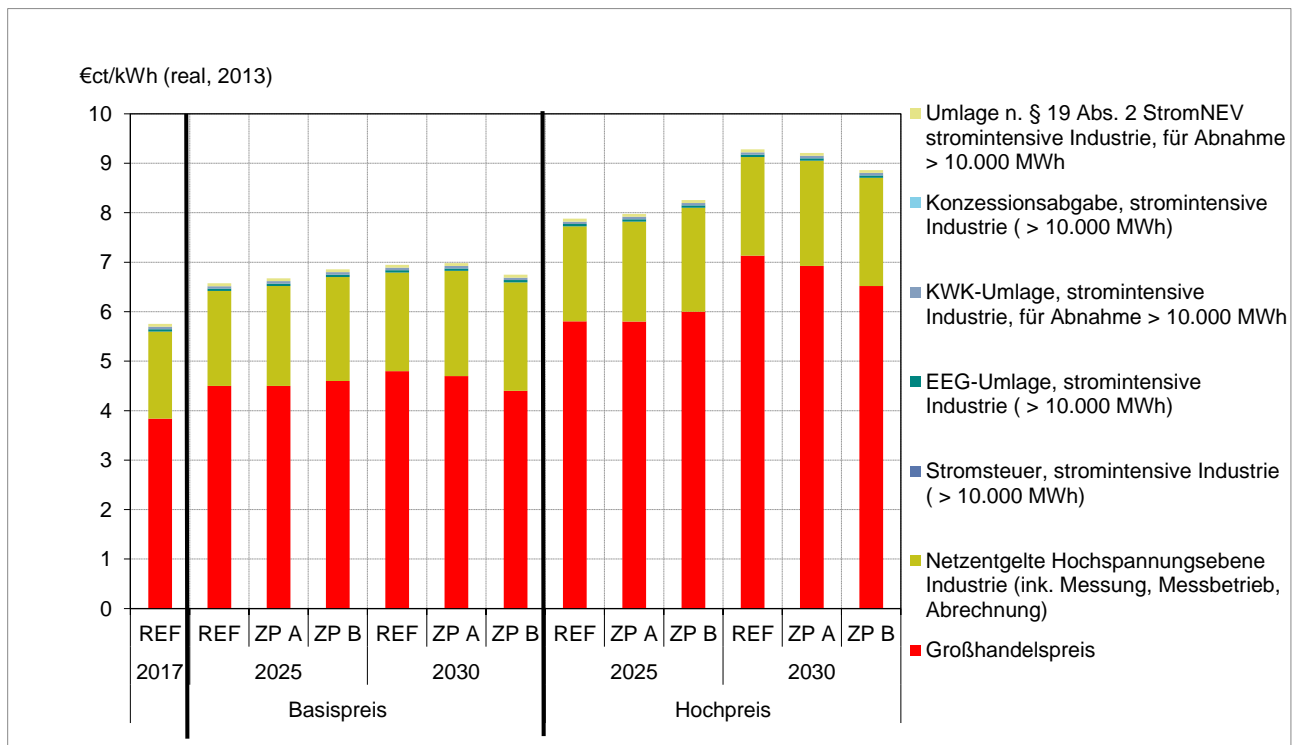
**Abbildung 6-4: Industriestrompreis in der nicht-energieintensiven Industrie in Referenz und Zielpfaden**



Quelle: Eigene Berechnung



Abbildung 6-5: Industriestrompreis in der energieintensiven Industrie in Referenz und Zielpfaden

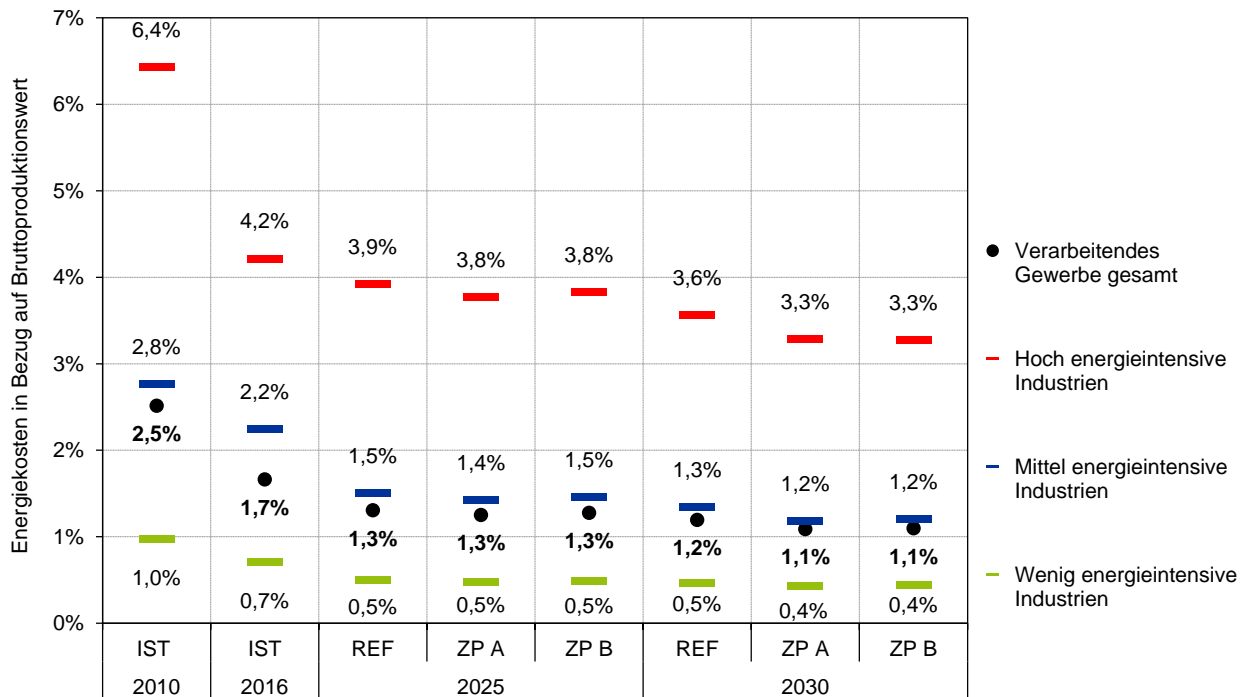


Quelle: Eigene Berechnung

Energiepreise als isolierter Indikator haben jedoch nur einen begrenzten Erklärungswert für die Einordnung der (internationalen) Wettbewerbsfähigkeit. Deutlich aussagekräftiger ist hier die Entwicklung der Energiestückkosten, d.h. der auf den Produktionswert bezogenen Energiekostenbelastung. Auf der Basis einer ökonomisch ermittelten realen Energiekostenbelastung, d.h. unter Berücksichtigung der in den verschiedenen Sektoren real entstehenden Kosten mit Blick auf Großhandelspreise, Handelsmargen, Steuern, Abgaben, Entgelte und Umlagen sowie der unter Berücksichtigung von Energieeffizienz etc. entstehenden Energieträgerbezüge für die verschiedenen Sektoren des verarbeitenden Gewerbes und der Entwicklung der sektoralen Wertschöpfung wurden für drei Gruppen des verarbeitenden Gewerbes die Energiestückkosten ermittelt.

Die historisch beobachteten Werte für die Energiestückkosten (Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert) sinken in allen Szenarien für die Zeithorizonte 2025 und 2030 und sowohl für die hoch-, mittel- als auch die wenig energieintensiven Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes bzw. im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt deutlich ab. Im auf Energieeffizienz fokussierten Zielpfad A liegen alle Energiestückkosten leicht unter den Werten für Zielpfad B und alle Werte für dieses Szenario liegen unter denen für das Referenzszenario.

**Abbildung 6-6: Energiestückkosten für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt und unterschiedliche Sektorgruppen, 2010-2030**



Quelle: Eigene Berechnung

Für die hoch-energieintensiven Industriesektoren sinken die Energiestückkosten von den letzten in der amtlichen Statistik berichteten Werten für das Jahr 2016, d.h. einem Niveau von 4,2% auf Werte von 3,8 bis 3,9% im Jahr 2025 sowie 3,3 bis 3,6% im Jahr 2030. Für die mittel-energieintensiven Industriesektoren gehen die Energiestückkosten deutlich stärker, d.h. von 2,2% im Jahr 2016 auf Werte von 1,4 bis 1,5% im Jahr 2025 sowie um 1,3% im Jahr 2030 zurück. Für die wenig energieintensiven Industriesektoren reduzieren sich die Energiestückkosten von 0,7% auf Werte im Bereich von 0,4 bis 0,5% in den verschiedenen Szenariojahren. Werden die Energiestückkosten auf Basis von Bruttowertschöpfung an Stelle des Bruttoproduktionswerts ermittelt, ergeben sich identische Entwicklungsdynamiken.

## 7. Bewertung der Pfade und Schlussfolgerung

In der Gesamtbewertung der Zielpfade lässt sich festhalten, dass beide insgesamt positive wirtschaftliche Effekte aufweisen. Unterschiede zeigen sich zwischen den Zielpfaden, teilweise aber auch im Zeitverlauf bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus. Zusammengefasst stellt Zielpfad A den robusteren Pfad in Hinblick auf das langfristige, treibhausgasneutrale Minderungsziel in 2050 dar. Er ebnet den Weg für eine innovative Transformation über das Jahr 2030 hinaus.

### Einordnung Zielpfad A

Zielpfad A ist auf eine effizienzorientierte Modernisierung der Wirtschaft in allen Sektoren ausgelegt. Dadurch werden Innovationen und Investitionen angestoßen, die technologischen Fortschritt stimulieren und Lerneffekte erlauben. Gleichzeitig können mit den Innovationen Märkte frühzeitig erschlossen oder Marktpositionen verbessert werden, mit positiven Effekten für die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen.

Zielpfad A verringert durch die Effizienzorientierung die Endenergienachfrage deutlich. Dies erhöht die Klimaschutzwirkung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung auf Basis von Windkraft und Photovoltaik und begrenzt die Notwendigkeit zusätzliche Biomassepotenziale verfügbar zu machen. Dem Investitionsbedarf in Zielpfad A stehen deutliche Einsparungen gegenüber, die über die Zeit eine Rendite abwerfen. Zielpfad A stellt sich sowohl in den einzelnen Sektoren als auch in ihrer Interaktion in der Gesamtwirtschaft positiver dar als Zielpfad B.

#### *Einordnung Zielpfad B*

Zielpfad B ist auf eine Wirtschaftsstruktur mit hohem Strom- und Biomassebedarf ausgerichtet. In allen Sektoren werden Investitionen in strombasierte Technologien oder treibhausgasarme Brennstoffe durchgeführt. Effizienzpotentiale werden weniger stark als in ZP A genutzt oder werden nur zweitrangig zur Erreichung der Sektorziele berührt. Dadurch konzentrieren sich die Investitionen auf die Energiewirtschaft, weitere Innovationspotentiale in anderen Sektoren bleiben teilweise ungenutzt, so dass auch entsprechende Märkte nicht erschlossen werden. Auch wenn der inländische Investitionsbedarf leicht unter dem des effizienzorientierten Zielpfads A bleibt, stehen den Investitionen geringere Einsparungen von Brennstoff- bzw. Betriebskosten gegenüber, so dass im Saldo eine geringere Rendite erzielt werden kann. Dies spiegelt sich auch in den gesamtwirtschaftlichen Effekten sowie den Beschäftigungseffekten wider, die im Zielpfad B hinter denen des Zielpfads A zurückbleiben. Darüber hinaus wird durch den verstärkten Einsatz von PtX die Importabhängigkeit von anderen Ländern erhöht. Ebenso erhöht der Einsatz (und Import) von PtX den Strombedarf im Ausland mit möglichen ökologischen Folgen.

#### *Klimaschutz erfordert entschlossene Mobilisierung von Innovationen und Investitionen*

Selbstverständlich stellen sich für die Umsetzung beider Zielpfade Herausforderungen, die nicht übergangen werden dürfen und Hinweise für ein mögliches Maßnahmenprogramm liefern können. Im Vordergrund steht für beide Zielpfadkombinationen, dass eine deutliche Mobilisierung bzw. Stimulation von zusätzlichen Innovationen und Investitionen nötig ist, um die Pfade zu begehen. Gerade im Bereich der Gebäudesanierung und Infrastruktur für Elektromobilität fallen Investitionen anfangs an, denen erwartete Einsparungen erst über die Zeit gegenüberstehen und eine Rendite versprechen. Mögliche Hemmnisse, die diesen nötigen (Anfangs)-Investitionsaktivitäten entgegenstehen, unterscheiden sich zwischen den Sektoren und bedürfen unterschiedlicher Stimulationsstrategien. Impulse der aktuellen Politik reichen hier nicht aus, um die klimapolitische Zielsetzung zu erreichen. Daher sind zusätzliche Politikmaßnahmen zwingend erforderlich.

#### *Langfristige Perspektive in den Vordergrund rücken: Ziele für 2030 müssen im Einklang mit Langfristzielen sein*

Herausforderungen ergeben sich auch in Hinblick auf eine längerfristige Perspektive. Ein Blick oder Hinwirken alleine auf das Zieljahr 2030 für die Sektorziele reicht nicht aus, um das langfristige Treibhausgasminde- rungsziel der Bundesregierung oder im Sinne des Pariser Klimaschutzabkommens zu erreichen. Dies bedeutet, dass auf das Jahr 2030 ausgerichtete Strategien zu Lock-in Effekten führen können, die kurzfristig zwar günstiger scheinen, aber langfristig höhere Kosten mit sich bringen. Um langfristig effektiv und effizient Klimaschutz zu stimulieren, müssen daher Gelegenheitsfenster, wie Ohnehin-Erneuerungen, und Dynamiken von teilweise sehr langen Investitionszyklen optimal genutzt werden. Parallel muss Forschung und Entwicklung kontinuierlich vorangetrieben werden, um für die Zeit nach 2030 vorbereitet zu sein.

#### *Den Übergang bewältigen: Strukturwandel/Beschäftigung/Soziales*

Um den Übergang in eine treibhausgasneutrale Ökonomie zu ermöglichen, sind neue emissionsarme Technologien ebenso nötig, wie Veränderungen in Wirtschaftsstrukturen, in Berufsspektren und in Routinen des alltäglichen Lebens. All diese Veränderungen stellen Herausforderungen an Akteure auf allen Ebenen dar und erfordern Strategien und Ideen, diese zu bewältigen. Neue Technologien erfordern den Aufbau neuer

(oder die Anpassung bestehender) inländischer Wertschöpfungsstrukturen. Als prominentes Beispiel sei hier die Elektromobilität genannt. Für den Übergang sind verstärkt Fachkräfte und Experten gefragt, deren Ausbildung und gezielte Beschäftigung sichergestellt werden muss. Schon heute übersteigt die Nachfrage nach Fachkräften für bspw. Gebäudesanierung die bestehenden Kapazitäten. Auch regionale oder strukturelle Veränderungen müssen bewältigt werden. Der Wegfall von Beschäftigungsfeldern mit regionalen Auswirkungen erfordert die Schaffung neuer Perspektiven für betroffene Regionen und Branchen (Braunkohle, Fahrzeugbau). Soziale Aspekte müssen berücksichtigt und Verzerrungen vermieden werden.

#### *Sektorübergreifend denken*

Auch auf der Ebene von Ressourcen oder begrenzter Verfügbarkeit von Vorleistungen und Produkten stellen sich Herausforderungen, die sektorübergreifend angegangen werden müssen. Prominente Beispiele stellen eine begrenzte Verfügbarkeit an Biomasse als treibhausgasneutraler Brennstoff in verschiedenen Darreichungsformen oder Strom aus erneuerbaren Energien als klimafreundliche Alternative dar. Ein systemischer Ansatz muss gewählt werden, um konkurrierende Bedarfe zu erfüllen und alternative Ansätze und Investitionen zu befördern.

#### *Schlussfolgerungen für ein Maßnahmenprogramm 2030*

Einige dieser Herausforderung können durch den Markt selbst gelöst werden. Viele Unternehmen warten aber auf ein verlässliches Signal der Bundesregierung und stehen bereit, in klimaschutzfreundliche Technologien oder Ansätze zu investieren oder sind hier bereits aktiv darin. Andere Herausforderungen benötigen Stimulation und Planungssicherheit, um Handeln zu induzieren. Daraus ergeben sich Schlussfolgerungen für die Erarbeitung eines Maßnahmenprogramms für die Sektorziele 2030 des Klimaschutzplans mit Perspektive in das Jahr 2050. Die Folgenabschätzung hebt hervor, dass sich eine Strategie mit Betonung auf Energieeffizienz volkswirtschaftlich vorteilhaft darstellt. Sie hebt auch hervor, dass frühzeitiges Handeln notwendig ist, insbesondere hinsichtlich Infrastruktur mit langen Planungszeiträumen und Lebensdauern. Zur Überwindung von Investitions- und Umsetzungshemmnissen können und sollten Maßnahmen konzipiert werden, die entsprechende Anreize setzen. Diese Maßnahmen müssen auch sektorübergreifend ausgerichtet sein, um Konkurrenzen in Biomassenutzung, Stromeinsatz, Infrastrukturentwicklung aufzulösen. Hier kommt der im Klimaschutzplan vorgesehene Umgestaltung von Abgaben und Umlagen sowie Maßnahmen zur Bepreisung von Treibhausgasemissionen eine große Bedeutung zu. Als besonders wichtig wird erachtet, dass Politiken und Maßnahmen für alle Akteure transparent und glaubhaft sind und Planungssicherheit bieten, um ihre Lenkungswirkung zu entfalten. Dazu gehört auch, dass sie effektiv und effizient ausgestaltet sind und soziale Effekte und Verteilungseffekte berücksichtigt werden. Da Verteilungseffekte erst auf Instrumentenebene wirklich zum Tragen kommen, müssen sie ein unabdingbarer Bestandteil der Folgenabschätzungen der Maßnahmen sein. Eine besondere Aufgabe für die Maßnahmengestaltung ist auch, dass sie die Attraktivität von Investitionen und Aktivitäten steuern. Gelegentlich sind klimafreundliche Wege unbequemer oder weniger attraktiv, dies trifft bspw. auf Effizienzmaßnahmen oder Einsparmaßnahmen zu, die hohe Investitionen benötigen oder alltägliche Routinen betreffen. Eine besondere Aufmerksamkeit bei der Ausgestaltung und eine kommunikative Begleitung mit entsprechendem (ggf. zielgruppenspezifischen) Framing kann die Umsetzungsbereitschaft und –wahrscheinlichkeit deutlich erhöhen.

## Literaturverzeichnis

AGEB (2017): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Jahrgänge 2010-2015. AG Energiebilanzen. Online verfügbar unter <http://www.ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2015.html>, zuletzt geprüft am 01.10.2017.

Bloomberg New Energy Finance (2017): Lithium-ion battery costs & market. Online verfügbar unter <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>, zuletzt geprüft am 28.11.2017.

BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Aktionsprogramm\\_Klimaschutz/aktionsprogramm\\_klimaschutz\\_2020\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_broschuere_bf.pdf), zuletzt geprüft am 16.12.2016.

Bundesregierung (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland. gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2017/?tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=217](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2017/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=217), zuletzt geprüft am 08.09.2017.

Doll, Claus; Eichhammer, W.; Fleiter, T.; Ragwitz, Mario; Schade, Wolfgang; Schleich, Joachim et al. (2008): Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes. Kostenbetrachtung ausgewählter Einzelmaßnahmen der Meseberger Beschlüsse zum Klimaschutz. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau (Climate Change, 14/08), zuletzt geprüft am 03.05.2018.

Porsch, Lukas; Sutter, Daniel; Maibach, Markus; Preiss, Philipp; Müller, Wolf (2014): Leitfaden zur Nutzen-Kosten-Abschätzung umweltrelevanter Effekte in der Gesetzesfolgenabschätzung. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Ecologic; infras; IER. Dessau (Texte, 01/2015). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-nutzen-kosten-abschaetzung>, zuletzt geprüft am 27.06.2018.

Prognos; IFEU; IWU (2015): Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Erstellt im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur ESG. Unter Mitarbeit von N. Thamling, M. Pehnt und J. Kirchner. Hg. v. Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE).

Prognos AG, EWI, GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt geprüft am 24.07.2015.

Prognos; Ecofys; dena; PwC (2017): Gesamtwirtschaftliche Einordnung der ESG. Studie im Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWi. BMWi-Projekt-Nr.: 102/16-01-1. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/gesamtwirtschaftliche-einordnung-esg.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=12](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/gesamtwirtschaftliche-einordnung-esg.pdf?__blob=publicationFile&v=12), zuletzt geprüft am 06.07.2018.

Umweltbundesamt (UBA) (2018): Methodenkonvention 3.0 zur Schätzung von Umweltkosten,.. im Druck]