

Endbericht

Wirkung der Maßnahmen der Bundesregierung innerhalb der Zielarchitektur zum Umbau der Energieversorgung

Auftraggeber:
BMWi, Berlin

Ansprechpartner:
Dr. Almut Kirchner
Florian Ess

Basel/Karlsruhe/Stuttgart
31.01.2018

Projektleitung:

prognos

Prognos AG

**Europäisches Zentrum für Wirtschaftsforschung
und Strategieberatung**

St. Alban-Vorstadt 24

CH-4052 Basel

www.prognos.com

Ansprechpartner:

Dr. Almut Kirchner

Florian Ess

Telefon: +41 61 3273-331

+41 61 3273-361

E-Mail: almut.kirchner@prognos.com

florian.ess@prognos.com

Mitarbeiter

Alex auf der Maur

Ruth Offermann

Sven Kreidelmeyer

Dr. Almut Kirchner

Friedrich Seefeldt

Karsten Weinert

Marco Wunsch

Projektpartner:



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raum-
fahrt (DLR)**

Pfaffenwaldring 38-40

70569 Stuttgart

www.dlr.de

Mitarbeiter:

Evelyn Sperber



**Fraunhofer-Institut für System- und In-
novationsforschung ISI**

Breslauer Straße 48

76139 Karlsruhe

www.isi.fraunhofer.de

Mitarbeiter:

Dr. Michael Krail

Dr. Barbara Schlomann

Dr. Frank Sensfuß

Dr. Jakob Wachsmuth

Inhalt

Zusammenfassung	1
Executive Summary	10
1 Ausgangslage und Zielsetzung	18
2 Auswertung vorliegender Studien	20
2.1 Vorgehensweise	20
2.1.1 Methodisches Vorgehen	20
2.1.2 Für die vergleichende Bewertung von Instrumenten relevante Abgrenzungen und Definitionen	23
2.1.3 Methodische Einordnung der verwendeten Studien	28
2.2 Stromverbrauch aus Erneuerbaren	32
2.2.1 Studienauswahl	32
2.2.1 Instrumentenauswahl	33
2.2.2 Bewertung der Instrumente	33
2.3 Wärme aus Erneuerbaren	34
2.3.1 Studienauswahl	34
2.3.2 Instrumentenauswahl	35
2.3.3 Bewertung der Instrumente	36
2.4 Erneuerbare im Verkehr	37
2.4.1 Studienauswahl	38
2.4.2 Instrumentenauswahl	39
2.4.3 Bewertung der Instrumente	40
2.5 Reduktion Bruttostromverbrauch	40
2.5.1 Studienauswahl	40
2.5.2 Instrumentenauswahl	45
2.5.3 Bewertung der Instrumente	49
2.6 Reduktion Wärmebedarf	49
2.6.1 Studienauswahl	50
2.6.2 Instrumentenauswahl	50
2.6.3 Bewertung der Instrumente	50
2.7 Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr	51
2.7.1 Studienauswahl	51
2.7.2 Instrumentenauswahl	51
2.7.3 Bewertung der Instrumente	53
2.8 Zwischenfazit	53
3 Ergänzende Untersuchungen und vertikale Analyse	55
3.1 Aufgabenstellung und Methodik	55

3.2	Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien	55
3.2.1	Aggregierte Instrumentenwirkung	55
3.2.2	Qualitative Bewertung	57
3.3	Wärme aus erneuerbaren Energien	58
3.3.1	Aggregierte Instrumentenwirkung	58
3.3.2	Qualitative Bewertung	60
3.4	Erneuerbare Energien im Verkehr	61
3.4.1	Aggregierte Instrumentenwirkung	61
3.4.2	Qualitative Bewertung	62
3.5	Reduktion Wärmebedarf	63
3.5.1	Aggregierte Instrumentenwirkung	63
3.5.2	Qualitative Bewertung	64
3.6	Reduktion Bruttostromverbrauch	65
3.6.1	Aggregierte Instrumentenwirkung	65
3.6.2	Qualitative Bewertung	66
3.7	Reduktion Endenergieverbrauch für Verkehr	67
3.7.1	Aggregierte Instrumentenwirkung	67
3.7.2	Qualitative Bewertung	69
3.8	Wirkung übergeordneter Instrumente	70
3.8.1	EU-Emissionshandel und Sicherheitsbereitschaft Kohlekraftwerke	70
3.8.2	KWK-Gesetz	73
3.8.3	Ökosteuer	74
3.8.4	Aggregierte Instrumentenwirkung der Sektoren	76
3.9	Verstärkung bisheriger Instrumente	79
3.9.1	Auswahl wirkungsstarker Instrumente	80
3.9.2	Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme	82
3.9.3	Reduktion Bruttostromverbrauch	84
3.9.4	Reduktion Endenergieverbrauch für Verkehr	86
3.9.5	Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien	87
3.9.6	Wärme aus erneuerbaren Energien	90
3.9.7	Erneuerbare Energien im Verkehr	94
3.9.8	Fazit zur Verstärkung bestehender Maßnahmen	94
4	Horizontale Analyse	96
4.1	Aufgabenstellung und Methodik	96
4.2	Wechselwirkungen der Ziele der Zielarchitektur	96
4.2.1	Wechselwirkungen auf der Ebene der Steuerungsziele	97
4.2.2	Wechselwirkungen der Strategie- und Steuerungsebene	102
4.3	Zielerreichung	110

4.3.1	Beurteilung der Zielerreichung / Zielverfehlung auf Ebene der Steuerungsziele	110
4.3.2	Methodik der Ermittlung der Beiträge der Instrumente zu den übergeordneten Zielen	128
4.3.3	Beurteilung der Zielerreichung / Zielverfehlung auf Ebene der übergeordneten Ziele	136
4.3.4	Betrachtung von weiteren Sensitivitäten für die Entwicklung bis 2020	145
5	Untersuchung einer Flexibilisierung der Steuerungsziele im Hinblick auf 2030	150
5.1	Einleitung und Vorgehensweise	150
5.2	Charakteristika der Flexibilisierungsoptionen	152
5.2.1	Strom	154
5.2.2	Wärme	155
5.2.3	Verkehr	156
5.2.4	Sektorkopplung Strom-Wärme	157
5.2.5	Sektorkopplung Strom-Verkehr	159
5.2.6	Beschreibung der ausgewählten Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030	161
5.2.7	Zielerreichung im Rahmen der Flexibilisierungsoptionen	165
5.3	Bewertung der Ziele nach dem Kriterium Kosteneffizienz	169
5.3.1	Methodik	169
5.3.2	Vorhandene Ergebnisse zur Kosteneffizienz bestehender Instrumente	171
5.3.2.1	Steigerung der Energieeffizienz	171
5.3.2.2	Ausbau der erneuerbaren Energien	173
5.3.3	Vorliegende Ex-ante-Abschätzungen zur Kosteneffizienz von Zielerreichungsszenarien bis 2030	176
5.3.4	Implikationen für die Kosteneffizienz der Steuerungsziele bis 2030	181
5.3.5	Bewertung der Flexibilisierungsoptionen nach dem Kriterium Kosteneffizienz	183
5.3.6	Sonstige Kostenaspekte	187
5.3.7	Zwischenfazit	189
5.4	Bewertung der Ziele nach dem Kriterium Systemintegration	192
5.4.1	Begriffsdefinition und Abgrenzung der Analysen	192
5.4.2	Kriterium Systemintegration: Stromerzeugung und -verbrauch	194
5.4.3	Systemintegration: Netzaspekte	205
5.5	Bewertung der Ziele nach weiteren Nebenkriterien	216
5.5.1	Gesellschaftliche Akzeptanz	216
5.5.2	Restriktionen	223
5.5.3	Langfristigkeit	226

5.6 Schlussfolgerungen	233
Anhang 237	
Anhang 1: Instrumentenwirkung	237
Anhang 2: Dokumentation Methodik Maßnahmenwirkungen	243
Anhang 3: Programm- und Administrationskosten	278
Literaturverzeichnis	284

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Strukturierung der Ziele des Energiekonzepts	18
Abbildung 2:	Darstellung der verschiedenen möglichen Berechnungsmodi für Energie- oder THG-Einsparungen	25
Abbildung 3:	Instrumente des NAPE zur Förderung der Energieeffizienz in den Sektoren private Haushalte, Industrie und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD)	42
Abbildung 4:	Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien absolut und bzgl. der Entwicklung des Bruttostromverbrauchs ohne Instrumentenwirkungen sowie aggregierte Instrumentenwirkung 2020	56
Abbildung 5:	Instrumentenwirkung im Sektor Wärme aus erneuerbaren Energien	59
Abbildung 6:	Instrumentenwirkung im Sektor Erneuerbare Energien im Verkehr	62
Abbildung 7:	Instrumentenwirkung im Bereich „Reduktion Wärmebedarf“	64
Abbildung 8:	Instrumentenwirkung im Bereich „Reduktion Endenergieverbrauch für Strom“	66
Abbildung 9:	Instrumentenwirkung im Sektor Endenergieverbrauch für Verkehr	69
Abbildung 10:	Beiträge der Instrumente zur Einsparung von Primärenergie (Nettowirkung)	77
Abbildung 11:	Beiträge der Instrumente zur Einsparung von CO ₂ -Emissionen (Nettowirkung)	78
Abbildung 12:	Beiträge der Instrumente zur Gesamtwirkung auf den Endenergieverbrauch	81
Abbildung 13:	Wechselwirkungen zwischen den Steuerungszielen; EE: erneuerbare Energien; +/0/- : Ziel X hat fördernden/ nicht-signifikanten/ hemmenden Einfluss auf das Ziel Y. * EU-Vorgabe, kein Ziel des Energiekonzepts	98
Abbildung 14:	Überblick über die Wechselwirkungen der Kern-ziele mit dem Ziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs; EE: erneuerbare Energien; +/- : das Ziel X hat fördernden/hemmenden Einfluss auf das Ziel Y.	107
Abbildung 15:	Überblick über Wechselwirkungen der Steuerungsziele mit dem Ziel der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien (EE) am Endenergieverbrauch (EEV); +/- : das Ziel X hat fördernden/hemmenden Einfluss auf Ziel Y.	109
Abbildung 16:	Projizierte Zielerreichung für das Ziel der Reduktion des Bruttostromverbrauchs	116
Abbildung 17:	Projizierte Zielerreichung für das Ziel der Reduktion des Wärmebedarfs	118
Abbildung 18:	Projizierte Zielerreichung für das Ziel der Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr	120
Abbildung 19:	Projizierte Zielerreichung für das Ziel zu Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien	122

Abbildung 20:	Projizierte Zielerreichung für das Ziel zu Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energien	124
Abbildung 21:	Projizierte Zielerreichung für das Ziel zu erneuerbaren Energien im Verkehrsbereich	126
Abbildung 22:	Projektion der sektoralen Primärenergieeinsparungen im Kernziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs	138
Abbildung 23:	Projektion der sektoralen Instrumentenwirkungen auf das Kernziel zum Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien	140
Abbildung 24:	Projektion der sektoralen CO ₂ -Einsparungen auf das politische Ziel der Reduktion der Treibhausgasemissionen*	143
Abbildung 25:	Charakteristika der Optionen für die Flexibilisierung der sektoralen Ziele im Jahr 2030	163
Abbildung 26:	Vorgehen zur quantitativen Bestimmung der Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030	164
Abbildung 27:	Methodischer Ansatz quantitativer Analysen zum Kriterium „Systemintegration“	196
Abbildung 28:	Kriterium Systemintegration: Mittlere Rampen der Residuallast über 1h bzw. 3h	200
Abbildung 29:	Kriterium Systemintegration: Minima/Maxima der Rampen der Residuallast über 1h bzw. 3h	200
Abbildung 30:	Kriterium Systemintegration: Minima/Maxima der Residuallast	202
Abbildung 31:	Umfrageergebnisse zur Akzeptanz des Ausbaus Erneuerbarer Energien (AEE 2015)	217
Abbildung 32:	Umfrageergebnisse zur Akzeptanz von EE-Technologien [Sonnenberger und Ruddat 2016b]	219

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Template zur vergleichenden Bewertung von Einzelinstrumenten	22
Tabelle 2:	Methodische Einordnung der zentralen in der Metaanalyse verwendeten Studien	28
Tabelle 3:	Beschreibung der ausgewählten Studien im Bereich Stromverbrauch aus Erneuerbaren.	32
Tabelle 4:	Beschreibung der Instrumente im Bereich Stromverbrauch aus Erneuerbaren	33
Tabelle 5:	Beschreibung der ausgewählten Studien im Bereich Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren	34
Tabelle 6:	Beschreibung der Instrumente im Bereich Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren	35
Tabelle 7:	Beschreibung der ausgewählten Studien im Bereich Erneuerbare im Verkehr	39
Tabelle 8:	Beschreibung der Instrumente im Bereich Erneuerbare im Verkehr	40
Tabelle 9:	Beschreibung der ausgewählten Studien für die Bereiche „Reduktion Stromverbrauch“ und „Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme“	43
Tabelle 10:	Beschreibung der Instrumente für die Bereiche „Reduktion Stromverbrauch“ und „Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme“	45
Tabelle 11:	Beschreibung der Instrumente im Bereich Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr	52
Tabelle 12:	Wirkungen des EU-Emissionshandels gemäß Projektionsbericht 2017	72
Tabelle 13:	Beiträge des Emissionshandels zur Einsparung von Primärenergie (eigene Berechnung auf Basis des Projektionsberichts 2017)	73
Tabelle 14:	Beiträge des KWK-Gesetzes zur Einsparung von CO ₂ -Emissionen und Primärenergie (eigene Berechnung)	74
Tabelle 15:	Wirkungen der ökologischen Steuerreform sowie der Neuregelungen zum Spitzenausgleich (eigene Berechnungen auf Basis des Projektionsberichts 2017)	75
Tabelle 16:	Einführung eines generellen Tempolimits für Pkw auf BAB	87
Tabelle 17:	Erhöhung der Ausschreibungsmengen	89
Tabelle 18:	Möglichkeiten der Verstärkung des MAP	91
Tabelle 19:	Möglichkeiten der Verstärkung der KfW-Gebäudeprogramme	92
Tabelle 20:	Möglichkeiten der Verstärkung des EEWärmeG	93
Tabelle 21:	Allg. Umrechnungsfaktoren von prozentualen Änderungen der Steuerungsziele in prozentuale Änderungen der Kernziele; EEV = Endenergieverbrauch; PEF / PEV = Primärenergiefaktor / -verbrauch.	103

Tabelle 22:	Umrechnungsfaktoren von prozentualen Änderungen der Steuerungsziele in prozentuale Änderungen der Kernziele im Jahr 2014 (eigene Berechnungen basierend auf AGEB-Daten und DIN V 18599-1).	104
Tabelle 23:	Entwicklung der für die Steuerungsziele relevanten Parameter in der Referenzentwicklung (ohne Instrumentenwirkungen ab 2008 bzw. 2005 im Verkehr); * Wert in 2005 (Referenzjahr Verkehr)	114
Tabelle 24:	Entwicklung der für die Steuerungsziele relevanten Parameter bei Anlegen der Studienschätzwerte der Instrumentenwirkungen und Grad der Zielerreichung. Für den Verkehrsbereich ist das Referenzjahr 2005; EEV = Endenergieverbrauch.	127
Tabelle 25:	Primärenergiefaktoren zur Umrechnung der Instrumentenwirkungen von Endenergie in Primärenergie	131
Tabelle 26:	Emissionsfaktoren zur Umrechnung der Instrumentenwirkungen von Endenergie in Treibhausgasemissionen	131
Tabelle 27:	Entwicklung der für die Kernziele und das Treibhausgasziel relevanten Parameter bei Anlegen der Studienschätzwerte der Instrumentenwirkungen und Grad der Zielerreichung; * Werte bzgl. 1990 und Zielwert bzgl. der gesamten Treibhausgasemissionen	144
Tabelle 28:	Flexibilisierungsoptionen der Sektorziele für 2030	165
Tabelle 29:	Zielerreichung für die übergeordneten Ziele in den Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030	166
Tabelle 30:	Volkswirtschaftliche Differenz- und Vermeidungskosten der energiebezogenen Handlungsfelder des Aktionsprogramms Klimaschutz	173
Tabelle 31:	Ergebnisse zu Differenzkosten und abgeleiteten Größen für den Ausbau erneuerbarer Energien (Quelle: ISI et al. 2015 und darauf basierende eigene Berechnungen).	175
Tabelle 32:	Differenz der Kosten zwischen Basis- und Referenzszenario aus der Studie „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ in Mio. EUR	177
Tabelle 33:	Übersicht über die Auswirkungen einer Verschiebung der Steuerungsziele auf das Kriterium Kosteneffizienz; ++/+ : stark/ moderat kostenhemmend; – – / – stark/ moderat kostentreibend; 0 geringfügig.	183
Tabelle 34:	Auswirkungen der Flexibilisierungsoptionen auf das Kriterium Kosteneffizienz (relativ zur Referenz); ++/+ : stark/moderat kostenhemmend; – – / – stark/ moderat kostentreibend; 0 geringfügig.	187
Tabelle 35:	Wesentliche Kenngrößen des Stromsystems für die unterschiedlichen Steuerungsziele im Jahr 2030	198
Tabelle 36:	Zusammenfassende Bewertung der Flexibilisierungsoptionen unter den gewählten Kriterien	233

Zusammenfassung

Um die weitere Entwicklung der Energiewende zu gestalten, wurde mit dem Ersten Fortschrittsbericht zur Energiewende eine Strukturierung der verschiedenen Energiewendeziele nach Sektoren und Kategorien vorgenommen und in eine Hierarchie nach Strategie- und Steuerungsebene gebracht. Diese Strukturierung der Ziele wird in dieser Studie (und auch darüber hinaus) als Zielarchitektur bezeichnet. In der vorliegenden Studie werden die Wirkungen der Instrumente innerhalb der Zielarchitektur und ihr Zusammenspiel zur Erreichung der energiepolitischen Ziele analysiert. Auf Basis der erzielten Ergebnisse wird die Zielarchitektur im Hinblick auf die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele sowie einer weiteren Optimierung der Energiewende hin untersucht. Dabei sollen insbesondere anhand der beiden Leitkriterien Kosteneffizienz und Systemintegration mögliche Korridore für Steuerungsziele wie auch Flexibilisierungsoptionen der Ziele identifiziert werden.

Maßnahmenwirkungen im Rahmen der Zielarchitektur

Als Grundlage für die durchgeführten Analysen wurde eine umfassende Datengrundlage für die Wirkung der Maßnahmen im Rahmen der Zielarchitektur auf Basis von aktuell vorliegenden Studien erarbeitet. Die in bislang vorhandenen (und z.T. noch laufenden) Studien ermittelten Wirkungen politischer Instrumente und Strategien wurden erfasst und konsolidiert. Wenn keine Daten aus vorliegenden Studien vorhanden waren, wurden diese durch eigene Wirkungsabschätzungen ergänzt. Aufgrund der bestehenden Unterschiede in den Daten und der der Instrumentenwirkung wurden Spannbreiten ermittelt sowie aus gegenwärtiger Sicht realistische Werte berechnet bzw. abgeschätzt. Durch dieses Verfahren können bestehende Unsicherheiten (z.B. über den Zeitpunkt der Einführung der Instrumente oder unterschiedliche Einschätzungen zur Wirksamkeit von Instrumenten) abgebildet werden. Damit sind zusätzliche Aussagen zur Robustheit der Zielerreichung, auch unter Berücksichtigung der wechselseitigen Abhängigkeit der Ziele, möglich. Die Analysen wurden im Verlauf des Projekts laufend aktualisiert, um den aktuellen Stand an Wirkungsabschätzungen abbilden zu können. Zudem erfolgte die Abschätzung der Wirkung einer Verstärkung bereits bestehender Instrumente im Hinblick auf das Jahr 2020.

Auf Basis dieser Arbeiten erfolgte zunächst eine Bereinigung der Instrumentenwirkungen um Überschneidungen zwischen Instrumenten, die ähnliche Betreffnisse adressieren, herauszurechnen. Dadurch ist eine Aggregation der Maßnahmenwirkungen innerhalb der Sektoren möglich. Wenn die Maßnahmen in den Sektoren auf die Zielwerte des Energiekonzepts bezogen werden, müssen

zudem Wechselwirkungen zwischen den Sektoren berücksichtigt werden. Die Entwicklung der Zielgrößen in einem Sektor kann die Zielerreichung in anderen Sektoren wechselseitig begünstigen oder erschweren. Diese Wechselwirkungen wurden im Detail analysiert und quantifiziert. Zudem erfolgte eine Analyse von den Sektoren der Zielarchitektur übergeordneten Instrumenten sowie eine Abschätzung von nachgelagerten Effekten der Wirkung von Effizienzmaßnahmen und des Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsektor.

In einem nächsten Schritt wurden die aggregierten Maßnahmenwirkungen auf der Steuerungsebene sowie auf der Strategieebene und auf der Ebene der politischen Ziele (THG-Ziel) und mit den für das Jahr 2020 formulierten Zielwerten verglichen, um Aussagen zur erwarteten Zielerreichung machen zu können. Dies erfolgte unter Heranziehung eines Referenzszenarios, das als Basis für den Einbezug der Maßnahmenwirkungen diente. Dafür wurde auf das im Rahmen des Projekts „Makroökonomische Effekte der Energiewende“ entwickelte „Kontrafaktische Szenario“ zurückgegriffen. Dieses Szenario wurde auf die aktuelle Fragestellung (Instrumentenwirkungen ab 2008 bzw. 2005) angepasst, um eine passende Referenzentwicklung zur Verfügung zu haben, mit der die Konsistenz zwischen den recherchierten Instrumentenwirkungen und der verwendeten Referenz gesichert wird. Darüber hinaus wurde das Szenario auf Basis aktueller Rahmendaten zur Bevölkerungsentwicklung und zur Wirtschaftsentwicklung für den Zeitraum bis 2020 angepasst.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Zielerreichung und die Spannbreiten unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Instrumentenwirkung dargestellt und mit den Zielen des Energiekonzepts der Bundesregierung verglichen.

Zielerreichung auf Ebene der Steuerungsziele

- Die Reduktion des Bruttostromverbrauchs wird aus heutiger Sicht auf Basis der durchgeführten Analysen im Jahr 2020 rund minus 5,5 % (ggü. 2008) betragen. Bei Berücksichtigung der Spannbreiten der Instrumentenwirkungen liegt die voraussichtliche Reduktion in einem Korridor von minus 3,1 % bis minus 7,9 %. Dies deutet im Vergleich zum Zielwert gemäß Energiekonzept von minus 10 % auf eine Zielverfehlung hin.
- Das Ziel für den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch wird hingegen voraussichtlich übererfüllt. Der Anteil erneuerbarer Energien liegt auf Basis der durchgeführten Analysen im Jahr 2020 bei rund 41,8 % (bei einer Spannweite von 39,3 % bis 44,0 %). Im Vergleich dazu

liegt der Zielwert des Energiekonzepts bei mindestens 35 %.

- Die Reduktion des Wärmebedarfs (im Haushalts- und Dienstleistungssektor) liegt auf Basis der Analysen im Jahr 2020 bei minus 12,5 % (ggü. 2008 bei einer Spannbreite von minus 11,5 % bis minus 15,8 %), was im Vergleich zum Zielwert gemäß Energiekonzept von minus 20 % auf eine Zielverfehlung hindeutet.
- Die Ziele für erneuerbare Energien im Wärmesektor werden hingegen voraussichtlich erfüllt. Der Anteil erneuerbarer Energien im Wärmesektor liegt auf Basis der durchgeführten Analysen bei rund 15,0 % (Spannbreite von 14,5 % bis 16,3 %). Im Vergleich dazu liegt der Zielwert des Energiekonzepts bei 14 %.
- Der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor steigt auf Basis der Analysen im Jahr 2020 voraussichtlich um 4,6 % (ggü. 2005 bei einer Spannbreite minus 0,6 % bis plus 5,3 %), was im Vergleich zum Zielwert laut Energiekonzept von minus 10 % eine deutliche Zielverfehlung erwarten lässt.
- Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor liegt aus heutiger Sicht bis 2020 auf Basis der durchgeführten Analysen bei 5,4 % (Spannbreite 5,4 % bis 6,8 %). Das Ziel auf EU-Ebene liegt im Vergleich dazu bei 10 %, so dass auch hier eine Zielverfehlung zu erwarten ist.

Zielerreichung auf Ebene der Kernziele

- Das übergeordnete Kernziel zum Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Endenergieverbrauch wird auf Basis der durchgeführten Analysen knapp erreicht. Wesentlicher Grund dafür ist der hohe Anteil erneuerbarer Energien im Strom- und im Wärmesektor. Der Wert liegt 2020 bei 18,4 % (Spannbreite von 17,7 % bis 20,0 %). Im Vergleich dazu liegt der Zielwert gemäß Energiekonzept bei 18 %.
- Das übergeordnete Kernziel zur Senkung des Primärenergieverbrauchs wird auf Basis der durchgeführten Analysen hingegen deutlich verfehlt. Der Reduktion beläuft sich bis 2020 auf minus 11,4 % (ggü. 2008 bei einer Spannbreite von minus 10,2 % bis minus 13,6 %). Im Vergleich dazu liegt der Zielwert gemäß Energiekonzept bei einer Reduktion um 20 %.

Zielerreichung auf Ebene der politischen Ziele

- Das Ziel zur Senkung der Treibhausgasemissionen wird damit auf Basis der durchgeführten Analysen aus heutiger Sicht deutlich verfehlt. Die Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen liegt bis zum Jahr 2020 voraussichtlich bei minus 28,5 %. Werden diese Werte auf die gesamten Treibhausgasemissionen bezogen, resultiert im Jahr 2020 ein Wert von knapp minus 31,3 % (ggü. 1990 bei einer Spannbreite von minus 30,3 % bis minus 33,6 %), was im Vergleich zur Zielsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung von minus 40 % eine Zielverfehlung erwarten lässt.

Zusammenfassende Bewertung

Im Hinblick auf die Wirkung der Maßnahmen im Rahmen der Zielarchitektur und die Ziele aus dem Energiekonzept der Bundesregierung für das Jahr 2020 können daher die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Durch die Erfassung von Maßnahmenwirkungen aus vorhandenen Studien ergibt sich ein umfassendes Bild der Wirkung von energie- und klimapolitischen Maßnahmen. Nur an wenigen Stellen mussten eigene Wirkungsabschätzungen durchgeführt werden.
- Für die Wirkung der Maßnahmen in Bezug auf die Ziele müssen eine Reihe von Überschneidungen zwischen den Instrumenten und Sektoren berücksichtigt werden, um Doppelzählungen zu vermeiden. Zudem sind für die Ermittlung der Wirkungen auf die Ziele, insbesondere auch auf die übergeordneten Ziele auf der Strategieebene und der Ebene der politischen Ziele, die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Sektoren und weiterer Effekte in den Sektoren von hoher Bedeutung.
- Die Ziele zur Senkung des Energieverbrauchs in den Sektoren der Zielarchitektur werden, insbesondere aufgrund der hohen Akteursvielfalt und vielfältiger Investitionshemmnisse der Endverbraucher, durch ein breites Spektrum an Instrumenten adressiert. Für sämtliche sektoralen Zielwerte zur Energieeffizienz im Hinblick auf 2020 ist aus heutiger Sicht eine Zielverfehlung zu erwarten. Während beim Stromverbrauch nur eine knappe Zielverfehlung zu erwarten ist, werden die Ziele im Verkehrssektor und im Wärmesektor deutlich verfehlt. Dies wirkt sich insbesondere auf das übergeordnete Primärenergieziel aus, für das eine deutliche Zielverfehlung absehbar ist.

- Die Ziele der Anteile erneuerbarer Energien in den Sektoren der Zielarchitektur werden in der Regel durch eine relativ geringe Zahl von zumeist umfassenden Instrumenten adressiert. Die Zielwerte zum Ausbau erneuerbarer Energien werden 2020 in den Sektoren mehrheitlich erreicht und im Stromsektor sogar deutlich übererfüllt. Im Verkehrssektor liegt der voraussichtlich erreichte Wert im Jahr 2020 hingegen unter der Vorgabe des diesbezüglichen EU-Ziels. Insbesondere durch die Beiträge aus dem Stromsektor und dem Wärmesektor wird auch das übergeordnete Ziel zum Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Bruttoendenergieverbrauch knapp erreicht.
- Im Hinblick auf 2020 sind zudem die gegenläufigen Effekte von Effizienzmaßnahmen und des Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsektor durch die geringe Wirkung auf die konventionelle Stromerzeugung (aufgrund tiefer Strompreise und hoher Stromexporte in Deutschland) zu berücksichtigen. Diese erschweren die Zielerreichung in den übergeordneten Zielen im Hinblick auf 2020.
- Für das übergeordnete Ziel zur Senkung der Treibhausgasemissionen ist damit im Hinblick auf 2020 eine deutliche Zielverfehlung zu erwarten. Wesentliche Gründe dafür sind in der absehbaren Verfehlung der Effizienzziele in den Sektoren und einzelner sektoraler Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energien, der geringen Wirkung der übergeordneten Instrumente im Stromsektor und den damit zusammenhängenden gegenläufigen Effekten am Strommarkt durch hohe Stromexporte zu sehen.
- Die Analysen zeigen zudem Unsicherheiten in der Quantifizierung der Instrumentenwirkungen auf. Die dabei erfassten Spannbreiten zeigen sowohl eine aus heutiger Sicht minimale, als auch eine maximale Instrumentenwirkung auf. Die Aussagen zur Zielerreichung bzw. Zielverfehlung in den Sektoren sind jedoch in der Regel stabil hinsichtlich der Spannbreiten der Instrumentenwirkung.
- Neben den Unsicherheiten in der Instrumentenwirkung existieren weitere Unsicherheiten im Hinblick auf die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele von 2020. Diese betreffen insbesondere die Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung, die Entwicklung der Energie- und CO₂-Preise sowie die zu erwartenden Effekte am Strommarkt. Für diese weiteren Unsicherheiten wird eine Spannweite von höheren THG-Emissionen von rund 35 Mio. t bis zu geringeren THG-Emissionen in der Höhe von rund 40 Mio. t CO₂ im Vergleich zu den Ergebnissen der Entwicklung der Treibhausgasemissionen abgeschätzt. Damit ist auch bei Annahme einer optimistischen Rahmenentwicklung und

dementsprechend tiefen THG-Emissionen keine Zielerreichung für das politische Ziel der Senkung der Treibhausgasemissionen zu erwarten. Bei hoher Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung sowie tiefen Energie- und CO₂-Preisen könnte die Lücke zum Ziel sogar noch etwas größer ausfallen.

- Die Verstärkung bestehender Maßnahmen kann auch bei schneller Implementierung und optimaler Umsetzung nur einen begrenzten Beitrag zur Zielerreichung leisten. Wesentliche Gründe dafür sind die fehlende politische Umsetzbarkeit bestimmter Maßnahmen (z.B. Instrumente auf EU-Ebene) in der kurzen Frist, die verzögerte Wirkung von Maßnahmen aufgrund der z.T. langen Investitionszyklen von Geräten, Gebäuden und Anlagen sowie Unsicherheiten zur Inanspruchnahme von Fördergeldern durch die adressierten Akteure.

Analysen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele

Im Hinblick auf 2030 sind für die Sektoren Strom, Wärme/Gebäude und Verkehr verschiedene Kombinationen von (sektoralen) Zielvorgaben und sektorale Schwerpunktsetzungen möglich, mit denen die übergeordneten Ziele erreicht werden können. Im Rahmen der Flexibilisierung der sektoralen Ziele wurden daher für die Steuerungsziele unterschiedliche Zielwerte definiert. Dabei wurden eine Referenzentwicklung (auf Basis des Energiekonzepts der Bundesregierung) und sechs weitere Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele analysiert.

Die Sektorziele wurden dabei innerhalb der Sektoren Strom, Wärme/Gebäude und Verkehr (intrasektoral) und zwischen den Sektoren (intersektoral) flexibilisiert. Grundlage für die Höhe der dabei angesetzten Zielwerte sind aktuelle Studien und Szenarienrechnungen. Mit den identifizierten Flexibilisierungsoptionen wird eine Erreichung des übergeordneten Ziels der Senkung der Treibhausgasemissionen angestrebt. Die Flexibilisierungsoptionen wurden daraufhin unter verschiedenen Kriterien bewertet. Dafür wurden einerseits die Leitkriterien Kosteneffizienz und Systemintegration sowie andererseits die Nebenkriterien Akzeptanz, Langfristigkeit und Restriktionen herangezogen.

Auf Basis der durchgeführten Analysen können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Erreichung der übergeordneten energie- und klimapolitischen Ziele für das Jahr 2030 erfordert wesentliche Beiträge aus allen Sektoren.

- Für die Festlegung quantitativer Ziele bestehen sowohl zwischen den Sektoren, als auch innerhalb der Sektoren für Effizienzziele und die Ziele zum Anteil erneuerbarer Energien, Flexibilisierungsmöglichkeiten. Bei einer Flexibilisierung der Ziele sind jedoch unterschiedliche Herausforderungen in den jeweiligen Sektoren zu erwarten.
- Ein kurz- bis mittelfristiger Fokus auf Energieeffizienzmaßnahmen im Sinne des Prinzips „Efficiency first“ erleichtert die Zielerreichung vor allem aus Sicht der Systemintegration und der Gesamtkosten und ist daher tendenziell positiv zu bewerten. Hohe Effizienzfortschritte beim Stromverbrauch reduzieren die Spitzenlast und die Volatilität des Stromverbrauchs und erleichtern damit die Systemintegration. Insbesondere in den Sektoren Verkehr und Industrie bestehen zudem Potenziale für die Umsetzung technischer Maßnahmen mit geringen Differenzkosten. Für die Adressierung der Effizienzziele sind jedoch die Trägheit im bestehenden Anlagen-, Gebäude- und Fahrzeugpark sowie einzelwirtschaftliche Investitionshemmnisse zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass Effizienzmaßnahmen frühzeitig eingeleitet werden sollten, um die Wirkungen zeitgerecht zu realisieren und hierfür voraussichtlich weiterhin flankierende Instrumente benötigt werden, um Investitionshemmnisse zu überwinden.
- Der Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere im Stromsektor, kann einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der energiepolitischen Ziele im Jahr 2030 leisten. Dies gilt insbesondere dann, wenn hohe Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor über Sektorkopplung in die Sektoren Wärme und Verkehr übertragen werden können. Zentrale Herausforderungen bestehen bei der Systemintegration hoher Anteile erneuerbarer Energien, insbesondere durch die zunehmende Volatilität der Stromerzeugung. Dies erfordert eine Steigerung der erzeugungs- und verbrauchsseitigen Flexibilität im Stromsektor. Zudem sind Herausforderungen in der zeitlichen Taktung mit vorgeschalteten Effizienzmaßnahmen, der rechtzeitigen Bereitstellung von Infrastruktur und mögliche Akzeptanzprobleme frühzeitig zu adressieren. Der Ausbau erneuerbarer Energien steigert im Hinblick auf 2030 tendenziell die Gesamtkosten, ist aber stark von der weiteren Entwicklung der technologiespezifischen Lernkurven abhängig.
- Sektorkopplung im Wärme- und Verkehrssektor (vor allem durch Wärmepumpen, Power-to-heat bei der Fernwärmeherstellung und zunehmend elektrifizierte Mobilität) kann die Erreichung der energiepolitischen Ziele im Jahr 2030 grundsätzlich unterstützen. Die Gründe dafür liegen in der hohen Effizienzwirkung der Sektorkopplungstechnologien

im Vergleich zu konventionellen Technologien sowie der möglichen Übertragung der dynamischen Entwicklung erneuerbarer Energien im Stromsektor auf andere Sektoren. Die Integration neuer Stromverbraucher kann jedoch bis 2030 mit zusätzlichen Herausforderungen verbunden sein. Insbesondere bei inflexiblem Einsatz der neuen Stromverbraucher entsteht eine überproportionale Wirkung auf die Spitzenlast und die Volatilität des Stromverbrauchs. Daher sind Maßnahmen für den flexiblen Einsatz bei einer ambitionierten Durchdringung von Sektorkopplungstechnologien von zentraler Bedeutung. Die Durchdringung von Sektorkopplung kann zudem bis 2030 mit höheren Gesamtkosten verbunden sein. Auch hier bestehen allerdings wesentliche Unsicherheiten durch zukünftige Lerneffekte.

- Ein starker Fokus der Steuerungsziele auf bestimmte Sektoren ist eher kritisch zu bewerten. Beispielsweise ist ein sehr starker Fokus auf den Stromsektor bis 2030 aus Kosten-, Akzeptanz- sowie Langfristigkeitgesichtspunkten eher kritisch zu bewerten und erfordert umfassende Änderungen im Stromsystem (z.B. Netze, Flexibilität), um die Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien zu ermöglichen.
- Unsicherheiten für die Beurteilung nach dem Kriterium Kosteneffizienz, wie beispielsweise zukünftig realisierbare Lernkurven bestimmter Technologien (z.B. für erneuerbare Energien in der Stromerzeugung, Sektorkopplungstechnologien und Batteriespeicher) oder die Entwicklung der Energiepreise können die kostenseitige Bewertung entscheidend beeinflussen. Zudem müssen niedrige volkswirtschaftliche Differenzkosten nicht zwingend auf geringe Kosten aus einzelwirtschaftlicher Sicht hindeuten, was die Umsetzung von Maßnahmen mit tiefen volkswirtschaftlichen Kosten hemmen kann. Volkswirtschaftliche Differenzkosten können darüber hinaus nicht die gesamten nachgelagerten volkswirtschaftlichen Effekte abbilden.
- Die Anforderungen der Systemintegration steigen bei Verfolgung der energiepolitischen Ziele bis 2030 in jedem Fall an. Bei geringen Effizienzfortschritten im Stromverbrauch, einem gleichzeitig hohen Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien und einer deutlichen Durchdringung von Sektorkopplung bis 2030 sind die Herausforderungen jedoch wesentlich höher als im umgekehrten Fall.
- Akzeptanz und langfristige Aspekte stellen schwer quantifizierbare, aber relevante Herausforderungen im Hinblick auf das Jahr 2030 dar. Potenzialrestriktionen spielen hingegen eher in langfristiger Perspektive bis 2050 eine Rolle und

sind in den gewählten Flexibilisierungsoptionen bis 2030 von untergeordneter Bedeutung.

- Eine Erreichung des (nationalen) Treibhausgasziels bis 2030 wird von einer Stärkung übergeordneter Instrumente, die nicht direkt die Sektorziele adressieren, deutlich unterstützt. Ansonsten wird insbesondere die Wirkung von Effizienzmaßnahmen und der Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor nur zum Teil realisiert und es kann nur begrenzt konventionelle Stromerzeugung verdrängt werden.

Die Analysen zeigen, dass der Weg zur Erreichung der energiepolitischen Ziele unabhängig von der Flexibilisierung der Sektorziele im Hinblick auf 2030 jeweils mit neuen spezifischen Aufgabenstellungen verbunden ist. Gewisse Kombinationen von sektorspezifischen Zielwerten (z.B. ein starker Fokus auf bestimmte Sektoren oder tiefe Effizienzziele) sind aus Sicht der gewählten Kriterien eher kritisch zu bewerten. Verbleibende Herausforderungen müssen frühzeitig mit energiepolitischen Maßnahmen adressiert werden, um Bedingungen zu schaffen, unter denen die energie- und klimapolitischen Ziele im Jahr 2030 unter Kostengesichtspunkten, aus Sicht der Systemintegration und im Hinblick auf weitere Nebenkriterien in verträglicher Art und Weise erreicht werden können. Dies betrifft beispielsweise die zeitgerechte Realisierung von Effizienzpotenzialen in allen Sektoren, die Erhöhung der Flexibilität von Erzeugern und Verbrauchern im Stromsektor, Instrumente zur kosteneffizienten Ausgestaltung des Ausbaus erneuerbarer Energien, die Erhöhung der Akzeptanz für Infrastrukturanpassungen und die Adressierung von einzelwirtschaftlichen Investitionshemmnissen.

Executive Summary

With the First Progress Report on the Energy Transition, the development of the Energy Transition in Germany with its corresponding goals and targets was structured into different sectors and categories. Furthermore, the targets were subdivided into a hierarchical structure of strategic and steering levels. The restructuring of targets is generally called the Target Architecture of the Energy Transition. In this study, the impact of policy measures within the Target Architecture and their interaction in the achievement of the energy- and climate-related targets is analysed. The achievement of the targets and an optimisation of the Energy Transition is analysed against this backdrop. In doing so, the key criteria cost efficiency and system integration are utilized to identify possible corridors and flexibilities in the determination of steering targets.

Impact of policy measures in the Target Architecture

The development of a comprehensive dataset containing data of individual impacts per policy measure is providing the main basis of the analysis. Impact data for policy measures are mainly based on data from currently available studies, which are collected and brought on a common basis. In cases where there was no data available, own calculations are included. Because the underlying studies show differences in the assessment of individual impacts per measure, values for possible variations of impacts are calculated and values which are most likely from a current perspective are estimated as well. In doing so, relevant uncertainties (e.g. concerning the time of the implementation of policy measures or different estimations on the effectiveness of policy measures) are included in the analysis. Thus, additional conclusions on the robustness in the achievement of the targets are possible, taking into consideration interactions between the targets. The calculations are continuously updated during the project to reflect most information based on impact assessments in the data. Furthermore, an enforcement of existing policy measure is taken into account for the time range up to 2020.

Based on this work, outcomes per policy measure are adjusted for overlaps. This enables the aggregation of individual impacts per measure in the sectors of the Target Architecture. The achievement of steering targets for one sector can have favourable or adverse effects for another sector. Therefore, interactions between the steering targets of the Target Architecture (e.g. between electricity consumption from RES and the target for reducing final energy consumption in the transport sector) are taken into account and are quantified in detail. Furthermore, the achievement of goals on the superior strategic level of the Target Architecture and an analysis of the effects of efficiency measures and measures to

promote the development of renewable energies in the electricity sector is conducted.

In a subsequent step, the aggregated impact of policy measures on the steering level, on the strategical level and concerning the policy goals are compared with the existing energy- and climate-related targets in Germany for the year 2020. An existing reference-scenario based on the „Contrafactual Scenario“ developed in the project “Makroökonomische Effekte der Energiewende” is serving as a basis for this analysis. The scenario is adjusted for the impact of policy measures until 2005 and 2008 respectively, to fit the requirements of this study. Moreover, the scenario is adjusted upwards based on current projections on the development of population and economic performance in the years up to 2020.

In the following, results on the achievement of targets in the year 2020 and corresponding uncertainties are described.

Steering targets

- Based on the calculations, the reduction of gross electricity consumption will reach minus 5,5 % in 2020 (compared to 2008). Taking into account uncertainties in the impacts of policy measures, possible values for the reduction range from minus 3,1 % to minus 7,9 %. Based on these results, the achievement of the corresponding steering target seems unlikely from a current perspective.
- The target for the share of renewable energies in gross electricity consumption will most probably be exceeded in 2020. Based on the calculations, the share will reach 41,8 % in 2020 (with an uncertainty range between 39,2 % and 44,0 %). Compared to those results, the Energiekonzept set a target for 2020 of at least 35 %.
- The reduction of final energy consumption for heating purposes will reach minus 12,5 % in 2020 (compared to 2008, with an uncertainty range between minus 11,5 % and minus 15,8 %). Based on these results, the achievement of the corresponding steering target of minus 20 % seems unlikely from a current perspective.
- The target for the share of renewable energies in heating will most probably be achieved in 2020. Based on the calculations, the share will reach 15,0 % in 2020 (with an uncertainty range between 14,5 % and 16,3 %). Compared to that, the Energiekonzept set a target for 2020 of 14 %.

- Based on the calculations, final energy consumption in transport will reach plus 4,6 % in 2020 (compared to 2005, with an uncertainty range between minus 0,6 % and plus 5,3 %). Based on these results, the achievement of the corresponding steering target of minus 10 % seems highly unlikely from a current perspective.
- The target for the share of renewable energies in the transport sector will most probably not be achieved in 2020. Based on the calculations, the share will reach 5,4 % in 2020 (with an uncertainty range between 5,4 % and 6,8 %). Compared to that, the EU-target for 2020 was set at 10 %.

Core objectives

- The superior core objective for the share of renewable energies in gross final energy consumption is within reach for the year 2020. The main reason for that are high shares of renewable energies in electricity generation and heating. Based on the calculations, the share will reach 18,4 % in 2020 (with an uncertainty range between 17,7 % and 20,0 %). Compared to that, the target is set at 18 %.
- The core objective for the reduction of primary energy consumption is unlikely to be reached in 2020. Based on the calculations, the reduction of final energy consumption for heat will reach minus 11,4 % in 2020 (compared to 2008, with an uncertainty range between minus 10,2 % and minus 13,6 %). Compared to that, the target for 2020 was set at minus 20 %

Policy goals

- Based on the results on the strategic level and on the steering level of the Target Architecture, the policy goal for the reduction of GHG-emissions will not be reached in 2020. Based on the calculations, the reduction of energy-related GHG-emissions will reach minus 28,5 % in 2020 (compared with 1990). Taking into consideration total GHG-emissions, the reduction will reach minus 31,3 % in 2020 (compared with 1990, with an uncertainty range between minus 30,3 % and minus 33,6 %). Compared to that, the target for 2020 was set at minus 40 %.

Conclusions on the achievement of targets for 2020

With regard to the impact of policy measures in the Target Architecture and its corresponding goals (mainly based on the Energiekonzept) for 2020, the following conclusions can be drawn:

- The development of a database energy- and climate-related measures, based on currently available studies and impact assessments, offers a comprehensive view on the impact of these measures. Own calculations and estimations on the impact of policy measures are only necessary in few cases.
- In the calculation of the aggregated impact of policy measures on the targets of the Energy Transition, overlaps between measures and sectors must be taken into consideration to avoid double counting. Furthermore, interactions between the sectors of the Target Architecture and other effects inside the sectors are of high importance and have to be considered in the calculation of the targets.
- Targets for the reduction of energy consumption are addressed by a large range of policy measures, which is mainly due to the diversity of stakeholders and various barriers to investment. Existing steering targets for the reduction of energy consumption are unlikely to be met in 2020. While the reduction of electricity consumption will only just fall short of the target, targets for the reduction of energy consumption for heating and in the transport sector will be missed by a large margin.
- Targets for the development of renewable energies are addressed by a small number of policy measures with relatively high impacts per measure. Steering targets for the share of renewables will mostly be met in 2020 and in some cases exceeded considerably. Compared to that, the EU-target for renewable shares in the transport sector is unlikely to be met in 2020. The core objective of total energy consumption covered by renewables within reach for the year 2020, which is mainly due to high shares of renewables in the electricity sector and in heating.
- Adverse effects on electricity markets (mainly because of low market prices in Germany and high net-exports) must be taken into consideration in the calculation of total effects of efficiency measures and measures for the promotion of renewables on the superior levels of the Target Architecture. These interdependencies make it considerably more difficult to reach the superior policy goals and core objectives in 2020.

- The superior policy goal to reduce GHG-emissions is unlikely to be achieved in 2020. Main reasons for this result are the failure to achieve energy reduction targets in all sectors, the failure to reach renewables targets in some sectors as well as adverse effects in the electricity markets, which are partly caused by weak superior measures in the electricity sector.
- Furthermore, uncertainties in the impact assessment of energy- and climate related measures are displayed in the results. Ranges of uncertainty comprise minima and maxima of impacts per measure and sector. However, conclusions concerning the likelihood of the achievement of sectoral targets are mainly stable with regard to the ranges of uncertainty derived in the analysis.
- Besides uncertainties concerning the impact of policy measures, further uncertainties regarding the achievement of energy- and climate-related targets exist for the year 2020. These include population and economic growth, the development of energy- and CO₂-prices, as well as uncertainties in the interactions in electricity markets in particular. These uncertainties are estimated to lead to a range from higher GHG-emissions of around 35 Mt to lower GHG-emissions of around 40 Mt in 2020 (compared to the general results of the study). Thus, even under the assumption of optimistic framework conditions concerning the achievement of climate targets, the achievement of the target to reduce GHG-emissions seems unlikely from a current perspective. On the contrary, in the case of high population growth and economic growth as well as low energy- and CO₂-prices the gap is estimated to increase considerably.
- Reinforcements of current policy measures are estimated to have only marginal impacts in the achievement of the targets, even if fast implementation and optimal design are considered. Main reasons for that are the lack of political realizability on the national level (e.g. policy measures on the EU-level) in the short run, delays in the realization of policy measures because of long investment cycles in the energy system and uncertainties in the exploitation of financial support measures.

Variations of the steering goals

For 2030, different combinations and prioritizations of sectoral steering goals are possible. In the context of a variation of the targets, different values of steering goals are defined for the year

2030. In doing so, a reference case (based on the Energiekonzept) and six further variations of steering targets are analysed.

Steering targets are varied within the sectors of electricity, heating/buildings and transport (intrasectoral) and between the sectors (intersectoral). Currently developed energy scenarios serve as a basis for this analysis. The different options for steering goals are set to strive for the overall reduction of GHG-emissions. Based on the key criteria cost efficiency and system integration as well as additional criteria comprising social acceptance, long term-orientation and technical restrictions, an assessment of options for the variation of steering goals is developed.

Based on the analysis, the following conclusions can be drawn:

- Achieving the superior energy- and climate-related goals in the year 2030 requires significant contributions from all sectors.
- Variations in the specification of quantitative targets exist between and within the sectors of the Target Architecture. However, different variations of targets lead to different challenges in the sectors.
- Focusing on energy-efficiency measures in the short- and mid-term will enhance the achievement of targets, especially with regard to system integration and cost efficiency criteria. Improvements in the efficiency of electricity demand reduce peak load in the power system as well as the volatility of electricity demand and therefore enhance system integration in the power system. Additional policy measures in the transport sector and in the industrial sector have the potential to result in efficiency improvements at relatively low costs. However, the realisation of efficiency improvements is hindered by inertia in investment cycles of buildings, machines and vehicles. Therefore, efficiency measures must be implemented in time to result in relevant energy savings in the short- and mid-term and adequate policy instruments must be implemented to reduce barriers to investment.
- The development of renewable energies can make significant contributions in the achievement of the energy- and climate-related targets for 2030, especially in the power sector. High shares of renewables in the power sector can be transferred for heating purposes and to the transport sector if sector integration (i.e. the electrification of heating and transport) is developed in parallel. System integration, especially due to the variability of renewable energy sources in power generation, is estimated to be the main challenge in this context. Therefore, flexibility of power

generation and power demand must be increased. Furthermore, challenges in the coordination with efficiency measures, the availability of infrastructure, and questions on the acceptance of such measures should be addressed in time. The development of renewable energies tends to lead to higher total costs in 2030. However, further technological improvements in renewable energies have the potential to reduce costs significantly.

- Sector integration in heating and transport (especially heat pumps, power-to-heat in district heating and electric vehicles) can contribute to the achievement of the targets for 2030. This is mainly due to high efficiencies of these applications and thus, the reduction of energy consumption as well as the transformation of high shares of renewables from the power sector to other sectors. Challenges may arise in the integration of additional power consumers until 2030 if these applications are utilised in an inflexible manner, which causes higher peak load and higher volatility of electricity demand in the power system. Therefore, policy measures to increase the flexibility of new applications of electricity are of significant importance. Furthermore, electrification of heating and transport may lead to higher total costs up to 2030 but are also hard to predict from a current perspective due to the possible effects of technological learning.
- Steering targets with a strong focus on specific sectors tend to have negative impacts based on the selected criteria. For example, focusing on the power sector until 2030 tends to have negative impacts on cost, social acceptance and long-term orientation and requires rapid and comprehensive modifications in the power sector (e.g. infrastructure and flexibility measures) to allow for large shares of renewable energies to be integrated in the short- and mid-term.
- It should be considered that, concerning evaluations based on the cost criteria, uncertainties in the development of future technological learning of specific technologies (e.g. renewables, sector integration, batteries) and future energy prices can have a relevant impact on the results. Furthermore, low total costs in the energy system do not have to indicate low costs from an individual perspective. This potentially hampers the implementation and impact of policy measures. Finally, additional second round effects in the economic system are not considered in this study.
- Challenges in the field of system integration tend to increase up to 2030 in any case. However, minor improvements of energy efficiency and high shares of renewable

energies at the same time tend to increase these challenges.

- Social acceptance of the Energy Transition and long-term orientation are challenges which are notoriously hard to quantify, but of significant importance for the transition until 2030. Technical restrictions tend to have a lower importance for the period until 2030 but increase in importance for the long-term development until 2050.
- The achievement of (national) targets to reduce GHG-emissions is significantly facilitated by the strengthening of superior policy instruments which do not focus on specific sectors. The impact of energy efficiency measures and of the development of renewable energies on GHG-emissions tends to be only partly realised otherwise, because conventional thermal generation can only be reduced to some extent.

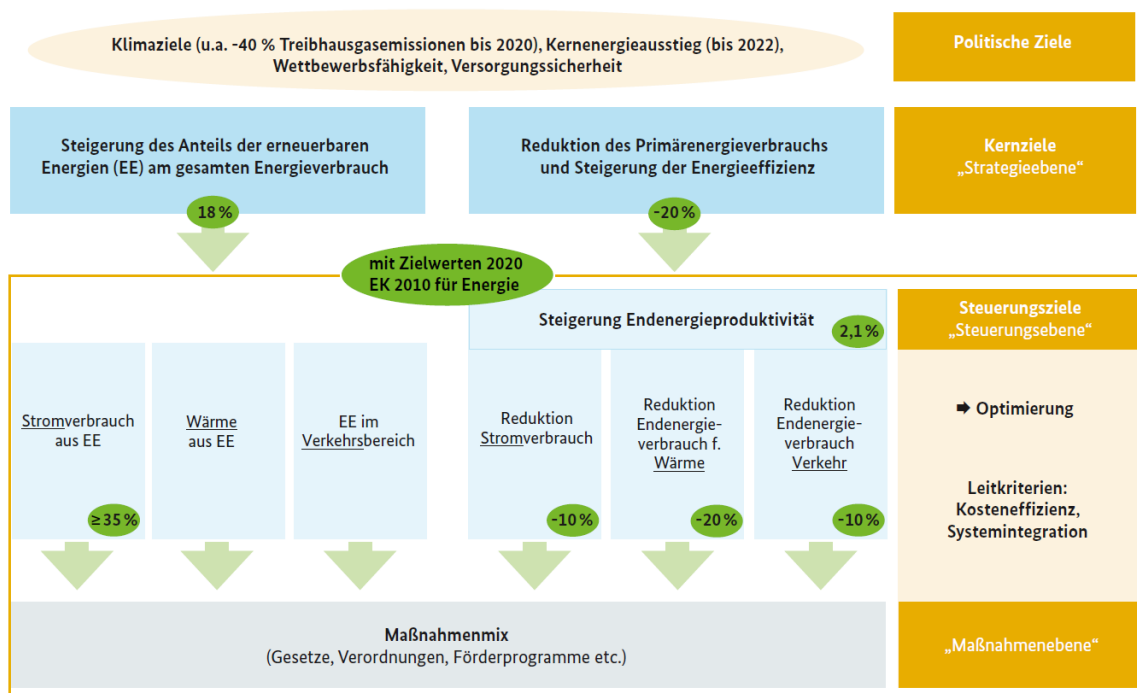
As the results of this study show, the pathway for the achievement of energy- and climate related targets for 2030 will exhibit new challenges for the energy system. However, certain combinations of strategies and targets per sector (e.g. a strong focus on specific sectors and less ambitious targets for the reduction of energy demand) tend to increase challenges and must be seen critically from a current perspective. Remaining challenges need to be addressed with policy measures in time, to create an environment where energy- and climate-related targets will be met in a cost-efficient way, securing system integration and taking into account other challenges, e.g. social acceptance, long-term orientation and technical constraints. These challenges comprise, for example, the realisation of reductions in energy demand and increasing flexibility in electricity generation and electricity demand in time, policy instruments to develop renewable energies in a cost-efficient way, increasing acceptance for modifications in infrastructures and addressing individual barriers to investment.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im Rahmen der Auswertungen zum Fortschrittsbericht zur Energiewende wurde deutlich, dass insbesondere in den Bereichen Energieeffizienz und Klimaschutz zusätzlicher Handlungsbedarf besteht, um die Ziele zur Primärenergiereduktion und der Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2020 zu erreichen. Die Bundesregierung beschloss daher am 3. Dezember 2014 zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung der Energiewende-Ziele. Hierzu zählen insbesondere der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) und das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020.

Um die weitere Entwicklung der Energiewende möglichst kostengünstig und zielgerecht zu gestalten, wurde mit dem Fortschrittsbericht zur Energiewende erstmals auch eine Strukturierung der verschiedenen Energiewendeziele vorgenommen. Diese Zielarchitektur priorisiert und strukturiert die Ziele des Energiekonzepts. Auf dieser Grundlage sollen ziel- und sachgerechte Maßnahmen abgeleitet werden, mit denen die Ziele der Energiewende möglichst effektiv und kostengünstig erreichbar sind.

Abbildung 1: Strukturierung der Ziele des Energiekonzepts



Quelle: BMWi Fortschrittsbericht 2014

Im vorliegenden Projekt sollen sowohl die Wirkungen der beschlossenen Maßnahmen auf die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, als auch ihr Zusammenspiel mit den bereits bestehenden Maßnahmen sowie ihre Wechselwirkungen innerhalb der

Zielarchitektur zum Umbau der Energieversorgung analysiert und bewertet werden.

Hierfür werden zunächst die aus allen Maßnahmen resultierenden Beiträge zur Zielerreichung in den einzelnen Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr) zusammengeführt und ihre Auswirkungen auf das gesamte Energiesystem abgeschätzt. Damit können die Zielbeiträge der verschiedenen Maßnahmen und mögliche Zielverfehlungen ermittelt werden.

Auf Basis der erzielten Ergebnisse wird die Umsetzung der Zielarchitektur im Hinblick auf eine weitere Optimierung der Energiewende analysiert. Ziel ist hierbei, insbesondere unter Berücksichtigung der beiden Leitkriterien Kosteneffizienz und Systemintegration mögliche Korridore für die einzelnen Steuerungsziele wie auch die Flexibilität der Ziele untereinander zu identifizieren.

Die Analyse stützt sich dabei im Wesentlichen auf bereits laufende oder geplante Studien zu den Wirkungen der bestehenden Maßnahmen sowie der im NAPE und Aktionsprogramm Klimaschutz beschlossenen, neuen Instrumente und wird deren Ergebnisse im Sinne einer Metastudie zusammenführen. Um die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse zu gewährleisten, werden einheitliche Kriterien für die Wirkungsanalyse sowie geeignete Schnittstellen definiert. Alle bei der Wirkungsanalyse zugrunde gelegten Daten werden in vergleichbarer Form zusammengestellt und anhand einer einheitlichen Methodik ausgewertet. Diese Daten- und Methodengrundlage kann auch bei künftigen Studien zur Wirkungsanalyse von Instrumenten herangezogen werden.

2 Auswertung vorliegender Studien

2.1 Vorgehensweise

2.1.1 Methodisches Vorgehen

Zur Einschätzung des Beitrags von energiepolitischen Instrumenten zu den Steuerungszielen des Energiekonzepts wird eine vergleichende Betrachtung bereits vorliegender und noch in Bearbeitung befindlicher oder geplanter Studien zu Wirkungsabschätzungen vorgenommen. Berücksichtigt werden:

- Sektorübergreifende Studien, die alle Zielsektoren der Steuerungsziele umfassen; dazu gehören insbesondere die Projektionsberichte 2013, 2015 und 2017 der Bundesregierung [2013, 2015, 2017], das am 3. Dezember 2014 vom Bundeskabinett beschlossene Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 [BMUB 2014] und dessen regelmäßige Überprüfung im Rahmen der jährlichen Klimaschutzberichte [BMUB 2015, 2016; Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a, b] oder die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland“ des UBA [2015].
- Studien, die sich schwerpunktmäßig mit Instrumenten zur Erreichung von einem oder zweien der Steuerungsziele befassen; dies sind beispielsweise für den Bereich der Erneuerbaren Energien die Mittelfristprognose der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) oder für den Bereich der Energieeffizienz der ebenfalls am 3. Dezember 2014 beschlossenen Nationale Aktionsplan Energieeffizienz [NAPE; BMWi 2014a] oder der Nationale Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) unter der EU Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU) [BMWi 2014b, 2017a].
- Studien zur Bewertung von (größeren) Einzelinstrumenten wie die Evaluierungen verschiedener KfW-Programme zur Förderung der Energieeffizienz und des Einsatzes erneuerbarer Energien oder die Evaluierung des Marktanzreizprogramms (MAP). Außerdem konnte für die im Rahmen dieses Zwischenberichtes vorgenommene Aktualisierung der Wirkungsabschätzungen auch auf erste Ergebnisse der Evaluierung einiger neuer Instrumente des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) [BMWi 2017b] sowie der Evaluierung des Energieeffizienzfonds [Hirzel et al. 2017] zurückgegriffen werden.

Eine Beschreibung der für die einzelnen hier untersuchten Sektoren bzw. Steuerungsziele ausgewählten Studien erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten. Für jedes Steuerungsziel werden

zentrale Instrumente ausgewählt und nach einem einheitlichen Schema bewertet. Dafür wurde ein Template entwickelt, das für jedes Instrument eine vergleichende Bewertung nach quantitativen und qualitativen Kriterien ermöglicht (Tabelle 1).

Tabelle 1: Template zur vergleichenden Bewertung von Einzelinstrumenten

Steuerungsziel		[Bsp.:] Stromverbrauch aus Erneuerbaren Energien (Zielwert 2020: >35%)						
Instrument 1								
Nr. / Titel	Strom-EE1	[Bsp.:] Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)						
Weitere adressierte Steuerungsziele	Strom-EE	Wärme-EE	Verkehr-EE	Strom-EFF	Wärme-EFF	Verkehr-EFF		
	X	-	-	-	-	-		
Adressierter Sektor	Stromerzeugung							
Kurzbeschreibung des Instruments	[XXX]							
Kurzbeschreibung der Studien	Studie 1							
	[XXX]							
	Studie 2							
	[XXX]							
Studie 3								
[XXX]								
Quantitative Bewertung								
(Hinweis: die Berechnung abgeleiteter Bewertungskriterien wie Energiekosteneinsparung/vermiedene Erzeugungskosten und der (Netto-)Kosten-/Fördereffizienz der Instrumente (jeweils bezogen auf THG, PEV, EEV) soll in einheitlicher Form in einem zusammenfassenden Excel-Sheet erfolgen).								
Definition Einsparungen / Baseline	Definition Einsparungen / Baseline							Quelle
	Studie 1							[1]
	Studie 2							[2]
	Studie 3							[3]
THG (addierte Ein-sparung im Jahr x) [MtCO _{2eq}]	Ex-post			Ex-ante				Quelle
	Jahr	Jahr x	Jahr y	2015	2020	2030	2050	
	Studie 1							[1]
	Studie 2							[2]
	Studie 3							[3]
Primärenergie (addierte Ein-sparung im Jahr x) [TWh]	Ex-post			Ex-ante				Quelle
	Jahr	Jahr x	Jahr y	2015	2020	2030	2050	
	Studie 1							[1]
	Studie 2							[2]
	Studie 3							[3]
Endenergie (addierte Einsparung i. Jahr x) [TWh]	Ex-post			Ex-ante				Quelle
	Jahr	Jahr x	Jahr y	2015	2020	2030	2050	
	Studie 1							[1]
	Studie 2							[2]
	Studie 3							[3]
darunter: Strom [TWh]	Studie 1							[1]
	Studie 2							[2]
	Studie 3							[3]
	darunter: Brennstoffe [TWh]	Studie 1						
Studie 2							[2]	
Studie 3							[3]	
Beitrag zum Steuerungsziel: Strom EE [TWh]		Ex-post			Ex-ante			
	Jahr	Jahr x	Jahr y	2015	2020	2030	2050	
	Studie 1							[1]
	Studie 2							[2]
	Studie 3							[3]
Kosten, darunter - Programmkosten - Administr. Kosten - Investitionen [Mio. €]	Ex-post			Ex-ante				Quelle
	Jahr	Jahr x	Jahr y	2015	2020	2030	2050	
	Studie 1							[1]
	Programmk.							
	Administr. K.							
	Investitionen							
	Studie 2							[2]
	Programmk.							
	Administr. K.							
	Investitionen							
	Studie 3							[3]
	Programmk.							
	Administr. K.							
Investitionen								

Tabelle 1: Forts.

Qualitative Bewertung	
Qualität der quantitativen Bewertung in den verwendeten Studien	[XXX]
Wechselwirkungen mit anderen Instrumenten	[Nr. der Instrumente nennen und ggf. erläutern]
Rebound-/Mitnahmeeffekte	[XXX]
Beitrag zur Systemintegration	[XXX]
Sonstiges	[XXX]
Quellen [1] [2] [3]	

Die Bewertung der Instrumente erfolgt für folgende Merkmale und Kriterien, wobei jeweils – falls verfügbar – verschiedene Studien berücksichtigt werden:

- Quantitative Bewertung der Wirkung im Hinblick auf THG-Einsparungen, Primärenergieeinsparung, Endenergieeinsparung (getrennt nach Brennstoffen und Strom), EE-Ausbau sowie Investitionen und Kosten.
- Qualitative Bewertung im Hinblick auf weitere Kriterien wie Wechselwirkungen zwischen den Instrumenten, mögliche Rebound- und Mitnahmeeffekte, sowie den möglichen Beitrag des Instruments zur Systemintegration.

2.1.2 Für die vergleichende Bewertung von Instrumenten relevante Abgrenzungen und Definitionen

Zeitlicher Rahmen

Der Zeithorizont für die Erreichung der im ersten Fortschrittsbericht definierten Steuerungsziele des Energiekonzepts liegt auf der kürzeren Frist bis 2020. Da die Flexibilität zwischen den Zielen in dieser vergleichsweise kurzen Frist jedoch begrenzt sein dürften und um auch die Langfristziele des Energiekonzepts bis 2050 sowie die kürzlich beschlossenen Energie- und Klimaziele der EU bis 2030 zu berücksichtigen, wird auch der mittel- und längerfristige Zeithorizont bis 2030 bzw. 2050 in die Bewertung einbezogen.

Allerdings sind auf der Ebene der Einzelinstrumentenbewertung weitgehend nur Abschätzungen bis maximal 2030 verfügbar. Die Berücksichtigung der längeren Zeitperspektive ist insbesondere deshalb notwendig, um langfristige Fehloptimierungen oder „lock-in-Effekte“ zu vermeiden, die bei kurzfristig orientierten Optimierungen als Nebeneffekte auftreten können.

Begriffliche Abgrenzung von „Instrumenten“ und „Maßnahmen“

Politik-„Instrumente“ sind politische Aktivitäten zur Änderung der Rahmenbedingungen für die konkrete Umsetzung technischer Maßnahmen zur Erreichung übergeordneter politischer Ziele wie der Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien oder der Verbesserung der Energieeffizienz. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um ordnungsrechtliche, marktorientierte, steuerliche, direkt oder indirekt monetär fördernde oder informationsorientierte Aktivitäten. Neben dem Begriff „Instrument“ werden dafür in den hier berücksichtigten Studien auch die Begriffe „Maßnahmen“, „Programme“, „Politiken“ oder „Politiken und Maßnahmen“ verwendet. Der Begriff „Maßnahme“ wird jedoch in jedem Fall auch im Sinne einer konkreten Aktion technischer, organisatorischer oder verhaltensbedingter Art verwendet, die durch ein Politik- „Instrument“ ausgelöst werden kann.

Beispiel: Die technisch-physikalische energetische Sanierung eines Gebäudes oder Bauteils (Wärmedämmung an der Außenwand anbringen) ist in jedem Fall eine „Maßnahme“ (hierfür gibt es keinen anderen Begriff). Das Förderprogramm, welches die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme durch einen kostengünstigen Kredit verbessert, ist ein politisches Instrument, es verändert die Rahmenbedingungen, unter denen die Maßnahme durchgeführt wird, in (hoffentlich) förderlicher Weise.

Um Missverständnisse zu vermeiden, soll in dieser Studie im politischen Zusammenhang deshalb bevorzugt der Begriff „Instrument“ verwendet werden. Werden verschiedene Einzelinstrumente im Sinne eines „Policy Mix“ [Rogge and Reichardt 2013] kombiniert, wird für das Aggregat der Begriff „Bündel“ verwendet.

Beispiel: Ein „Bündel“, welches auf die Umsetzung energetischer Sanierungen zielt, könnte bestehen aus den Instrumenten

- Förderprogramm mit kostengünstigen Krediten
- Zielorientierte Information und Ansprache von Hausbesitzern (z.B. über Banken, Verbraucherzentralen)
- Weiterbildungsangebote für die entsprechenden Gewerke
- Energieberatungsangebot für Hausbesitzer.

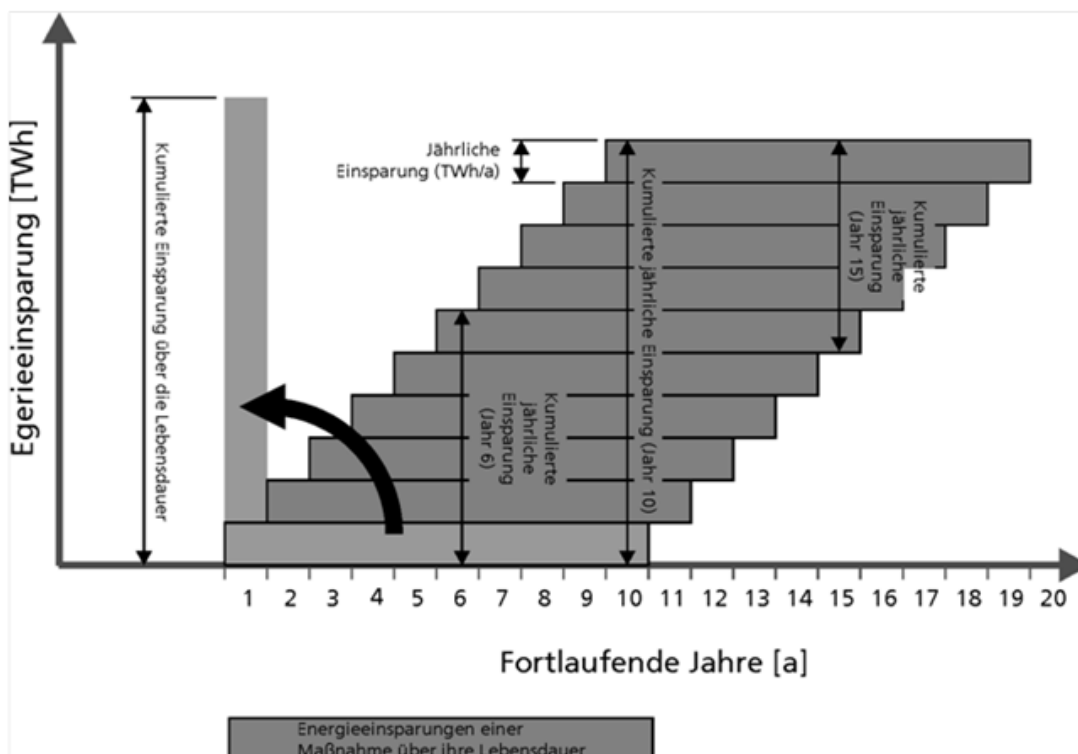
Berechnungsmodi für Energie- und THG-Einsparungen

Die Berechnung der durch einzelne Instrumente induzierten Energie- oder THG-Einsparungen wird nicht einheitlich gehandhabt. Das ist unter anderem auf die unterschiedlichen Vorgaben in EU-Direktiven zurückzuführen. Verbreitet sind insbesondere folgende Berechnungsmodi für Energieeinsparungen (siehe Abbildung 2):

- Durchschnittliche (oder neue) jährliche Einsparung
- Addierte (oder kumulierte) jährliche Energieeinsparung
- Kumulierte Energieeinsparung über einen ges. Zeitraum

In dem hier für die Instrumentenbewertung verwendeten Template wird einheitlich die **addierte jährliche Einsparung** ausgewiesen. Außerdem wird auch die diesen Angaben jeweils zugrundeliegende Referenzentwicklung („Baseline“) erläutert. Die im Rahmen des Projektes verwendete Referenzentwicklung zur Ermittlung der Zielerreichung entspricht einem Szenario („Kontrafaktisches Szenario“ im Rahmen des Projekts „Makroökonomische Wirkungen der Energiewende“) welches aktuell in einem laufenden Projekt für das BMWi entwickelt wird. Für den vorliegenden Zwischenbericht lagen vorläufige Ergebnisse für dieses Szenario vor.

Abbildung 2: Darstellung der verschiedenen möglichen Berechnungsmodi für Energie- oder THG-Einsparungen



Quelle: Fraunhofer ISI et al. 2012

Die Quantifizierung der Instrumentenwirkungen wird für den Zeitraum 2008 bis 2020 durchgeführt und orientiert sich damit an der Formulierung der energiepolitischen Ziele im Rahmen der Zielarchitektur. Für den Verkehrssektor wird dementsprechend abweichend von den sonstigen Sektoren das Jahr 2005 als Startjahr berücksichtigt. Instrumentenwirkungen werden in den zugrundeliegenden Studien im Allgemeinen auf Basis einer geeigneten Aktivitätsgröße (Fallzahl, Mittelabfluss) und einer spezifischen Einsparung (pro Aktivität) quantifiziert, welche multipliziert die absolute Einsparung (im Beispiel von Effizienzmaßnahmen) ergeben. Für die Instrumentenwirkungen wird der Zielbeitrag im Jahr 2020 ausgewiesen (bezogen auf das Basisjahr). Die Hochrechnung auf die übergeordneten PEV- und THG-Ziele erfolgt anschließend auf Basis von PEV- und CO₂-Faktoren, die den Faktoren entsprechen, die bei der Quantifizierung der Sofortmaßnahmen aus dem NAPE zugrunde gelegt wurden.

Unsicherheiten in der Bewertung der Instrumentenwirkung

Um die Vergleichbarkeit der Instrumentenwirkungen zwischen den verschiedenen Studien sicherzustellen, wurden für die unterschiedlichen Studien mehrere Prüfkriterien angewendet. Die folgenden Kriterien wurden dabei angelegt:

- Annahmen zur Instrumentenwirkung sind nachvollziehbar und plausibel
- Ausgestaltung des Instruments in Studie entspricht der derzeitigen Ausgestaltung bzw. ist gut vergleichbar.
- Implementierungs- und Wirkungszeitraum ist realistisch.
- Berechnungsmethodik ist klar definiert und plausibel (z.B. Fortschreibungsmethodik, inkl. statische und dynamische Sicht sowie zugrundeliegende Referenzentwicklung).
- Ausweisungsmodus der Energieeinsparungen ist vergleichbar (vgl. jährlich addierte Einsparungen).
- Ausweisung von Brutto- und/oder Nettoeinsparungen.
- Ex-post Evaluierungen wurden berücksichtigt (soweit verfügbar).

Die Studien werden dahingehend geprüft und nach einheitlichen Kriterien ausgewertet. In Ausnahmefällen werden eigene Wirkungsabschätzungen auf Basis einer Bottom-up-Bewertung durchgeführt.

Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde aufgrund der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien ein

Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als aus heutiger Perspektive am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt. Weitere Informationen zur Methodik der Ermittlung der Studienschätzwerte pro Instrument kann Anhang 2 entnommen werden.

Daraus ergeben sich Spannbreiten der Instrumentenwirkung im Hinblick auf das Jahr 2020. Diese beschreiben mögliche Unsicherheiten in der Wirkung der Instrumente im Betrachtungszeitraum. Für die Festlegung der Studienschätzwerte pro Instrument ist insbesondere relevant, ob der Zeitraum bis zur Implementierung realistisch ist und die Annahmen zur Instrumentenwirkung sowie die Berechnungsmethodik plausibel sind.

Für die Spannbreiten der Wirkungen werden Werte herangezogen, die auf Basis der Prüfkriterien für die Studien vergleichbar sind. Wenn z.B. der Maximalwert auf einer Studie beruhen würde, welche einige der oben genannten Kriterien nicht erfüllt, würde dies eher einen Hinweis auf das (theoretische) Potenzial eines Instruments geben (z.B. bei grundsätzlich anderer Ausgestaltung des Instruments). Solche Fälle werden aus Konsistenzgründen ausgeschlossen. Wesentliche Einflussfaktoren für die Spannbreiten sind z.B. die Inanspruchnahme von Fördergeldern, die Höhe des Förder Volumens, das Ausmaß der Inanspruchnahme von Beratungsleistungen und die angenommenen Sanierungsraten von Gebäuden bzw. die unterstellten Ersatzzyklen von Geräten und Anlagen.

Kosten der Instrumente

Hier wird differenziert zwischen den bei den verschiedenen Akteuren auftretenden Kostenkategorien. Folgende Kostenkategorien werden unterschieden:

- Administrative Kosten, d.h. Kosten für die technische Abwicklung und Kontrolle des Instruments; diese Kosten werden nochmals differenziert nach beim Staat, beim verpflichtenden Akteur und beim Maßnahmendurchführenden anfallenden Kosten
- Programmkosten
- Investitionsmehrkosten (d.h. Differenzkosten für die Investition in eine Energieeffizienztechnologie im Vergleich zur Standardtechnologie)

Diesen Kosten gegenüber stehen die eingesparten Energiekosten. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass Angaben zu den Kosten der Instrumente nur in relativ wenigen Studien verfügbar sind.

2.1.3 Methodische Einordnung der verwendeten Studien

Im Folgenden werden die zentralen im Rahmen der hier durchgeführten Studie berücksichtigten übergreifenden und maßnahmen-spezifischen Evaluationsstudien im Hinblick auf das methodische Vorgehen bei der Bewertung von Instrumentenwirkungen und der dabei berücksichtigen Effekte im Sinne des Gesamtüberblicks eingeordnet. Eine detailliertere Beschreibung der Studienauswahl erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln auf der Ebene der einzelnen Steuerungsziele (Kapitel 2.2 bis 2.7). Eine instrumentenscharfe Beschreibung der verwendeten Studien und deren Methodik ist Anhang 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: *Methodische Einordnung der zentralen in der Metaanalyse verwendeten Studien*

Autoren / Erscheinungsjahr	Kurztitel	Zeitliche Perspektive	Generelle Methodik	Brutto-/ Nettoeffekte (für einzelne Instrumente)	Effektbereinigung (Einzelinstrument und Instrumentenbündel)
Sektorübergreifende Studien					
Fraunhofer ISI/IFAM, Prognos, Ifeu, Ringel (2014)	Wissenschaftliche Unterstützung NAPE	Ex-ante (bis 2020)	Bottom-up Abschätzung von Einsparwirkungen	Überwiegend Brutto-Effekte	Interaktion Instrumente (durch Potenzialbeschränkung und Zurechnung der Einsparungen)
Öko-Institut (2014)	Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020.	Ex-ante (bis 2020)	Bottom-up Abschätzung von Einzelinstrumenten und Bündeln	Überwiegend Brutto-Effekte	Interaktionen von Instrumenten (Überlagerungseffekte)
Öko-Institut, Fraunhofer ISI (01/2017; 10/2017 vorl.)	1. und 2. Quantifizierungsbericht zum Klimaschutzbericht 2016	Ex-ante (bis 2020)	Bottom-up Abschätzung von Einzelinstrumenten	Überwiegend Bruttoeffekte	Interaktionen von Instrumenten
BMWi (07/2017)	NAPE-Monitoring	Ex-post (bis 2016)	Bottom-up Abschätzung von Einzelinstrumenten (überwiegenden basierend auf vorliegenden Evaluationen)	Abhängig von verwendeten Evaluationen	

BMWi (2014, 2017)	Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplans 2014 / 2017 (NEEAP) unter der Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU)	Ex-post / Ex-ante (2007-2016, 2020)	Bottom-up Abschätzung von Einzelinstrumenten und Bündeln	Überwiegend Bruttoeffekte	Interaktionen (durch Instrumentenfaktor), Befolgung (durch Compliance-Faktor)
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut /Fraunhofer ISI) (2013, 2015, 2017)	Projektionsberichterstattung unter Verordnung 525/2013/EU / Politikszenerarien	Ex-ante (2020-2035)	Modellierung (Szenarien, Einzelinstrumente/Bündel; in PB 2017 teilweise auch Bottom-up-Bewertung von Einzelmaßnahmen	Bruttoeffekte	Interaktion von Instrumenten
Fraunhofer ISI, Ifeu, Prognos (Hirzel et al.) (09/2017)	Zweiter Bericht zur Evaluierung des Energieeffizienzfonds (Hinweis: der Bericht beinhaltet auch Ergebnisse aus von Externen durchgeführten Evaluierungen (z.B. Evaluation des Querschnittstechnologien-Programms durch dena oder der vzbv Verbraucherberatung durch pwc).	Ex-post (2011-2016)	Bottom-up Abschätzung von Maßnahmenwirkungen (teilweise unterstützt durch Befragungen)	Grundsätzlich Ausweisung von Brutto- und Nettowirkung (so weit methodisch möglich)	Mitnahmeeffekte (Berechnung basierend auf Befragung), Vorzieheffekte, Interaktionen zwischen Instrumenten
Evaluationen von Einzelinstrumenten					
BAFA 2014	Evaluation der Energiesparberatung vor Ort, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, im Auftrag der Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)	Ex post (2009-2012)	Bottom-up Abschätzung, unterstützt durch Befragung	Brutto-Effekte bzgl. ausgelöste Investitionen; Netto-Effekte (zusätzliche Einsparung ausgelöst durch Beratung)	u.a. Beratungsfaktor, Vorzugsfaktor, Trendvergleich
IREES/Fraunhofer ISI 2014	Evaluation des Förderprogramms "Energieberatung im Mittelstand" - Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und	Ex post (2012-2013)	Bottom-up Abschätzung, befragungsgestützte Hochrechnung	Brutto-Effekte bzgl. ausgelöster Investitionen; Netto-Effekte (Einsparung aufgrund der Beratung)	Mitnahmeeffekte, Vorzieheffekte

	Energie. Karlsruhe, 3. Dezember 2014.				
IWU, Fraunhofer IFAM 2015	Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2014	Ex post (2014)	Bottom-up Abschätzung, befragungsgestützt (geschichtete Stichprobe)	Brutto-Effekte	
Prognos 2014	Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012 - Endbericht. Im Auftrag der KfW. 2014.	Ex post 2012	Bottom-up Abschätzung, befragungsgestützt	Brutto-Effekte	
Prognos 2016	Aktualisierung der Endenergieeinsparung ausgewählter alternativer Maßnahmen im Kontext von Art. 24 und Anhang XIV EED, Kurzexpertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016	Ex post (2014-2015) und ex ante (2016-2020)	Bottom-up aufgrund von Primärstatistik	Brutto- und Nettoeffekte	Interaktion mit anderen Instrumenten (Instrumentenfaktor), Non-Compliance-Faktor
Fichtner et al. 2010-2016	Evaluierungsberichte zum Marktanreizprogramm (MAP), Evaluierung der Förderjahre 2009-2014	Ex post (2009-2014)	Überwiegend Bottom-up Abschätzungen auf Basis von Förderstatistiken	Überwiegend Brutto-Effekte (Nettowirkungen u.a. in Bezug auf Mehrkosten)	
BMWi 2015	2. Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	Ex post (2009-2013), zusätzlich ex ante Analysen zur Entwicklung der EE im Wärmemarkt 2014 - 2020	Top-down Abschätzung auf Basis von Daten zur Entwicklung des Neubausektors	Überwiegend Netto-Effekte	Hypothetische Entwicklung des Neubausektors vor Inkrafttreten des Gesetzes dient als Referenzentwicklung bei Ermittlung von Einsparungen
DBFZ/UFZ/IWES 2015	Stromerzeugung aus Biomasse (<i>EEG-Monitoring</i>)	Ex post (2009-2015)	Bottom-up auf Basis von Befragungen sowie Stamm- und Bewegungsdaten	Brutto-Effekte	

Für den größten Teil der (Einzel-)Instrumente, die für die einzelnen Steuerungsziele betrachtet wurden, konnte auf Wirkungsabschätzungen aus den in Tabelle 2 genannten Studien zurückgegriffen werden. Damit entspricht die Methodik der Wirkungsabschätzung jeweils der in den Studien zugrunde gelegten Methodik. Auf der Ebene von Einzelinstrumenten werden nur in wenigen Studien (überwiegend in ex-post Evaluationen) neben Brutto- auch Nettoeinsparungen ausgewiesen. In diesen Fällen erfolgt hier im Wesentlichen eine Bereinigung um Mitnahmeeffekte und Vorzieheffekte, bei ordnungsrechtlichen Instrumenten auch die Berücksichtigung der Nichtbefolgung (siehe Tabelle 2). Auf der Ebene von Instrumentenbündeln wurden allerdings in den meisten der verwendeten Studien Interaktionen zwischen Einzelinstrumenten berücksichtigt. Damit kann auch in dieser Studie auf der Ebene der Steuerungsziele von einer weitgehend überschneidungsfreien Wirkungsabschätzung der betrachteten Instrumentenbündel ausgegangen werden. Zur Sicherstellung der Vermeidung von Doppelzählungen wurde darüber hinaus eine Konsistenzprüfung der Studienergebnisse vorgenommen.

In den wenigen Fällen, in denen keine ausreichenden Informationen zur Wirkungsstärke einzelner Instrumenten aus den genannten Studien vorlagen, wurden ergänzend eigene Abschätzungen vorgenommen. Dies betrifft insbesondere die ex-ante Wirkung einzelner Instrumente zum Steuerungsziel EE-Wärme. Hierzu wurden die methodischen Ansätze aus bestehenden ex-post-Evaluierungsstudien in die Zukunft fortgeschrieben. In der Regel erfolgten Bottom-up-Abschätzungen auf Basis von Annahmen bezüglich der Entwicklung von Aktivitätsraten (z.B. Anzahl Förderfälle) sowie spezifischer Wirkungen pro Aktivität (z.B. Endenergie je Förderfall). Zur Absicherung dieser Vorgehensweise wurden, wo möglich, aktuelle energiestatistische Daten herangezogen. Details zur Berechnungsmethodik werden instrumentenspezifisch in Anhang 2 erläutert.

2.2 Stromverbrauch aus Erneuerbaren

2.2.1 Studienauswahl

Eine große Herausforderung bei der Literaturanalyse zur Bewertung der Entwicklung Erneuerbarer Energien in Deutschland ist die Tatsache, dass eine sehr große Anzahl von Studien zum Stromsektor existiert. Meist sind die erstellten Szenarien bzgl. des Ausbaus erneuerbarer Energien jedoch durch bestimmte Mechanismen und Zielvorgaben getrieben und nicht mit dem Ziel erstellt, die Wirkung der aktuellen Maßnahmen zu bestimmen. Die hohe Änderungsgeschwindigkeit beim zentralen Förderinstrument, des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), und die Dynamik des Ausbaus führt weiterhin dazu, dass die Studien sehr schnell veralten. Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen wurde im Rahmen der Auswertung auf eine Zusammenstellung unterschiedlicher Szenarien zurückgegriffen. Die aktuelle Mittelfristprognose der Übertragungsnetzbetreiber kommt dem Profil der Wirkungseinschätzung der aktuellen Förderpolitik derzeit vermutlich am Nächsten. Die zeitliche Reichweite endet jedoch 2020. Zusätzlich wurde das "Strengthened National Policies (SNP 30)" Szenario der „Studie Estimating energy system costs of sectoral RES and EE targets in the context of energy and climate targets for 2030“ analysiert, da hier ebenfalls ein Simulationsansatz für die Wirkungsanalyse nationaler Politiken der Förderung Erneuerbare Energien in Europa verwendet wurde. Die Studie bildet den Zeitraum bis 2050 ab. Zusätzlich zu diesen Studien wurden die im Rahmen dieses Projektes vielfach verwendeten übergreifenden Studien Klimaschutzszenarien 2050 und Energiereferenzprognose in die Literaturanalyse aufgenommen. Als weiterer Kontrastpunkt wurde die Studie Treibhausgasneutrales Deutschland des UBA aufgenommen, die insbesondere für das Jahr 2050 den notwendigen Ausbau Erneuerbarer Energien für eine vollständige Dekarbonisierung Deutschlands abschätzt.

Tabelle 3: Beschreibung der ausgewählten Studien im Bereich Stromverbrauch aus Erneuerbaren¹.

Autoren	Titel	Jahr
ÜNB	Mittelfristprognose 2018-2022	2017
UBA	Treibhausgasneutrales Deutschland	2015
ISI, Prognos, TU Wien, ECN, Comillas	Estimating energy system costs of sectoral RES and EE targets in the context of energy and climate targets for 2030 - SNP 30 Scenario	2014

¹ Zusätzlich wurden die relevanten Studien ausgewertet, die hier schon in der Gesamtübersicht gelistet wurden

2.2.1 Instrumentenauswahl

Das zentrale Förderinstrument für die Entwicklung der erneuerbaren Energien ist das EEG. Durch die Umstellung der Förderung auf Ausschreibung in weiten Bereichen der erfassten Technologien bewegt sich die Förderung von einer Preissteuerung hin zu einer Mengensteuerung. Vor diesem Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass direkte politische Mengenvorgaben die Entwicklung der erneuerbaren Energien maßgeblich bestimmen werden. So gab z.B. die Freiflächenausschreibungsverordnung für 2015 eine Menge von 500 MW installierter Leistung vor. Die ausgeschriebene Menge sinkt bis zum Jahr 2017 um 100 MW jährlich. Durch die teilweise Freistellung der Eigenversorgung von verschiedenen Abgaben und Steuern ergibt sich ein preisgesteuertes Fördersystem, das insbesondere im dezentralen Bereich seine Wirkung entfaltet. Die Wirkung hängt von einer Vielzahl ökonomischer und nichtökonomischer Aspekte ab. Im Rahmen der aktuellen Mittelfristprognose wird jedoch von einer begrenzten Entwicklung der Eigenerzeugung ausgegangen.

Tabelle 4: Beschreibung der Instrumente im Bereich Stromverbrauch aus Erneuerbaren

Instrument	Kurzbeschreibung	Jahr der Einführung
EEG 2014	Erneuerbare-Energien-Gesetz	2014

2.2.2 Bewertung der Instrumente

Im Anhang der vorliegenden Studie werden die recherchierten Wirkungen pro Instrument (Anhang 1) und die methodischen Grundlagen der Bewertung der Instrumentenwirkung (Anhang 2) ausführlich dargestellt. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde aufgrund der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt (vgl. Kapitel 3).

Vor dem Hintergrund der aktuell ausgewerteten Studien und Szenarien und der Entwicklung in der Vergangenheit kann davon ausgegangen werden, dass Deutschland sein Ausbauziel von mehr als 35% Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch erreicht. Unsicherheiten liegen aus derzeitiger Sicht vor allem im Bereich der meteorologischen Bedingungen des Jahres 2020, die ggf. aufgrund natürlicher Schwankungen zu einer geringeren Stromerzeugung führen könnten. Ein weiterer Faktor könnte ein derzeit nicht vorhergesehener Anstieg des Stromverbrauches aufgrund eines veränderten Migrationssaldos sein (vgl. Kapitel 3). Mittelfristig hat die Politik hier durch die Mengensteuerung der Ausschreibung jedoch die Möglichkeit, den Ausbau anhand der

gewünschten Zielvorgaben anzupassen. Aufgrund der z.T. mehrjährigen Projektentwicklungszeiten unterliegt das System jedoch einer gewissen Trägheit.

2.3 Wärme aus Erneuerbaren

2.3.1 Studienauswahl

Um die Beiträge der Instrumente zum Steuerungsziel „Wärme aus Erneuerbaren“ abzuschätzen, wurde eine Reihe von Studien ausgewertet (Tabelle 5). Im Allgemeinen wurde für die Ermittlung der Wirkungen auf Evaluationsstudien von Einzelinstrumenten zurückgegriffen. Für die prognostizierte Wirkung in zukünftigen Jahren wurden zusätzlich sektorübergreifende Szenarienstudien wie z.B. der aktuelle Projektionsbericht oder der Klimaschutzbericht herangezogen.

Tabelle 5: Beschreibung der ausgewählten Studien im Bereich Wärmeezeugung aus Erneuerbaren

Autoren	Titel	Jahr
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut / ISI)	Projektionsbericht 2017 gemäß Verordnung 525/2013/EU	2017
Öko-Institut et al.	Politiksznarien für den Klimaschutz VI	2013
BMUB	Klimaschutzbericht 2016 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020	2016
Öko-Institut, Fraunhofer ISI	Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms (1. Quantifizierungsbericht zum Klimaschutzbericht 2016)	2017
Diverse	Evaluierungsberichte zum Marktanzreizprogramm (MAP)	diverse
Langniß et al.	Zwölf Jahre Marktanzreizprogramm - Eine Bilanz	2013
BMU	Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG-Erfahrungsbericht)	2012
BMW i	2. Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (2. EEWärmeG-Erfahrungsbericht)	2015
DBFZ/UFZ/IWES	Stromerzeugung aus Biomasse (<i>EEG-Monitoring</i>)	diverse
IWU/IFAM bzw. BEI/Universität Bremen	Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ inklusive Monitoring der Vorgängerprogramme	diverse
BEI bzw. IFAM	Evaluation der KfW-Programme „KfW-Kommunalkredit - Energetische Gebäudesanierung“, „Energieeffizient Sanieren – Kommunen“ und „Sozial investieren – Energetische Gebäudesanierung“	diverse
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg	Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg	2011

Prognos/IFAM/ IREES/BHKW- Consult	Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014	2014
Prognos/BEA	Zwischenüberprüfung zum Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung	2011
Öko-Institut/Ziesing/IZES	KWK-Ausbau: Entwicklung, Prognose, Wirksamkeit im KWK-Gesetz unter Berücksichtigung von Emissionshandel, Erneuerbare-Energien-Gesetz und anderen Instrumenten	2014

2.3.2 Instrumentenauswahl

Einen Überblick über die untersuchten Instrumente, die quantitativ auf das Steuerungsziel „Wärme aus Erneuerbaren“ wirken, bietet Tabelle 6. Während einige dieser Instrumente primär das Steuerungsziel „Wärme aus Erneuerbaren“ adressieren (MAP, EEWärmeG), sind andere eng mit dem Steuerungsziel „Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme“ verzahnt (KfW-Gebäudeprogramme, EnEV). Zudem tragen auch Instrumente, die vornehmlich den Stromsektor betreffen (EEG, KWKG), zum Ausbau erneuerbarer Wärme bei.

Tabelle 6: Beschreibung der Instrumente im Bereich Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren

Instrument	Kurzbeschreibung	Jahr der Einführung
MAP	Förderung von Investitionen in die Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung sowie zur Bereitstellung von Prozesswärme. Derzeit werden Anlagen aus den Bereichen Solarthermie, Biomasse, Wärmepumpen und Tiefengeothermie, sowie Wärmenetze und Speicher, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden, gefördert. Seit 2016 wird das MAP durch das Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE) ergänzt und verstärkt.	1999
EEWärmeG	Nutzungspflicht zum Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteversorgung vornehmlich in Neubauten (Wohn- und Nichtwohngebäude). Für öffentliche Gebäude gilt die Nutzungspflicht auch im Falle einer grundlegenden Renovierung. Neben der Primärpflicht erkennt das EEWärmeG auch eine Reihe von Ersatzmaßnahmen an.	2009
EEG	Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Daneben durch die Förderung von KWK-Anlagen insb. auf Basis von Biomassen auch ein Treiber der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien.	2000
KfW-Gebäudeprogramme	Förderung der energetischen Sanierung von Gebäuden durch zinsvergünstigte Kredite sowie Tilgungszuschüsse und Investitionszuschüsse. Berücksichtigung aktueller Programme sowie der Vorgängerprogramme.	diverse
EnEV	Energetische Mindestanforderungen an Neubauten sowie an Bestandsgebäude im Falle einer größeren Sanierung. Gebäudespezifische Höchstwerte für Neubauten sowie Mindestanforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle.	2002

KWKG	Ausbau der Stromerzeugung aus KWK durch Förderung der Modernisierung und des Neubaus von KWK-Anlagen, die Unterstützung der Markteinführung der Brennstoffzelle und die Förderung des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältenetzen sowie von Wärme- und Kältespeichern.	2002
-------------	--	------

Die geplante Zusammenführung von EnEG/EnEV/EEWärmeG in einem Regelwerk dient aus Sicht der Gutachter der Vereinfachung von Anwendung und Vollzug; ein quantitativer Beitrag zum Steuerungsziel Wärme aus Erneuerbaren wird jedoch nicht erwartet.

Auch die Förderstrategie "Energieeffizienz und Wärme aus erneuerbaren Energien", die das BMWi im Mai 2017 zur Strukturierung, Bündelung und adressatengerechteren Ausgestaltung einzelner Förderangebote vorgelegt hat, wird in Bezug auf das Steuerungsziel Wärme aus Erneuerbaren als flankierende Maßnahme ohne direkten quantitativen Zielbeitrag betrachtet.

Weitere flankierende Maßnahmen im Bereich Wärme aus Erneuerbaren sind der gebäudeindividuelle Sanierungsfahrplan für Wohn- und Nichtwohngebäude, das Forschungsnetzwerk „Energie in Gebäuden und Quartieren“ sowie die Energieeffizienzstrategie Gebäude (vgl. [BMUB 2016]).

Zu den Wirkungen des KfW-Programms IKK/IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung sowie des Landesgesetzes EWärmeG in Baden-Württemberg sind keine belastbaren Daten verfügbar, weswegen diese Instrumente nicht berücksichtigt werden können.

2.3.3 Bewertung der Instrumente

Im Anhang der vorliegenden Studie werden die recherchierten Wirkungen pro Instrument (Anhang 1) und die methodischen Grundlagen der Bewertung der Instrumentenwirkung (Anhang 2) ausführlich dargestellt. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde aufgrund der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt (vgl. Kapitel 3).

Der real vorhandene Ausbau erneuerbarer Wärme ist häufig auf ein Bündel verschiedener Instrumente zurückzuführen. Dies gilt insbesondere für den Neubaubereich, aber auch für das Nah- und Fernwärmesegment. Zusätzlich wird ein Teil des Ausbaus durch die autonome Nachfrage getrieben. Eine instrumentenscharfe Wirkungsabschätzung ist daher als herausfordernd einzuschätzen und kann oftmals nur durch ergänzende eigene Untersuchungen sowie durch Modifikation von Studienergebnissen erfolgen (siehe Kapitel 3).

Grundsätzlich werden in Neubauten aufgrund des im Vgl. zum Gebäudebestands kleineren Segments, der energetischen Qualität der Gebäudehülle und dem damit einhergehenden geringeren Wärmebedarf deutlich geringere Beiträge zum Steuerungsziel „Wärme aus Erneuerbaren“ erzielt als im Gebäudebestand. Dennoch werden innovative Technologien z.B. auf Basis Erneuerbarer tendenziell eher im kleinen Neubausegment eingeführt, welche nach dortiger Erprobung in den breiten Markt getragen werden können. Daher sind Förder- und gesetzgeberische Impulse im Neubau wichtig für die Technologieentwicklung und -diffusion.

Die Instrumente zur Förderung erneuerbarer Wärme, insbesondere MAP und EEWärmeG, haben eine hohe Bedeutung für technologische Innovationen und Standards. So haben z.B. die Mindestanforderungen der MAP-Richtlinie an die Qualitätsmerkmale der geförderten Anlagen in der Vergangenheit häufig die Entwicklungen und die von der Industrie angebotenen Produkte stark beeinflusst.

Die betrachteten Förderinstrumente, insbesondere gewisse Fördersegmente des MAP, weisen mitunter hohe Hebeleffekte auf (i.e. $\text{€}_{\text{Invest}}/\text{€}_{\text{Förderung}}$). Ob diese im Einzelfall auch Mitnahmeeffekte enthalten, muss geprüft werden, vgl. [Fichtner et al. 2014]. Grundsätzlich ist bei den Förderinstrumenten zum Ausbau der Wärme aus Erneuerbaren in Gebäuden mit vergleichsweise hohen Beschäftigungseffekten zu rechnen, da Instrumente im Bausektor stark binnenwirksam sind [ISI et al. 2014].

Die Instrumente im Bereich „Wärme aus Erneuerbaren“ berücksichtigen verstärkt den Aspekt der Systemintegration bezüglich der Kopplung mit dem Strommarkt. Beispiele sind die Förderung von Wärmenetzen und -speichern durch MAP und KWKG sowie die Förderung lastmanagementfähiger Wärmepumpen im MAP.

2.4 Erneuerbare im Verkehr

Bei den Ausgestaltungen und den Wirkungen von Politikinstrumenten im Verkehrsbereich gibt es große Überschneidungen zwischen den Bereichen „Erneuerbare im Verkehr“ und „Reduktion Endenergieverbrauch im Verkehr“. Diese rühren unter anderem daher, dass es in der Zielarchitektur für den Bereich der Erneuerbaren Energien keine Steuerungsziele für den Sektor Verkehr gibt. Politische Ziele, wie die Reduktion der THG Emissionen um 40 % (sektorübergreifend) bis 2020, und strategische Ziele, wie z.B. das Erreichen von 1 Mio. Elektrofahrzeugen im Bestand bis zum Jahr 2020 sowie 6 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2030 oder die im Biokraftstoffquotengesetz geregelte Zielmarke für den Anteil der Biokraftstoffe bis 2020, gibt es jedoch. Außerdem sieht Art. 3 Abs. 4 EU-RL 2009/28/EG

eine Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor auf mindestens 10% bis 2020 vor. Viele Instrumente sind nicht eindeutig einem der beiden Bereiche zuzuordnen. Ein Beispiel ist die CO₂-Strategie für Pkw im Rahmen der Verordnung (EU) 443/2009. Die dort gesetzten Flottengrenzwerte für die direkten CO₂-Emissionen von Neuwagen bis 2020 können sowohl mit effizienten, konventionell angetriebenen Diesel- und Benzin Pkws als auch mittels Elektrofahrzeugen erreicht werden. Um die Doppelnennung zu vermeiden, wurden dem Bereich der Erneuerbaren im Verkehr nur eindeutig auf alternative und regenerative Energieträger abzielende Instrumente zugeordnet. Instrumente, die sowohl die Effizienz als auch die erneuerbaren Energien im Verkehr betreffen, sind dem Bereich der Effizienz (Endenergieverbrauch im Verkehr) zugeordnet.

2.4.1 Studienauswahl

Aus der Literaturrecherche ergab sich eine Vielzahl von Studien, die sich mit quantitativen Abschätzungen der Auswirkungen von verkehrspolitischen Maßnahmen beschäftigt. Viele Studien wie z.B. das Klimaschutzszenario 2050 im Auftrag des BMUB bewerten allerdings nur Bündel an Instrumenten, weswegen diese Studien aus Sicht der Einzelmaßnahmen keine Aussagekraft haben und hier nicht betrachtet worden sind. Ebenfalls kann man bei den Studien keine Trennung zwischen den Bereichen „Erneuerbare im Verkehr“ und „Energieeffizienz im Verkehr“ vornehmen, weswegen die Liste der betrachteten Studien (siehe Tabelle 7) ebenfalls den Bereich „Endenergieverbrauch im Verkehr“ abdeckt.

Tabelle 7: Beschreibung der ausgewählten Studien im Bereich Erneuerbare im Verkehr

Autoren	Titel	Jahr
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut Fraunhofer ISI)	Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht	2017
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut / ISI)	Projektionsbericht 2017 gemäß Verordnung 525/2013/EU	2017
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut Fraunhofer ISI)	Projektionsbericht 2015 / Politiksznarien	2017
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut Fraunhofer ISI)	Projektionsbericht 2015 / Politiksznarien	2015
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut Fraunhofer ISI)	Projektionsbericht 2013 / Politiksznarien	2013
Öko-Institut	Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 - 1. Quantifizierungsbericht	2014
Fraunhofer ISI, IFEA, Prognos	Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) - Thesenpapier zum Handlungsfeld 5 Transport und Mobilität	2014
Öko-Institut, DIW, Fraunhofer ISI, IEK-STE	Politiksznarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030	2013
Fraunhofer ISI, INFRAS, IFEU	Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr	2012
UBA	CO ₂ -Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland	2010

2.4.2 Instrumentenauswahl

Im Bereich der Erneuerbaren im Verkehr wurden zum einen das Instrument „Förderung Elektromobilität“ und zum anderen die Regelung zur „Biokraftstoffbeimischung“ ausgewählt. Das erste Instrument ist Bestandteil des Aktionsplans Klimaschutz 2020. Es beinhaltet eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen, die in den betrachteten Studien als Bündel bewertet worden sind. Beim Instrument Biokraftstoffbeimischung wird die ab 2015 geltende neue Regelung zur

Beimischung nach dem Biokraftstoffquotengesetz bewertet. Der 2016 eingeführte Umweltbonus für die Anschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ist in den ausgewerteten Studien noch nicht erfasst.

Tabelle 8: Beschreibung der Instrumente im Bereich Erneuerbare im Verkehr

Instrument	Kurzbeschreibung	Jahr der Einführung
Förderung Elektromobilität	Bündelung von Instrumenten im Rahmen des Regierungsprogramms Elektromobilität aus 2011 zur Förderung der Elektromobilität und neue Instrumente, wie z.B. Sonder-AfA für gewerblich genutzte E-Fahrzeuge	2011
Biokraftstoffbeimischung	Gesetzlich geregelte Biokraftstoff- bzw. Treibhausgasminderungsquoten	ab 2006

2.4.3 Bewertung der Instrumente

Im Anhang der vorliegenden Studie werden die recherchierten Wirkungen pro Instrument (Anhang 1) und die methodischen Grundlagen der Bewertung der Instrumentenwirkung (Anhang 2) ausführlich dargestellt. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde aufgrund der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt (vgl. Kapitel 3).

Die Ausgestaltung der Instrumente zur Förderung der Elektromobilität wird nach Einschätzung von Experten aus dem Automobilssektor unter den momentanen Voraussetzungen (z.B. niedrige Ölpreise) nicht ausreichen, um die Zielmarke von 1 Mio. Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 zu erreichen.

2.5 Reduktion Bruttostromverbrauch

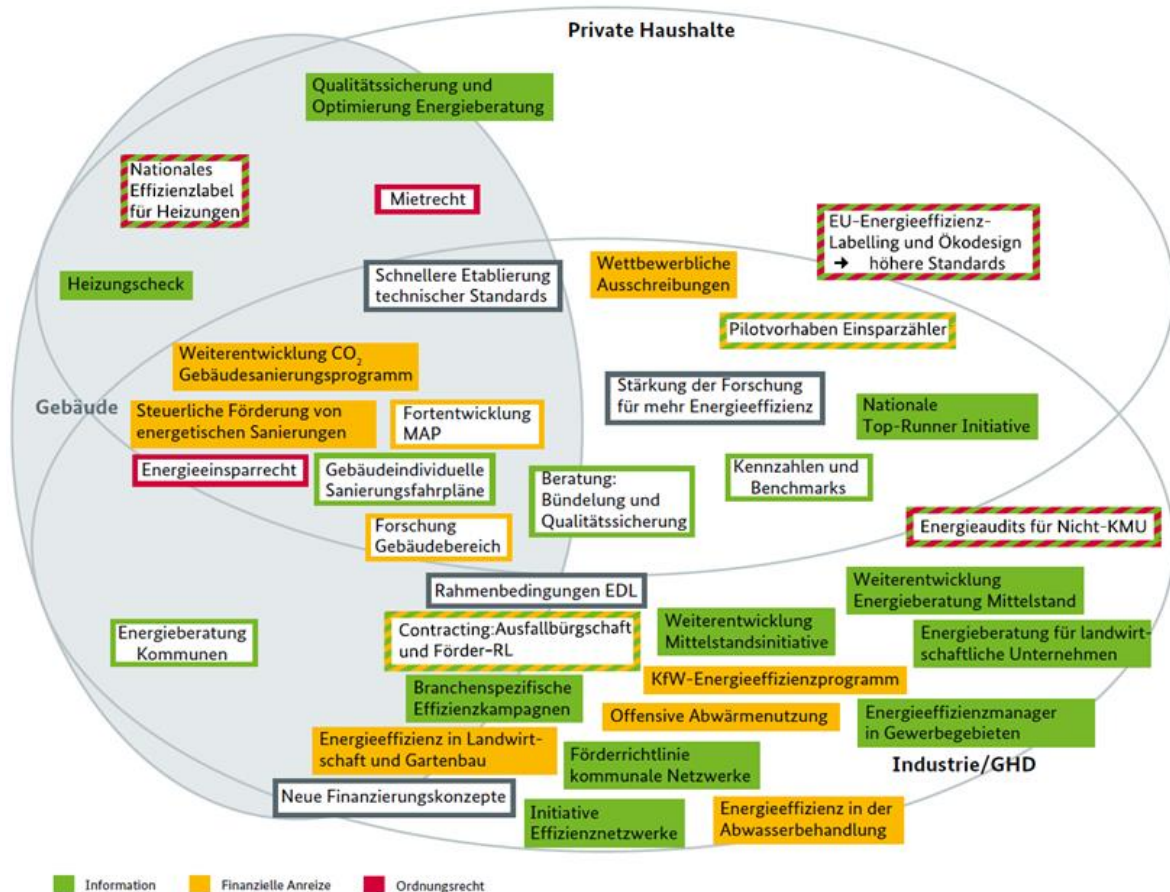
2.5.1 Studienauswahl

Ein wesentliches Charakteristikum von Instrumenten zur Förderung der Energieeffizienz und der Reduktion des Energieverbrauchs in Deutschland ist deren Vielfältigkeit und Kleinteiligkeit. Die Gründe dafür liegen in vielfältigen monetären, aber auch nicht-monetären Hemmnissen, die einer Realisierung von Energieeffizienzmaßnahmen in privaten Haushalten und Unternehmen

entgegenstehen. Relevante Hemmnisse sind beispielsweise mangelnde Kenntnisse über den eigenen Energieverbrauch und mögliche Effizienzmaßnahmen oder die mangelnde Verfügbarkeit von Eigen- oder Fremdkapital für die erforderlichen Investitionen. Instrumente der Energieeffizienzpolitik zielen darauf ab, diese Hemmnisse zu reduzieren und dadurch eine stärkere Umsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz zu erreichen. Da die Hemmnisse in den einzelnen Sektoren und Anwendungsbereichen jedoch sehr unterschiedlich sein können, erfordert dies in der Regel die Bündelung verschiedener Instrumententypen. Dazu gehören Instrumente des Ordnungsrechtes, Instrumente zur Information, Motivation und Qualifikation sowie zur finanziellen Förderung. Auch stärker marktgetriebene Instrumente wie die wettbewerbliche Ausschreibung von Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz spielen eine zunehmende Rolle im Policy Mix.

Mit dem Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) wurde Anfang Dezember 2014 ein solches Bündel von Instrumenten beschlossen, mit denen ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung der auf die Energieeffizienz abzielenden Ziele des Energiekonzepts erreicht werden sollte. Abbildung 3 visualisiert die Vielfalt der auf die Erhöhung der Energieeffizienz gerichteten Instrumente. Sie umfassen sowohl neu konzipierte Instrumente wie das wettbewerbliche Ausschreibungsmodell für Stromeffizienz, als auch die Weiterentwicklung bereits bestehender Instrumente wie die KfW-Programme zur Förderung der Energieeffizienz in Gebäuden und im gewerblichen Bereich. Die meisten dieser Instrumente adressieren sowohl Strom- als auch die Wärmeeffizienz, so dass eine strikte Trennung dieser beiden Bereiche nicht möglich ist. Die in diesem Abschnitt ausgewählten Studien und Instrumente beziehen sich daher häufig sowohl auf den Strom- als auch auf den Wärmebereich. Die Quantifizierung der Instrumentenwirkungen erfolgt jedoch getrennt für Strom und Wärme.

Abbildung 3: Instrumente des NAPE zur Förderung der Energieeffizienz in den Sektoren private Haushalte, Industrie und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD)



Quelle: BMWi 2014a

Der NAPE ist auch eine der Literaturquellen, die hier für die Bewertung der Beiträge von Instrumenten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Reduktion des Strom- (und Endenergie)verbrauchs ausgewählt wurden. Dazu kommen an instrumentenübergreifenden Studien noch das zur gleichen Zeit beschlossene Aktionsprogramm Klimaschutz (APK) 2020 [BMUB 2014], das ebenfalls einige die Energieeffizienz im Strom –und Wärmebereich adressierende Instrumente enthält. Allerdings sind die ursprünglich für den NAPE und das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 vorgenommenen Wirkungsabschätzungen aus heutiger Sicht nicht mehr aktuell. Aus diesem Grund wurden für den vorliegenden Bericht weitere aktuelle Datenquellen zur Bewertung der Instrumente des NAPE und des APK 2020 einbezogen. Diese beinhalten zum einen den aktuellen Klimaschutzbericht zum APK 2020 (BMUB 2016) einschließlich des Berichts der wissenschaftlichen Begleitforschung [Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a]. Zusätzlich wurden erste Ergebnisse aus dem 2. Quantifizierungsbericht [Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b] berücksichtigt, der eine

Grundlage für den nächsten Klimaschutzbericht zum APK 2020 darstellt. Außerdem konnte auch auf erste Ergebnisse der Evaluierung von Einzelinstrumenten des Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) zurückgegriffen werden, die im Frühjahr 2017 BMWi-intern – teilweise unterstützt durch die mit der Evaluation beauftragten Instituten – durchgeführt wurde [BMWi 2017b]. Darüber hinaus konnten auch einige aktuelle Ergebnisse aus der Evaluierung des Energieeffizienzfonds [Hirzel et al. 2017] in die Analyse einbezogen werden.

Eine weitere wichtige Datenquelle stellt der Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NEEAP) unter der EU Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU) dar, der in 3-jährigem Rhythmus - zuletzt für 2014 und 2017 - vorgelegt wird [BMWi 2014b, 2017a]. In diesem werden neben den neuen Instrumenten des NAPE und APK 2020 auch bereits bestehende Instrumente im Hinblick auf ihre Einsparwirkung quantifiziert.

Eine szenarienbasierte Wirkungsanalyse liefern darüber hinaus die alle zwei Jahre erstellen Projektionsberichte der Bundesregierung unter dem Kyoto-Protokoll [Bundesregierung 2013, 2015, 2017]. Diese beinhalten jeweils ein „Mit-Maßnahmen“-Szenario (MMS) mit zu einem bestimmten Zeitpunkt bereits bestehenden Instrumenten und ein „Mit-Weiteren-Maßnahmen“-Szenario (MWMS) mit neuen oder weiterentwickelten Instrumenten.

Ebenfalls berücksichtigt werden – neben den aktuellen Evaluierungen einzelner neuer Instrumente des NAPE – auch Evaluationsstudien zu schon länger bestehenden Einzelinstrumenten, beispielsweise die regelmäßige Evaluierung verschiedener KfW-Programme und des Marktanreizprogrammes (MAP).

Tabelle 9 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die für das Steuerungsziel Reduktion des Stromverbrauchs ausgewählten Studien, die in der Regel auch – wie oben beschrieben – Angaben zur Reduktion des Endenergieverbrauchs für Wärme enthalten.

Tabelle 9: Beschreibung der ausgewählten Studien für die Bereiche „Reduktion Stromverbrauch“ und „Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme“

Autoren	Titel	Jahr
BMWi	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)	3.12.2014
Fraunhofer ISI/IFAM, Prognos, Ifeu, Ringel	Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE)	2014
BMWi	NAPE-Monitoring	2017
BMUB	Aktionsprogramm Klimaschutz 2020	3.12.2014

Öko-Institut	Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen. Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020.	2014
BMUB	Klimaschutzbericht 2016 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020	2016
Öko-Institut, Fraunhofer ISI	Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms (1. Quantifizierungsbericht zum Klimaschutzbericht 2016)	2017
Öko-Institut, Fraunhofer ISI	Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms (2. Quantifizierungsbericht zum Klimaschutzbericht 2017)	2017 (vorläufig)
BMW	NAPE-Monitoring: NAPE-Bilanz 2017, Stand Juli 2017	2017
BMW	Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplans 2014 (NEEAP) unter der Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU)	2014
BMW	Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplans 2017 (NEEAP) unter der Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU)	2017
Prognos / Fraunhofer ISI	Studie zur Vorbereitung des Nationalen Energieeffizienz-Aktionsplans 2014 der Bundesregierung	2014
BMW	Mitteilung der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland an die Europäische Kommission gemäß Artikel 7 der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz (2012/27/EU)	5.6.2014
Prognos	Endenergieeinsparziel gemäß Art. 7 EED und Abschätzung der durch politische Maßnahmen erreichbaren Energieeinsparungen	2012
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut /Fraunhofer ISI)	Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG	2013
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut / Fraunhofer ISI)	Projektionsbericht 2015 gemäß der Verordnung 525/2013/EU	2015
Bundesregierung (basierend auf Öko-Institut / Fraunhofer ISI)	Projektionsbericht 2017 gemäß der Verordnung 525/2013/EU	2017
Fraunhofer ISI, Öko-Institut, IREES, Ecofys	Entwicklung eines Konzepts für das Erreichen der nationalen Energieeinsparziele bis 2020 und bis 2050 auch unter Berücksichtigung relevanter EU-Vorgaben im Kontext einer ganzheitlichen Klima- und Energiepolitik („Aktionsplan Energieeffizienz“)	2016
Fraunhofer ISI, Ifeu, Prognos (Hirzel et al.)	Zweiter Bericht zur Evaluierung des Energieeffizienzfonds	2017
Diverse	Evaluationen von Einzelinstrumenten (u.a. KfW-Energieeffizient Sanieren und Bauen, KfW Kommunale Programme, BAFA-Vor-Ort-Beratung, Evaluierung der stationären	diverse

	Energieberatung, KfW-Programme Sonderfonds Energieeffizienz der KfW, Energieberatung Mittelstand, vzbv Stromsparcheck)	
--	--	--

2.5.2 Instrumentenauswahl

Die für die Analyse ausgewählten zentralen Instrumente zur Erhöhung der Energieeffizienz sind in Tabelle 10 dargestellt. Diese umfassen einen Mix von Instrumenten aus den Bereichen Ordnungsrecht, Information/Beratung sowie finanzieller Förderung. Die meisten Instrumente betreffen sowohl den Stromverbrauch als auch den Endenergieverbrauch für Wärme und gelten daher auch für den Wärmebereich.

Tabelle 10: Beschreibung der Instrumente für die Bereiche „Reduktion Stromverbrauch“ und „Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme“

Instrument	Kurzbeschreibung	Relevant für	
		Strom EFF	Wärme EFF
Bafa Vor-Ort-Beratung	Im Rahmen der Vor-Ort-Energieberatung werden Sanierungskonzepte bzw. ab 1.7.2017 gebäudeindividuelle Sanierungsfahrpläne von qualifizierten und unabhängigen Fachleuten für Wohngebäude finanziell gefördert.	(X)	X
vzbv Stationäre Beratung	Förderung von Energiesparberatungen, bei denen der Kunden in den Räumen der Beratungsinstitution einen etwa halbstündigen Termin wahrnimmt.	X	X
Energieberatung Mittelstand/KMU	Mit dem Programm sollen durch qualifizierte und unabhängige Energieberatungen Informationsdefizite in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU nach EU-Definition) überwunden und Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz angestoßen werden.	X	X
Energieeffizienznetzwerke Unternehmen	Zwischen 2009 und 2012 wurden im Rahmen des von der Nationalen Klimainitiative (NKI) des BMU geförderten Lernende-Energieeffizienz-Netzwerke in Deutschland etabliert. Darüber hinaus wurde in der Folge des NAPE eine Initiative der Bundesregierung und Verbänden der deutschen Wirtschaft zur Etablierung von weiteren 500 Energieeffizienznetzwerken bis zum Jahr 2020 gestartet.	X	X
NKI Kommunalrichtlinie	Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Klimaschutzinitiative (kurz: Kommunalrichtlinie), Finanzielle Unterstützung von Kommunen bei ihren Anstrengungen im Klimaschutz.	X	X

Contracting-Beratung	Förderung von Initialberatungen und Umsetzungsbegleitungen von ESC-Projekten, gezielte Qualifikation von Contracting-Berater.	X	X
Kommunale Effizienznetzwerke	Seit 2015 werden, in Anlehnung an die Energieeffizienz-Netzwerke für Unternehmen, kommunale Energieeffizienz-Netzwerke gefördert.	X	X
Öko-Design	Die EU-Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG setzt einen Rahmen für die Festsetzung von Mindeststandards von energieverbrauchsrelevanten Geräten. Die Mindeststandards werden in Durchführungsmaßnahmen für einzelne Produkte festgesetzt.	X	X
Nationale Top-Runner-Initiative (NTRI)	Die im NAPE beschlossene „Nationale Top-Runner-Initiative“ (NTRI) ist eine Informations-, Dialog- und Impulsinitiative, die im Kontext der Weiterentwicklung des EU-Labels zur Energieverbrauchskennzeichnung als zentrales Energieeffizienz-Instrument etabliert werden soll. Ziel ist, entlang der Wertschöpfungskette Hersteller-Händler-Verbraucher, die beschleunigte Marktdurchdringung qualitativ hochwertiger Dienstleistungen und Produkte (Top Runner) voranzubringen, die zur Senkung des Energieverbrauchs beitragen. Die NTRI ist zum 1.1.2016 gestartet.	X	
Energieausweis	Der Energieausweis ist bei Verkauf oder Vermietung dem potentiellen Käufer oder Mieter vorzulegen. Er soll Auskunft geben über die energetische Qualität von Gebäuden.	(X)	X
KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren (EBS)	Zinsverbilligte Kredite sowie Tilgungszuschüsse und Investitionszuschüsse für energetische Sanierung. Gefördert werden die umfassende Sanierung zum KfW-Effizienzhaus sowie hocheffiziente Einzelmaßnahmen am Gebäude sowie der Anlagentechnik.	X	X
KfW Kommunale Programme	Zinsvergünstigte Darlehen für kommunale Gebäude mit Baujahr vor 1995 über die Programme „IKK/IKU – Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Sanieren“	X	X
KfW Energieeffizienzprogramm	Mit dem KfW-Energieeffizienzprogramm unterstützt das KfW gewerbliche Unternehmen bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen mit zinsgünstigen Darlehen.	X	X
KfW Nichtwohngebäude	Förderung technischer Maßnahmen im Bereich der Nichtwohngebäude.	(X)	X
Marktanreizprogramm (MAP)	Förderung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärme- und Kältebereitstellung sowie bestimmte Wärmespeicher und Nahwärmenetze.	(X)	X
BAFA Querschnittstechnologien	Zuschüsse für Investitionen in hocheffiziente Querschnittstechniken für KMU.	X	(X)
Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEPup!)	Markt- und transaktionsorientierte Verteilung von Fördermitteln mittels Ausschreibungen. Ziel der Ausschreibungen es ist, grundsätzlich akteurs-, sektor- und technologieoffen die Umsetzung von Stromeffizienzmaßnahmen zu fördern.	X	

NKI gewerbliche Klima- und Kälteanlagen	Förderung von Kälte- und Klimaanlage im Gewerbe im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI). Das Programm bietet finanzielle Zuschüsse für die energetische Optimierung bestehender Anlagen, den Neubau hocheffizienter Anlagen sowie Zuschüsse für Komponenten wie Wärmetauscher oder Kältemittel mit besonders niedrigem „Global Warming Potential (GWP)“.	X	
EnEV	Die Energieeinsparverordnung (EnEV) regelt die energetischen Mindestanforderungen an Neubauten sowie an Bestandsgebäuden im Falle einer größeren Sanierung. Die ordnungsrechtlichen Anforderungen gelten dabei sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude, sofern diese regelmäßig geheizt oder gekühlt werden.	X	X
EEWärmeG	Das EEWärmeG schreibt für Neubauten mit Bauantrag ab dem 1. Januar 2009 eine Nutzungspflicht erneuerbarer Energien zur anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteendenergiebedarfs vor.	(X)	X
Energieauditpflicht Art. 8 EED	Aus Artikel 8 EED resultiert die Verpflichtung, in so genannten „Nicht-KMU“ verbindliche Energieaudits durchzuführen (Mitarbeiterzahl ≥ 250 Mitarbeiter bzw. Umsatz ≥ 50 Mio. Euro). Die Audits in den betroffenen Unternehmen sollen durch einen unabhängigen, qualifizierten Experten nach DIN EN 16247-1 durchgeführt werden.	X	X
NAPE Abwärmeprogramm	Das Programm soll Industrieunternehmen unterstützen, Maßnahmen zur energetischen Optimierung des Produktionsprozesses bzw. zur wirtschaftlichen Nutzung vorhandener Abwärmepotenziale zu implementieren, indem bestehende Informationshemmnisse im Markt abgebaut sowie finanzielle Anreize für Beratungs- und Investitionsmaßnahmen gesetzt werden.		X
Energiesparzähler	Durch neue IT-Technologien wird es möglich, nicht nur den Gesamtenergieverbrauch in einem privaten Haushalt, Gebäude oder Unternehmen zu messen, sondern auch den Energieverbrauch einzelner Geräte, Anlagen oder Anlagenteile. Von diesen Möglichkeiten macht das Pilotprogramm „Einsparzähler“ Gebrauch, das im Mai 2016 gestartet ist. Es richtet sich an Dienstleister, die bei ihren Kunden –IT-Pilotprojekte zum Sparen von Strom, Gas, Wärme oder Kälte mittels „smarter“ Lösungen (Smart „Home“/„Building“/„Industry“) durchführen wollen. Allen Projekten gemeinsam ist, dass die Energieeinsparung vorher/nachher gemessen und die resultierenden Energieeinsparungen in Kilowattstunden und in Euro ausgewiesen werden. Die erzielte Energieeinsparung wird im Rahmen des Programms dann anteilig gefördert. Die Antragstellung erfolgt über das BAFA. Projekte werden mit bis zu einer Mio. € pro Projekt gefördert.	X	
Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	Ziel dieser Maßnahme ist es, die Motivation der Gebäudeeigentümer zum Austausch alter, ineffizienter und damit treibhausgasintensiver Heizungsanlagen zu fördern.		X

	<p>Es ist vorgesehen, dass verschiedene Akteure (Heizungsinstallateure, Schornsteinfeger, Gebäudeenergieberater) ab 2016 auf freiwilliger Basis ein neues Energie-label an Heizkessel vergeben die älter als 15 Jahre sind. Ab 2017 sollen dann auch die Bezirksschornsteinfeger verpflichtete werden, im Anschluss an die Feuerstätten-schau das Label anzubringen.</p>		
Stromsparmcheck / Stromsparmcheck PLUS	<p>Der Stromspar-Check (www.stromspar-check.de) ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Caritasverbandes und des Bundesverbandes der Energie- und Klimaschutzagenturen (eaD), das vom BMUB gefördert wird. Bis Ende 2015 förderte das BMUB das Pilotprojekt „StromsparCheck PLUS“. Es beinhaltet für Haushalte mit geringem Einkommen Beratungen im Haushalt, die kostenlose Bereitstellung/Installation von einfachen Energieeinsparartikeln sowie bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen einen Zuschuss zur Beschaffung eines hochenergieeffizienten Kühlgerätes. Zum 01.04.2016 ist das neue Projekt „Stromsparmcheck Kommunal“ im Rahmen der Nationalen Klima-initiative (NKI) gestartet. Das Projekt baut auf das bisherige Beratungsangebot für einkommensschwache Haushalte auf.</p>	X	
NAPE Aufstockung KfW Programme – Teil des CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramms	<p>Die Maßnahme beinhaltet eine Aufstockung der Mittel für die Programme der KfW Gebäudesanierung um jährlich 200 Mio. Euro auf insgesamt rund 2,0 Mrd. Euro/a. Mit Hilfe der Mittel aus der Aufstockung sollen ausschließlich technische Einsparmaßnahmen im Bereich der Nichtwohngebäude gefördert werden.</p>		X
NAPE Kommunalberatung (ist Teil der Energieeffizienz-Netzwerke Kommunen) – siehe Ergänzungen dort	<p>Kommunen und kommunale Liegenschaften verfügen teils über technisch sehr anspruchsvolle Gebäude und Anlagen. Gleichzeitig bietet die Gesamtheit der in kommunaler Hand sich befindlichen Gebäude erhebliche Möglichkeiten, die Energieeffizienz deutlich zu steigern. Der Einstieg für entsprechende Sanierungen ist regelmäßig eine fundierte, an den speziellen Bedürfnissen von Kommunen ausgerichtete Energieberatung. Daher hat die Bundesregierung mit dem Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz beschlossen, ein Förderprogramm auf den Weg zu bringen, mit dem die Energieberatung vor Ort für eine energieeffiziente Sanierung und den Neubau kommunaler und sozial genutzter Gebäude und Anlagen unterstützt werden soll.</p>		X
Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE)	<p>Das „Anreizprogramm Energieeffizienz“ umfasst drei Förderbausteine, die teilweise in die bestehenden Förderprogramme der KfW und des BAFA integriert sind. Zum APEE gehören das „Heizung“- und „Lüftungspaket“, das KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ sowie der Zuschuss Brennstoffzelle zur Markteinführung.</p>	(X)	X

2.5.3 Bewertung der Instrumente

Im Anhang der vorliegenden Studie werden die recherchierten Wirkungen pro Instrument (Anhang 1) und die methodischen Grundlagen der Bewertung der Instrumentenwirkung (Anhang 2) ausführlich dargestellt. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde aufgrund der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt (vgl. Kapitel 3).

Für den Stromverbrauch orientieren sich die Werte überwiegend an dem zum Zeitpunkt der Berechnungen jeweils neuesten Studien, da diese mit den genannten Kriterien im Regelfall die größte Übereinstimmung haben. Dies waren für die in diesem aktualisierten Zwischenbericht dargestellten Werte bei den meisten Maßnahmen der Projektionsbericht [2017] der Bundesregierung oder der 2. Quantifizierungsbericht der wissenschaftlichen Begleitung des Klimaschutzberichts zum APK 2020 [Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b]. Letzterer greift wiederum u.a. auf die Ergebnisse des NAPE-Monitoring 2017 des BMWi sowie der Evaluierung des Energieeffizienzfonds [Hirzel et al. 2017] zurück.

Den weitaus größten Einsparbeitrag zum Strom-Reduktionsziel bis 2020 liefert die Ökodesign-Richtlinie, deren Mindeststandards sukzessive bereits ab 2010 Wirkung zeigten. Auch weitere schon länger wirksame Instrumente wie die KfW-Förderprogrammen „Energieberatung Mittelstand“ und „Energieeffizient Bauen und Sanieren“, die BAFA-Querschnittstechnologienförderung sowie die EnEV leisten einen größeren Beitrag zum Strom-Reduktionsziel. Mit Einschränkungen gilt dies auch für einige der im NAPE neu beschlossenen Maßnahmen wie die wettbewerblichen Ausschreibungen für Stromeffizienz oder die Etablierung von 500 Energieeffizienz-Netzwerken. Allerdings dürften hier die Einsparungen bis 2020 nach aktuellen Abschätzungen geringer ausfallen als im NAPE ursprünglich angenommen. Dies ist unter anderem auf Verzögerungen bei der Implementierung dieser Instrumente zurückzuführen. Außerdem sind die Unsicherheiten der Abschätzung hier größer als bei schon länger etablierten Programmen, weil noch keine oder nur erste Ergebnisse aus den laufenden Evaluierungsstudien vorliegen.

2.6 Reduktion Wärmebedarf

Gemäß dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 soll der Wärmebedarf von Gebäuden bis zum Jahr 2020 gegenüber 2008 um 20 % gesenkt werden. Der Wärmebedarf wird gemäß Energieeinsparrecht bestimmt. Nach dieser Definition umfasst der

gebäuderelevante Endenergieverbrauch für Wärme die Bedarfs-
werte für Raumwärme, Raumkühlung und Warmwasserbereitung.
Zusätzlich wird der Stromverbrauch für (fest installierte) Beleuch-
tung in Nichtwohngebäuden bilanziert.²

Im Jahr 2013 entfielen etwa 37,2 % des gesamten Endenergiever-
brauchs auf die gebäudespezifischen Anwendungen. Die Energie-
einsparung und die Energieeffizienz in Gebäuden spielt daher zur
Erreichung der Energiewende-Ziele eine wesentliche Rolle.

2.6.1 Studienauswahl

Zur Abschätzung der Beiträge der verschiedenen Instrumente zur
Zielerfüllung wurden die bereits im Stromsektor aufgeführten Stu-
dien berücksichtigt (vgl. Tabelle 9).

2.6.2 Instrumentenauswahl

Neben Maßnahmen, die zu einer Minderung der Energieverluste
über die Gebäudehülle führen, werden zur Erfüllung des Ziels zur
Senkung des Wärmebedarfs auch Maßnahmen berücksichtigt, die
zu Effizienzverbesserungen der Anlagentechnik führen.

Die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden wird seit vielen
Jahren durch einen breiten Instrumentenmix gefördert. Die einge-
führten Instrumente und Maßnahmen lassen sich in die Kategorien
"Informieren, Fördern & Fordern" einordnen und umfassen Bera-
tungsprogramme, Labelling-Maßnahmen, die Förderung investiver
Energiesparmaßnahmen sowie ordnungsrechtliche Instrumente.
Aufgrund der langen Investitionszyklen und Lebensdauer von
Maßnahmen im Gebäudesektor zeigen sich die Effekte einzelner
Maßnahmen erst über einen längeren Zeitraum. Zur Abschätzung
der Beiträge der verschiedenen Instrumente zur Zielerfüllung wur-
den die im Stromsektor aufgeführten Instrumente berücksichtigt
(vgl. Tabelle 10).

2.6.3 Bewertung der Instrumente

Im Anhang der vorliegenden Studie werden die recherchierten Wir-
kungen pro Instrument (Anhang 1) und die methodischen Grundla-
gen der Bewertung der Instrumentenwirkung (Anhang 2) ausführ-
lich dargestellt.

Die Ausweisung von instrumentenspezifischen Effekten ist im Be-
reich Wärme-Effizienz vergleichsweise komplex, da sich aufgrund
der über viele Jahre gewachsenen Maßnahmen- und Instrumen-
tenstruktur Effekte bewusst auch überlagern. Beispielsweise wer-
den die Einsparungen, die auf Beratungsmaßnahmen zurückge-
hen teilweise doppelt angerechnet, da sie gegebenenfalls durch

² Vgl. BMWi 2014. Die Energie der Zukunft: Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende, S.33

die Inanspruchnahme von weiteren investiven Fördermitteln realisiert wurden. Zum anderen sind die Beiträge zum Effizienzziel Wärme nur schwer abgrenzbar von Beiträgen zum Effizienzziel Strom, da Strom auch zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird. Darüber hinaus ist gemäß der Zieldefinition auch die Beleuchtung von Nichtwohngebäuden auf das Ziel anzurechnen, auch hierbei handelt es sich um Stromanwendungen.

Die in den betrachteten Studien werden die Instrumentenwirkungen teilweise unterschiedlich bewertet. Dies beruht u.a. auf unterschiedlichen methodischen Herangehensweisen sowie auf unterschiedliche Abgrenzung der Instrumente. In der zusammenfassenden Darstellung hier wurde zur Darstellung der Streuung der Bewertungen ein Minimum- und ein Maximum-Wert dargestellt (vgl. Kapitel 3). Für die Aggregation auf übergeordnete Steuerungsebenen wurde ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt. In der Regel wurde der Wert der jeweils aktuellsten Studie verwendet, teilweise wurde auf den Mittelwert der Maximum- und Minimum-Werte abgestellt.

Zentrale Effizienz-Instrumente im Wärmemarkt sind das Ordnungsrecht (EnEV sowie zu erneuerbaren Energien alternative Erfüllungsoptionen im EEWärmeG) sowie die KfW Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren. Die Energieberatung Mittelstand und die Energieberatung vor Ort des BAFA sind Informationsmaßnahmen mit besonders großer Breitenwirkung.

2.7 Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr

2.7.1 Studienauswahl

Die Auswahl der betrachteten Studien entspricht der in Tabelle 11 aufgelisteten Studien aus dem Bereich der Erneuerbaren im Verkehr.

2.7.2 Instrumentenauswahl

Da der NAPE keine Maßnahmen im Sektor Verkehr umfasst, wurden die Instrumente hauptsächlich aus dem Aktionsplan Klimaschutz 2020 entnommen. Instrumente wie das Carsharing-Gesetz, Single European Sky und die Stärkung der Wasserstraße wurden in Folge fehlender quantitativer Bewertungen der Reduktionspotenziale des Endenergieverbrauchs nicht in die Analyse einbezogen. Zusätzlich zu den Instrumenten des Aktionsprogramms Klimaschutz wurden noch weitere Instrumente aus dem Projektionsbericht 2015 und 2017 entnommen.

Die betrachteten Instrumente stellen dabei teilweise Instrumentenbündel dar. Bei der Evaluation der betrachteten Studien ergibt sich die Schwierigkeit, dass die Instrumente in den Studien unterschiedlich definiert sind.

Tabelle 11: Beschreibung der Instrumente im Bereich Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr

Instrument	Kurzbeschreibung	Jahr der Einführung
Ausdehnung Lkw-Maut (ab 7,5 t und auf Bundesstraßen)	Weiterentwicklung der 2005 auf BAB eingeführten Maut für Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr umfasst zum einen eine Erweiterung der Maut um die Kraftfahrzeuge zwischen 7,5 und 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht und zum anderen eine Ausdehnung der Maut auf 1,100 km Bundesstraßen und das nachgeordnete Straßennetz.	2016
Spreizung der Lkw-Mautsätze	Anwendung der Lkw-Maut anhand Wegekosten-Richtlinie (2011/76/EU) festgeschriebene Maximalabgabesatz für die Luftverschmutzung angesetzt und maximale Spreizung der Mautsätze (100 %)	2020
Förderung Rad- und Fußverkehr	Maßnahmen zur Verlagerung des Verkehrs vom Pkw hin zu Rad- und Fußverkehr auf kurzen Distanzen: Zuweisung von Bundesmitteln zum Bau von Radwege, Ausbau von Radwegen und Bundesstraßen und Bundeswasserstraßen, Maßnahmen zur Förderung der Intermodalität (z.B. Bau von Fahrradstationen, etc.) und Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Einführung einer Basisgeschwindigkeit	2020
Kraftstoffsparendes Fahren (Pkw und Lkw)	Förderung von kraftstoffsparendem Sparen durch die Ausgabe von Gutscheinen für Sprit-Spar-Trainings beim Kauf eines Neuwagens	2014
Stärkung des Schienengüterverkehrs	Aufhebung von Kapazitätsengpässen im deutschen Schienengüterverkehrsnetz durch Aufstockung der Mittel zwischen 2016 und 2018	2014
Stärkung des Öffentlichen Personenverkehrs	Erhöhung der Fördermittel (Bundesmittel, Regionalisierungsmittel und Förderung durch das GVFG) für den Öffentlichen Personenverkehr	2014
Förderung für energieeffiziente und Hybrid-LKWs	Förderung des Kaufs von energieeffizienten und Hybrid LKW durch das LKW-Innovationsprogramm, finanziert aus Mauteinnahmen im Rahmen der Harmonisierung der LKW-Maut	2017
Verlängerung Steuerprivileg Erdgasfahrzeuge	Beibehaltung der bis 2018 geltenden ermäßigten Energiesteuersätze für Erdgas und Autogas über das Jahr 2018 hinaus	2018
Novelle Bundesreisekostengesetz	Veränderung des Bundesreisekostengesetzes (BRKG): Gesetz soll Impulse zur stärkeren Nutzung umwelt- und klimafreundlicher Verkehrsträger setzen	2015
Klimaschutz internationaler Seeverkehr	Einführung eines EU-weiten Systems zur Erfassung und Berichterstattung von CO2 Emissionen aus dem Seeverkehr; Entwicklung des IMO-Prozesses zur Reduktion von CO2 Emissionen; Ausbau LNG Infrastruktur	2014
Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe	Unterstützung regionaler Märkte und gezielter Ansiedlung von Unternehmen mit dem Ziel der Reduktion der Transportdistanzen	2021
Verschärfung der CO2-Strategie für Pkw	Verschärfung der CO2-Regulierung für Neuwagenflotten bis 2030 bei Pkw über die festgelegten CO2-Flotten-Grenzwerte bis 2021 hinaus	2022
Verschärfung der CO2-Strategie für LNF	Verschärfung der CO2-Emissionsstandards für Neuwagenflotten bis 2030 bei LNF über festgelegte CO2-Flotten-Grenzwerte bis 2020 hinaus	2022
Einführung CO2-Regulierung SNF	Einführung einer CO2 Emissionsregulierung für SNF ab dem Jahr 2020	2018

Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements	Ziel des Beschlusses zur Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements ist, Pendel- und Arbeitswege erheblich nachhaltiger zu gestalten. Die Erstellung entsprechender Konzepte soll daher über eine Förderrichtlinie von BMUB und BMVI unterstützt werden.	2017
Luftverkehrssteuer und ETS im Flugverkehr ohne Deckelung	Luftverkehrssteuer und Integration des Flugverkehrs in den EU CO ₂ -Zertifikatehandel ohne Deckelung der jährlichen Belastung der Luftverkehrswirtschaft	2012
Änderung der Besteuerung von Dienst- und Firmenwagen	Änderung der Besteuerung von Dienst- und Firmenwagen soll einen steuerlichen Anreiz zum Erwerb effizienter Fahrzeuge setzen	

2.7.3 Bewertung der Instrumente

Im Anhang der vorliegenden Studie werden die recherchierten Wirkungen pro Instrument (Anhang 1) und die methodischen Grundlagen der Bewertung der Instrumentenwirkung (Anhang 2) ausführlich dargestellt. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde aufgrund der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt.

Die vorläufige Auswertung der quantitativen Ergebnisse im Bereich Endenergieverbrauch Verkehr lässt darauf schließen, dass noch weitere Maßnahmen zur Erreichung des Steuerungsziels in Betracht gezogen werden müssen. In der betrachteten Literatur existieren bereits Abschätzungen zu einer Vielzahl weiterer verkehrlicher Instrumente, wie z.B. der Einführung eines Bonus-Malus-Systems beim Kauf von Pkw, der Einführung eines Tempolimits auf deutschen Bundesautobahnen oder die Abschaffung der Entfernungspauschale.

2.8 Zwischenfazit

Auf Grundlage der Studienauswertung konnte ein erstes Bild zu den quantitativen Zielbeiträgen und qualitativen Effekten der Energiewende-Instrumente gezeichnet werden. Die Studienauswertung erlaubt jedoch noch nicht, die Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf konsistente Weise zusammenzufassen. Dies gilt insbesondere für Instrumente zur Erhöhung der Energieeffizienz und ist auf folgenden Gründe zurückzuführen:

- Viele der betrachteten Instrumente verfolgen dasselbe Ziel. Damit verbundene Wirkungsüberschneidungen und resultierende Doppelzählungen werden von manchen Studien noch nicht ausreichend berücksichtigt.
- Gleichermaßen sind die Erkenntnisse aus der Studienauswertung noch nicht frei von Lücken. Teilweise liegen zu

einzelnen (kleineren) Instrumenten oder relevanten Änderungen an bestehenden Instrumenten noch keine Evaluierungsergebnisse vor, teilweise werden die Wirkungen mancher Instrumente nicht in Bezug auf alle adressierten Steuerungsziele evaluiert (z.B. Effizienz und erneuerbare Energien in Gebäuden).

- Zur Berechnung der Wirkungen, insb. der quantitativen Zielbeiträge der Instrumente, werden in den Studien teilweise differierende Methoden und Annahmen angewandt. Ein direkter Vergleich der Wirkungen von Instrumenten, die durch unterschiedliche Evaluatoren vorgenommen wurden, ist damit häufig nicht möglich.

Für eine umfassende Beurteilung der Zielerreichung auf der Ebene der Steuerungs- und Kernziele der Zielarchitektur bedarf es daher im weiteren Projektverlauf ergänzender eigener Untersuchungen, welche die genannten Defizite beheben (vgl. Kapitel 3). Diese Untersuchungen bilden gleichzeitig die Basis für die Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Steuerungszielen Kapitel 4.

Eine wesentliche Aufgabe in den weiteren Arbeitsschritten besteht darin, eine über alle Instrumente und Sektoren hinweg konsistente Methodik zur Berechnung der Beiträge zu den Steuerungs- und Kernzielen sowie zur THG-Minderung zu erarbeiten. Diese muss den Bezug auf eine Referenzentwicklung ermöglichen, damit die Zielbeiträge in einem einheitlichen Bezugsrahmen erfasst werden können. Hier werden eine Reihe von Annahmen getroffen und Umrechnungen durchgeführt werden müssen, so dass die „endgültigen“ Zahlen nicht mehr direkt in den Quellstudien wiedergefunden werden können. Basis der folgenden Analysen sind die im Rahmen dieses Arbeitspakets ermittelten Studienschätzwerte pro Instrument und die Spannweiten der ermittelten Instrumentenwirkungen.

3 Ergänzende Untersuchungen und vertikale Analyse

3.1 Aufgabenstellung und Methodik

Um die Zielbeiträge aus den einzelnen Sektoren auf konsistente Weise zusammenzufassen, müssen gegenüber den Ergebnissen der Studiauswertung zum einen Konsistenz in den Wirkungsanalysen der einzelnen Instrumente hergestellt und zum anderen bestehende Bewertungslücken geschlossen werden. Dies ist Aufgabe des AP 2.

Zur Herstellung von Konsistenz ist es notwendig, die den Studien zugrundeliegenden Methoden und Annahmen, soweit möglich, zu harmonisieren und Doppelzählungen zu eliminieren. Sofern Zielbeiträge von einzelnen Maßnahmen auf Basis existierender Studien noch nicht ausreichend bekannt sind, werden diese durch ergänzende eigene Untersuchungen abgeschätzt.

In den nachfolgenden Kapiteln werden für die einzelnen Steuerungsziele jeweils die aggregierten, konsistenten Instrumentenwirkungen für das Jahr 2020 dargestellt und grundlegende methodische Annahmen hierfür erläutert. Für die detaillierte methodische Vorgehensweise bei der Ermittlung der Instrumentenwirkung pro Steuerungsziel sei auf Anhang 2 verwiesen. Kapitel 3 widmet sich zudem der Wirkungsanalyse der sog. übergeordneten Instrumente, die sich keinem Steuerungsziel zuordnen lassen. Kapitel 4 fasst in einer vertikalen Analyse die Wirkungen der Instrumente in Bezug auf die Reduktion des Primärenergieverbrauchs sowie der CO₂-Emissionen zusammen und analysiert die Zielerreichung in den verschiedenen Zielgrößen.

3.2 Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien

Im Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahre 2010 wird eine Zielmarke für den Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von mindestens 35 % im Jahr 2020 vorgegeben. Das zentrale Instrument für die Zielerreichung ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Im EEG des Jahres 2014 wurden die Zielvorgaben erweitert. So soll bis 2025 ein Anteil von 40-45% und bis 2035 ein Anteil von 55 bis 60% erreicht werden.

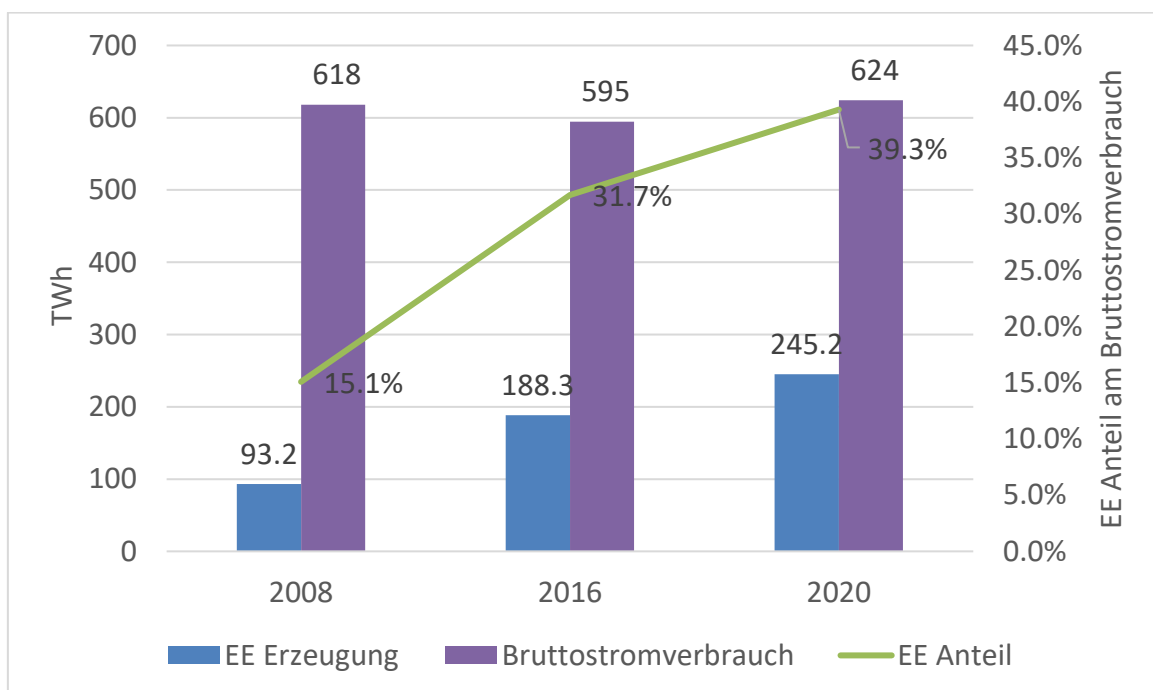
3.2.1 Aggregierte Instrumentenwirkung

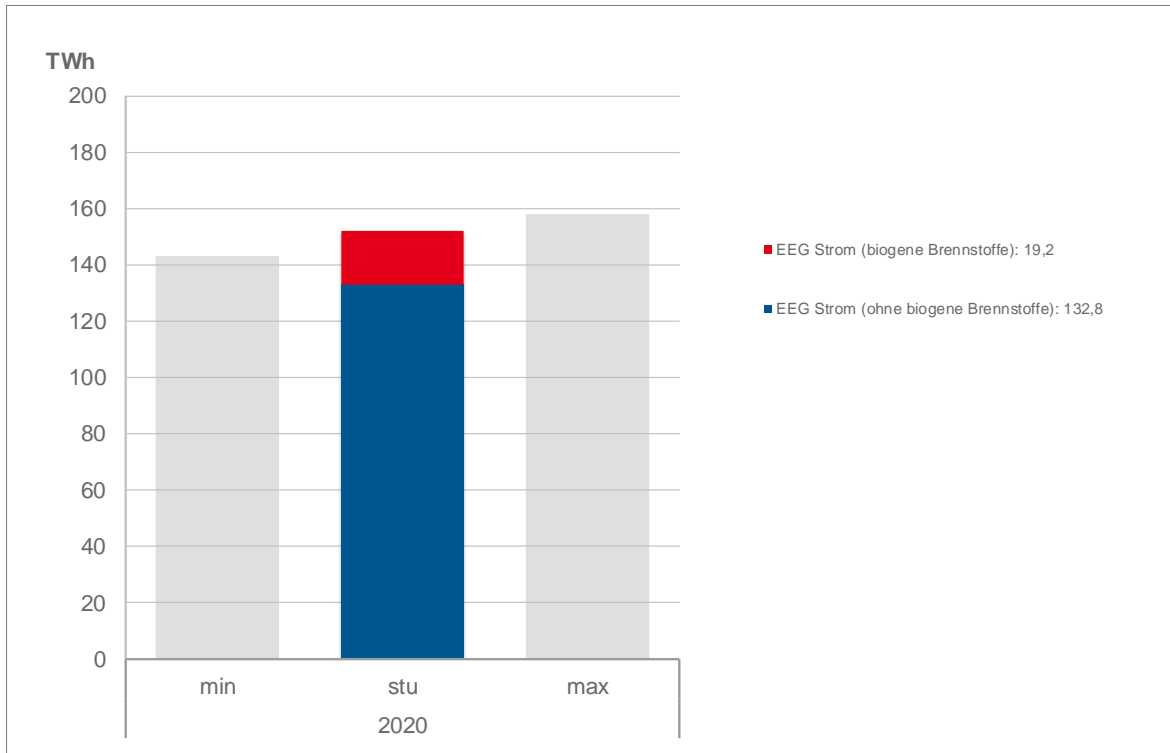
Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist von 93,2 TWh im Jahr 2008 bis auf 188,3 TWh im Jahr 2016 gestiegen. Dies

entspricht einer Steigerung des Anteils am Bruttostromverbrauch von 15,1% bis auf 31,7%. Auf der Grundlage der aktuellen ÜNB-Mittelfristprognose ergibt sich für das Jahr 2020 eine prognostizierte Stromerzeugung von ca. 245 TWh. Bereits gemessen an der in Kapitel 4 beschriebenen Referenzentwicklung des Bruttostromverbrauchs ohne Instrumentenwirkungen auf 624 TWh im Jahr 2020 entspricht dies einem Anteil von 39%. Das EEG entfaltet seine Wirkung im Wesentlichen über drei Mechanismen, die Förderung über Einspeisevergütung für Kleinanlagen, teilweiser Privilegierung von Eigenverbrauch und die Ausschreibung der Förderung von Projekten.

Abbildung 4 (unten) zeigt die erwarteten Instrumentenwirkungen für das Ziel des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien im Jahr 2020. Die am realistischsten eingeschätzte Instrumentenwirkung liegt bei rund 152 TWh bzw. 547 PJ. Das Minimum der Instrumentenwirkung wird mit rund 143 TWh bzw. 515 PJ abgeschätzt, das Maximum liegt bei rund 158 TWh bzw. 569 PJ.

Abbildung 4: *Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien absolut und bzgl. der Entwicklung des Bruttostromverbrauchs ohne Instrumentenwirkungen sowie aggregierte Instrumentenwirkung 2020*





Quelle: eigene Darstellung

3.2.2 Qualitative Bewertung

Die Prognose der Entwicklung für das Jahr 2020 basiert auf der ÜNB Mittelfristprognose aus dem Jahr 2017. Diese Projektion beinhaltet auch erwartete Rückbauten und wurde um die dort nicht erfasste große Wasserkraft ergänzt. Insgesamt ergeben sich bezüglich der Zielerreichung folgende Unsicherheiten: Die Stromerzeugung vieler erneuerbarer Energien ist wetterabhängig. In extremen Fällen kann die Stromerzeugung z.B. im Fall der Windenergie um bis zu 20 % vom langjährigen Mittel abweichen. Dies kann im realen Jahr 2020 zu entsprechend geringeren oder höheren Stromerzeugungsmengen führen. Da es sich hierbei jedoch um einen außerordentlichen Effekt handelt, der keine strukturelle Untererfüllung beinhaltet, kann dieser Aspekt im Rahmen dieser Betrachtung vernachlässigt werden. Eine weitere Unsicherheit ergibt sich aus der Realisation der zusätzlich zu installierenden Leistung im Zeitraum 2017 bis 2020. Aufgrund der aktuellen Beschlüsse zur Anwendung des Ausschreibungsverfahrens auf einen Großteil der Windenergie und der PV übernimmt der Staat in vielen Bereichen eine direkte Mengensteuerung. Dies reduziert die Unsicherheiten in der Mengenentwicklung deutlich. Somit verbleiben im Wesentlichen Unsicherheiten, die sich aus den bisher begrenzten Erfahrungen zu den Realisierungsraten ausgeschriebener Projekte ergeben. Zusätzlich wird derzeit der Aspekt der Abregelung Erneuerbarer Energien aufgrund von Netzengpässen stark oder negativen

Preisen auf dem Strommarkt stark diskutiert. Im Jahr 2014 betrug die Menge, die im Rahmen des Einspeisemanagements abgeregelt wurde laut BNetzA ca. 1.6 TWh. Selbst bei weitere steigenden Abregelungsmengen kann davon ausgegangen werden, dass die Zielerreichung für das Jahr 2020 nicht gefährdet wird, da hier ein Puffer von mehr als 10 TWh besteht. In der längeren Perspektive können die Auswirkungen begrenzten Netzausbaus jedoch deutlich höhere Bedeutung erreichen.

3.3 Wärme aus erneuerbaren Energien

3.3.1 Aggregierte Instrumentenwirkung

Für das Steuerungsziel „Wärme aus erneuerbaren Energien“ wurden zunächst die absoluten Beiträge der relevanten Politikinstrumente ermittelt. Relative Beiträge zur Bezugsgröße Endenergieverbrauch Wärme und Kälte und damit zum 14 %-Ziel werden an späterer Stelle im Rahmen der Zusammenschau der Ergebnisse auf den Steuerungsebenen berechnet.

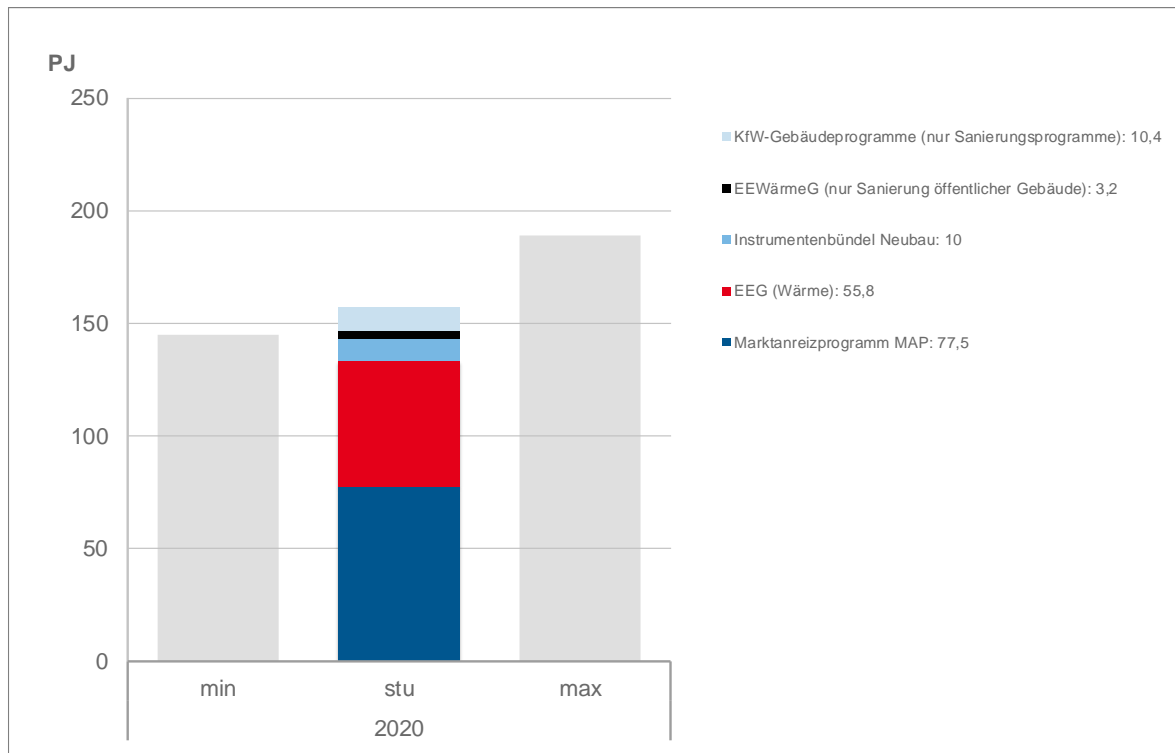
Die Berechnung der Instrumentenwirkungen erfolgte auf Basis der Studiauswertung sowie ergänzenden eigenen Untersuchungen. Ergänzende eigene Untersuchungen waren insbesondere für die Bestimmung von zukünftigen Wirkungsbeiträgen der Instrumente notwendig, da die betrachteten Szenarienstudien meist (Primär)energie- bzw. CO₂-Minderungsbeiträge ausweisen, die aufgrund von Wirkungsüberschneidungen mit den Effizienzzielen (insb. KfW-Programme und EnEV) allenfalls indirekt in EE-Wärme-Beiträge zurückgerechnet werden können. Außerdem beziehen sich die betrachteten Szenarienstudien oftmals auf andere Referenzentwicklungen und Wirkungsbeginnne, als das vorliegende Projekt erfordert. Zu einzelnen Instrumenten lagen in den Studien zudem nur unzureichende Erkenntnisse zu den Zielbeiträgen vor (z.B. zum Beitrag des EEG zur erneuerbaren Wärmebereitstellung). Diese Datenlücken wurden durch eigene Berechnungen geschlossen.

Im Allgemeinen basiert die eigene Abschätzung auf ex-post-Evaluierungen bestehender Instrumente, die auf Basis angenommener zukünftiger Aktivitätsraten (z.B. Anzahl Förderfälle) sowie spezifischer Wirkungen pro Aktivität (z.B. Endenergieverbrauch EE-Wärme je Förderfall) bottom-up fortgeschrieben wurden. Zu Berechnungsdetails sei auf Anhang 2 verwiesen. Im Falle der Instrumente, die den Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung im Gebäudeneubau fordern bzw. fördern, war eine instrumentenscharfe Zuweisung von Wirkungen nicht möglich. Die feststellbare Wirkung im Neubau wurde daher einem Instrumentenbündel zugeschrieben. Bei den Wirkungen von EEWärmeG, KfW-Gebäudeprogramme und EnEV sind die jeweiligen

Wirkungen im Neubau zur Vermeidung von Doppelzählungen nicht enthalten, da diese bereits dem Instrumentenbündel zugeschrieben wurden.

Abbildung 5 stellt die jährlich addierten Instrumentenwirkungen für das Jahr 2020 bezogen auf das Basisjahr 2008 dar.

Abbildung 5: *Instrumentenwirkung im Sektor Wärme aus erneuerbaren Energien*



Quelle: eigene Darstellung

Die am realistischsten angesehenen Instrumentenwirkungen summieren sich im Betrachtungszeitraum auf 157 PJ/a bis 2020. Das Minimum der Instrumentenwirkung liegt auf Basis der durchgeführten Analysen bei rund 145 PJ/a, das Maximum bei rund 189 PJ/a. Die wesentlichen Treiber des durch Politikinstrumente induzierten Ausbaus erneuerbarer Wärme sind das MAP und das EEG. Beim MAP ist dies darauf zurückzuführen, dass dieses vornehmlich den (zahlenmäßig deutlich größeren) Gebäudebestand adressiert, wo aufgrund des deutlich größeren Wärmebedarfs im Vergleich zum Neubau höhere Beiträge erzielt werden können. Beim EEG wird der EE-Wärme-Ausbau in erster Linie durch die Förderung von Biogas-BHKW getriggert.

Einige der betrachteten Instrumente sind mit dem Steuerungsziel Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme verzahnt (insb. EnEV und KfW-Gebäudeprogramme). Diese Instrumente induzieren Maßnahmen, die sowohl den (relativen) EE-Anteil am Wärmeverbrauch erhöhen können, als auch den Raumwärmebedarf

aufgrund von Wärmedämmung senken. Je nach Tiefe der thermischen Sanierung können diese Maßnahmen also dazu führen, dass der absolute Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien im Vergleich zum Referenzfall vor Maßnahmenbeginn nur geringfügig steigt oder sogar sinkt. Daher fallen die Zielbeiträge dieser sektorübergreifenden Instrumente eher gering aus.

Dem KWKG wurde kein Beitrag zum Steuerungsziel beigemessen, da die über das KWKG geförderten Anlagen fast ausschließlich mit fossilen Energien betrieben werden. Zwar reizt das KWKG den Ausbau von Wärmenetzen stark an, die potentiell mit erneuerbaren Energien gespeist werden können. Zur Vermeidung von Doppelzählungen wurden in dieser Studie jedoch die durch geförderte Wärmenetze geleiteten Wärmemengen stets dem Instrument zugeschrieben, welches vorrangig den Bau der einspeisenden EE-Wärme-Anlage anreizt (im Wesentlichen MAP und EEG).

3.3.2 Qualitative Bewertung

Um eine instrumentenscharfe Wirkungsabschätzung vornehmen zu können und um ein konsistentes Gesamtbild zu erhalten, mussten die Ergebnisse der Einzelstudien (AP 1) an einigen Stellen modifiziert werden. Im Allgemeinen wurden die ermittelten Beiträge der Einzelinstrumente in Bezug auf mögliche Doppelzählungen, sektorale Abgrenzungen, konsistente Referenzentwicklungen etc. geprüft, sodass sich der Gesamteffekt aller Instrumente zum Steuerungsziel Wärme aus erneuerbaren Energien in guter Näherung aus der Summe der Einzelinstrumente ergibt, d.h. die Einzelwirkungen sind additiv.

Allerdings sollte bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass eine bottom-up-Abschätzung einzelner Instrumente, wie sie in diesem Vorhaben vorgenommen wurde, tendenziell einer Überschätzung der Wirkungen gleichkommt. Dies liegt daran, dass bottom-up-Abschätzungen das reale Investitionsverhalten der Akteure nicht ausreichend berücksichtigen und beispielsweise Mitnahmeeffekte nicht abbilden können³. Insbesondere mit Blick auf die Zielerreichung sollten die Ergebnisse daher mit Ergebnissen aus Szenariostudien, welche auf einer akteursbasierten Analyse von Technologiediffusionen basieren, abgeglichen werden.

³ Zu weiteren Ursachen für eine Überschätzung von bottom-up-Abschätzungen von Einzelinstrumenten im Vergleich zu modellbasierten Analysen sei auf [Bundesregierung 2017 S. 119 f] verwiesen.

3.4 Erneuerbare Energien im Verkehr

3.4.1 Aggregierte Instrumentenwirkung

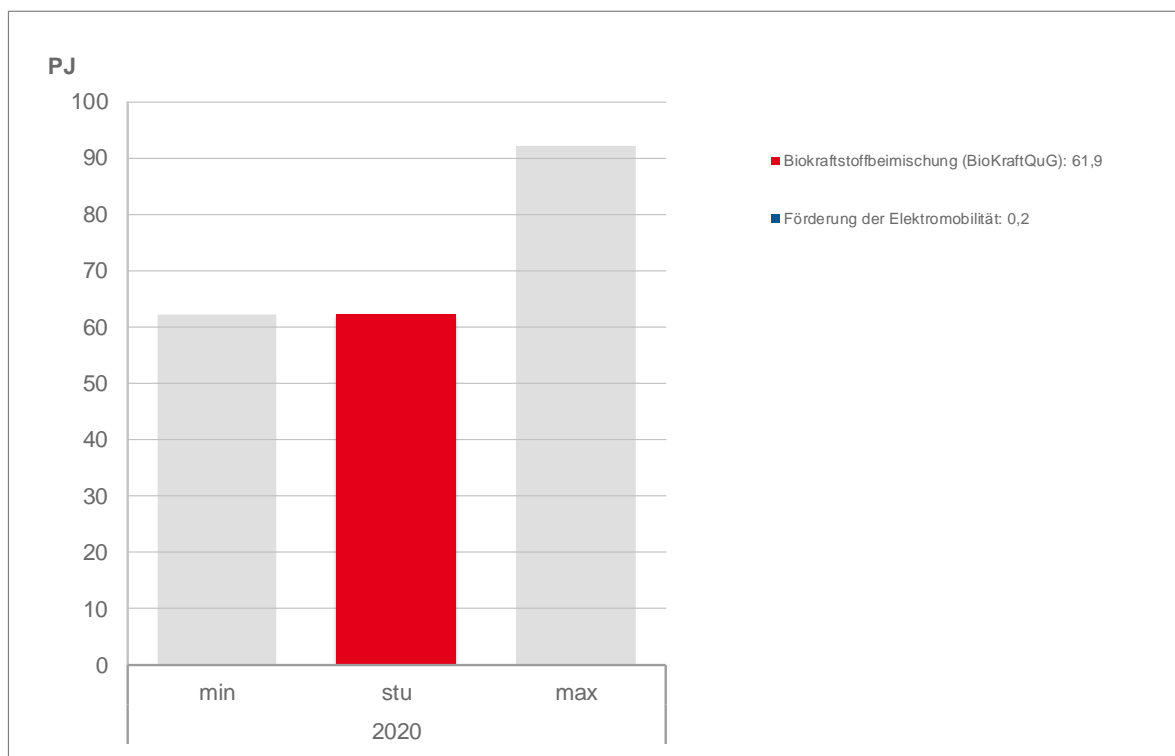
Zahlreiche in dieser Studie evaluierte Instrumente im Sektor Verkehr können sowohl dem Bereich der erneuerbaren Energien als auch dem Bereich des Endenergieverbrauchs und damit der Energieeffizienz zugeordnet werden. Ein Beispiel hierfür sind die Instrumente zur CO₂-Regulierung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF). Die Erreichung der geforderten CO₂-Grenzwerte können dabei durch den stärkeren Einsatz von erneuerbaren Energien (z.B. über batterieelektrische Antriebe) sowohl als auch durch eine steigende Kraftstoffeffizienz erreicht werden. Dem Bereich der erneuerbaren Energien wurden für diese Studie dadurch nur zwei Instrumente zugeordnet: die Förderung der Elektromobilität sowie die Biokraftstoffbeimischung. Diese Zuordnung rührt daher, dass es für den Bereich der erneuerbaren Energien auf nationaler Ebene nur rein politische Ziele (z.B. das Erreichen von 1 Mio. Elektrofahrzeugen im Bestand bis zum Jahr 2020), aber in der Zielarchitektur keine Steuerungsziele für den Sektor Verkehr gibt. Die EU-Richtlinie 2009/28/EG sieht jedoch eine Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor auf mindestens 10 % bis 2020 vor. Die Wirkungen des Instruments Förderung der Elektromobilität wurde dabei auf die beiden Bereiche Erneuerbare Energien und Endenergieverbrauch aufgeteilt. Während für die Reduktion des Endenergieverbrauchs Treibstoffeinsparungen und der Mehrverbrauch an Strom gegeneinander aufgerechnet wurden, wurde dem Bereich der Erneuerbaren nur der Mehrverbrauch an erneuerbarem Strom zugeordnet, wobei der EE-Anteil am Stromverbrauch auf der Basis der Referenzentwicklung bestimmt wurde.

Bei der Biokraftstoffbeimischung handelt es sich um das Biokraftstoffquotengesetz und das darauffolgende Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen. Dadurch wurden mehrere EU-Richtlinien umgesetzt und Biokraftstoff- bzw. Treibhausgasminderungsquoten festgelegt. Bis zum Jahr 2014 sollen mindestens 6,25 % des Energiegehalts der Gesamtkraftstoffmenge über Biokraftstoffe zur Verfügung gestellt werden. Ab 2015 wird auf eine Treibhausgasminderungsquote umgestellt, so dass mit Biokraftstoffen ab 2015 3 %, ab 2017 4,5 % und ab 2020 7 % der Treibhausgasemissionen mit dem Einsatz von Biokraftstoffen gemindert werden sollen. Dazu gelten die Regeln der Biokraftstoffnachhaltigkeitsverordnung. In der aggregierten Wirkung der Instrumente dominiert die Biokraftstoffbeimischung mit einer erwarteten Reduktion des Endenergieverbrauchs von 61,9 PJ gegenüber der Referenzentwicklung im Jahr 2020.

Insgesamt ergibt sich aus den evaluierten Studien anhand der beiden Instrumente eine im Vergleich zu 2005 zusätzliche Nutzung von

erneuerbaren Energien im Verkehr in Höhe von 62,1 PJ in 2020 als die aus heutiger Sicht am realistischsten angesehene Studienschätzwerte (siehe Abbildung 6). Das Minimum der Instrumentenwirkung wird als gleich hoch wie der Studienschätzwert eingeschätzt. Das Maximum der Instrumentenwirkung wird auf Basis der durchgeführten Analysen auf 92,2 PJ eingeschätzt.

Abbildung 6: *Instrumentenwirkung im Sektor Erneuerbare Energien im Verkehr*



Quelle: eigene Darstellung

3.4.2 Qualitative Bewertung

Durch die oben beschriebene Aufteilung der Wirkungen des Instruments zur Förderung der Elektromobilität ergibt sich eine bis 2020 geringe Wirkung im Bereich der Erneuerbaren Energien für den Sektor Verkehr. Die drei evaluierten Studien für das Instrument Biokraftstoffbeimischung gehen auf Grund der unterschiedlichen Zeitpunkte ihrer Veröffentlichung von verschiedenen Ausgestaltungen des Instruments aus. Daher wurden die Wirkungen nur aus der neuesten Veröffentlichung entnommen.

Generell entfalten jedoch mehrere Instrumente Wirkungen auf den Endenergieverbrauch, die man hier zuordnen könnte. Da diese Instrumente jedoch vordergründig die Energieeffizienz im Sektor Verkehr verbessern sollen, wurden diese vollständig dem Bereich

des Endenergieverbrauches zugeordnet (siehe Kapitel 3.7). Die fehlende Tiefe in der Detaillierung bei den ausgewerteten Studien ließ eine Aufteilung der Wirkungen der meisten Instrumente nach dem Vorbild der Förderung der Elektromobilität nicht zu.

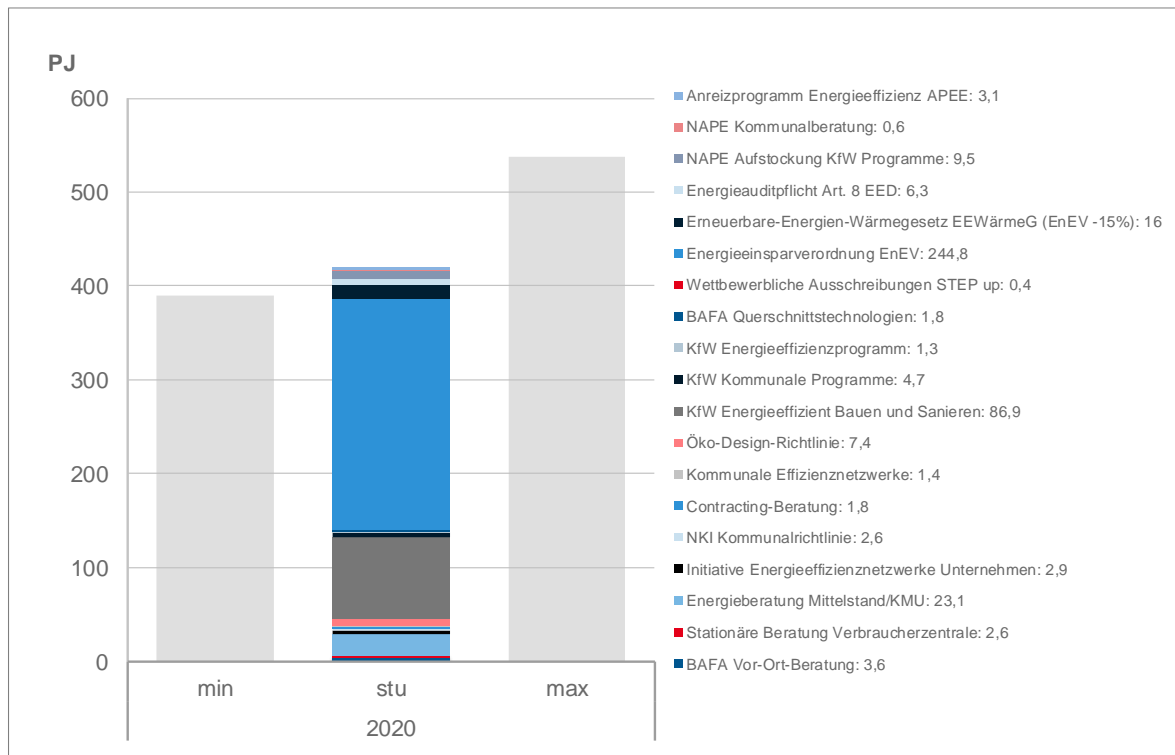
3.5 Reduktion Wärmebedarf

3.5.1 Aggregierte Instrumentenwirkung

Das Steuerungsziel im Bereich Wärmeeffizienz sieht eine Reduktion des Endenergieverbrauchs für Wärme für Gebäude bis 2020 um 20% gegenüber dem Stand von 2008 vor. Dieser umfasst definitionsgemäß den Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und Raumkühlung in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Private Haushalte sowie für die Sektoren Industrie und GHD außerdem den Endenergieverbrauch und Beleuchtung. Laut Angaben der AG Energiebilanzen (AGEB) in den jährlichen Energiedaten des BMWi [BMWi 2017d] lag der so abgegrenzte Wärmebedarf für Gebäude im Jahr 2008 bei 3.451 PJ. Der Zielwert für 2020 liegt bei 2.761 PJ, was einer erforderlichen Reduktion von 690 PJ entspricht. Im Jahr 2016 lag der Wärmebedarf nach Angaben der AGEB bei 3.234 PJ (vorläufige Angaben), wobei zu berücksichtigen ist, dass dieser Verbrauch nicht temperaturbereinigt ist und 2016 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt ein warmes Jahr war. Im überdurchschnittlichen kalten Jahr 2013 lag der Wärmebedarf im Vergleich dazu bei 3.418 PJ.

Es gibt eine Vielfalt von Instrumenten, die seit 2008 zu einer Reduktion des Wärmebedarfs für Gebäude beitragen. Abbildung 7 zeigt die aggregierten erwarteten Instrumentenwirkungen für das Wärme-Reduktionsziel im Jahr 2020. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde wegen der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien bzw. zur Darstellung von Unschärfen aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt. Für 2020 liegt die aggregierte Instrumentenwirkung für den Wärmebereich in der als am realistischsten angesehenen Abschätzung bei rund 423 PJ. Das Minimum der Instrumentenwirkung liegt auf Basis der durchgeführten Analysen bei rund 390 PJ, das Maximum bei 537 PJ.

Abbildung 7: Instrumentenwirkung im Bereich „Reduktion Wärmebedarf“



Quelle: eigene Darstellung

Die weitaus größten Einsparbeiträge zum Wärme-Reduktionsziel bis 2020 resultieren aus dem ordnungsrechtlichen Instrument EnEV sowie dem CO₂-Gebäudesanierungsprogramm (Förderprogramme der KfW, „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ (EBS)). Die Vielzahl der weiteren Instrumente leistet demgegenüber nur einen kleineren zusätzlichen Einsparbeitrag. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die den Industriesektor adressierenden Instrumente wie die Energieberatung Mittelstand oder die 500 Energieeffizienznetzwerke nicht mit ihrem vollen Einsparbeitrag in die Abschätzung eingehen, sondern lediglich mit dem Anteil, den sie zu den Komponenten Raumwärme und Warmwasser des Gebäudewärme-Zieles beitragen.

3.5.2 Qualitative Bewertung

Für die Abschätzung der Beiträge zur Zielerreichung für das Wärme-Reduktionsziel bis 2020 wurden zahlreiche Studien ausgewertet und verglichen. Für die wahrscheinlich zu erwartende Entwicklung wurde insbesondere auf die relativ aktuellen Berechnungen zum Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) und zum Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) im Projektionsbericht [Bundesregierung 2015 und 2017] sowie die Abschätzungen von Prognos für den 3. NEEAP der Bundesregierung [BMW 2014; Prognos/Fraunhofer ISI 2014] zurückgegriffen. Auch wenn bei diesen Abschätzungen Überschneidungseffekte zwischen den Instrumenten durch

einen Abschlagsfaktor berücksichtigt wurden (vgl. Anhang 2), lassen sich gewisse Wirkungsüberschneidungen nicht völlig ausschließen, so dass sich die in Abbildung 8 angegebene aggregierte Instrumentenwirkung noch etwas verringern könnte.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Zuordnung der aus den Studien entnommenen Einsparungen zu den im Wärme-Gebäudeziel enthaltenen Komponenten des Energiebedarfs (Raumwärme, Warmwasser sowie Raumkühlung und Beleuchtung in Industrie- und GHD) mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet ist (siehe dazu auch die Methodikbeschreibung im Anhang). Dies gilt zum einen für den Anteil der auf Raumwärme und Warmwasser entfallenden Einsparungen in Industrie und GHD, da in den Studien nur die gesamten Einsparungen für Raum- und Prozesswärme ausgewiesen werden. Außerdem war es aufgrund fehlender Daten nicht möglich, die Stromeinsparungen für diese Endverbrauchskomponenten aus den gesamten Stromeinsparungen herauszurechnen und dem Wärmeziel zuzuordnen, so dass die Einsparungen in dieser Hinsicht etwas unterschätzt werden.

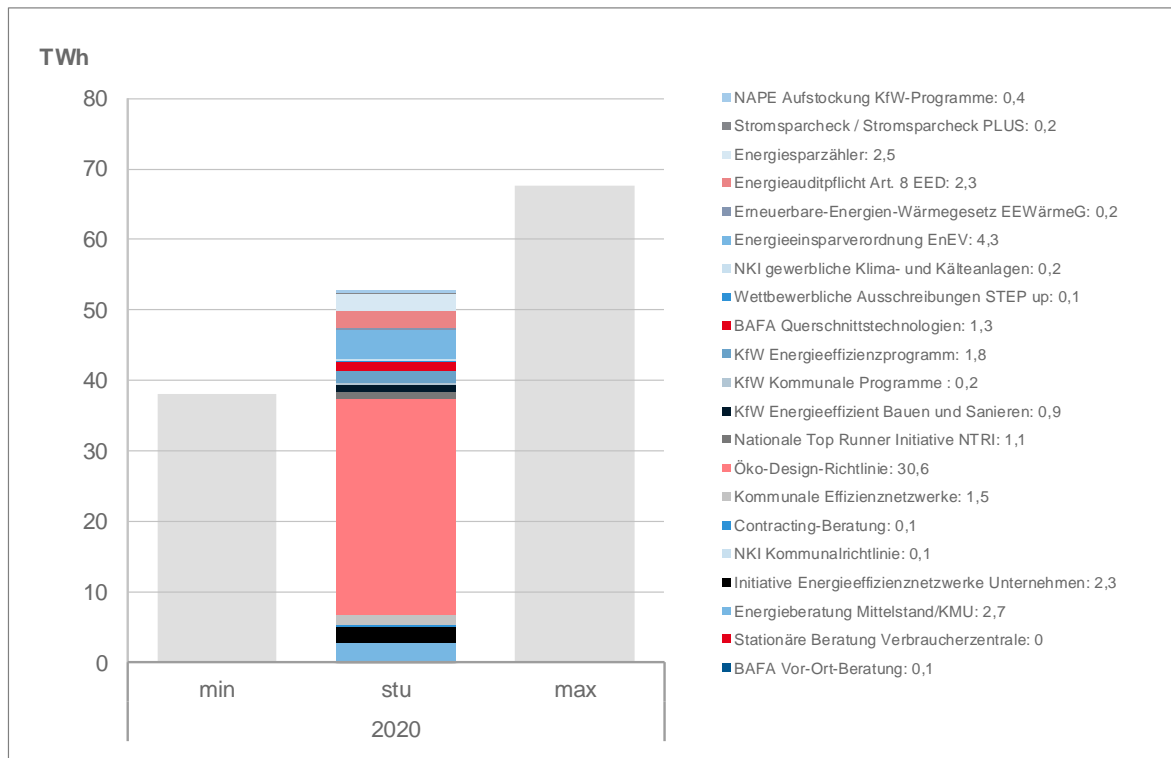
3.6 Reduktion Bruttostromverbrauch

3.6.1 Aggregierte Instrumentenwirkung

Das Steuerungsziel im Bereich Stromeffizienz sieht eine Reduktion des Bruttostromverbrauchs bis 2020 um 10% gegenüber dem Stand von 2008 vor. Laut Angaben der Energiedaten des BMWi [BMWi 2017d] lag der Bruttostromverbrauch im Jahr 2008 bei 618 TWh. Daraus ergibt sich für 2020 ein Zielwert von 556 TWh, was einer erforderlichen Reduktion von knapp 61 TWh entspricht. Bis 2016 ist der Bruttostromverbrauch auf 595 TWh (vorläufige Angaben) gesunken.

Es gibt eine Vielfalt von Instrumenten, die seit 2008 zu einer Reduktion des Stromverbrauchs beitragen. Abbildung 8 zeigt die aggregierten erwarteten Instrumentenwirkungen für das Strom-Reduktionsziel im Jahr 2020. Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde wegen der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien bzw. zur Darstellung von Unschärfen aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt. Für 2020 liegt die aggregierte Instrumentenwirkung für den Bruttostromverbrauch in der als am realistischsten angesehenen Abschätzung bei rund 53 TWh. Das Minimum der Instrumentenwirkung liegt auf Basis der durchgeführten Analysen bei rund 38 TWh, das Maximum bei 68 TWh.

Abbildung 8: Instrumentenwirkung im Bereich „Reduktion Endenergieverbrauch für Strom“



Quelle: eigene Darstellung

Die größten Einsparbeiträge zum Strom-Reduktionsziel bis 2020 resultieren aus der Ökodesign-RL. Auch die auf den Gebäudebereich gerichteten Instrumente EnEV und das KfW-Programm Energieeffizient Bauen und Sanieren, die Energieberatung Mittelstand, die Energieauditpflicht sowie Energiesparzähler und die Initiative Energieeffizienznetzwerke Unternehmen leisten einen deutlichen Beitrag zum Strom-Reduktionsziel.

3.6.2 Qualitative Bewertung

Für die Abschätzung der Beiträge zur Zielerreichung für das Strom-Reduktionsziel bis 2020 wurden zahlreiche Studien ausgewertet und verglichen. Für die wahrscheinlich zu erwartende Entwicklung wurde insbesondere auf die aktuellen Berechnungen zum Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) im Projektionsbericht 2017 [Bundesregierung 2017] sowie den aktuellen Quantifizierungsbericht zum APK 2020 [Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017] zurückgegriffen. Die Abschätzungen für den Projektionsbericht erfolgten modellgestützt mittels verschiedener Energienachfrage-Modelle des Fraunhofer ISI (Forecast-Plattform), wodurch Überschneidungseffekte zwischen den Instrumenten zumindest weitgehend ausgeschlossen werden können. Gewisse Wirkungsüberschneidungen lassen sich aber nicht ausschließen, so dass sich die in Abbildung 8 angegebene aggregierte Instrumentenwirkung noch verringern könnte.

Im Hinblick auf die abgeschätzten Einsparbeiträge neuer Instrumente aus dem NAPE wie der wettbewerblichen Ausschreibungen, den Energieeffizienznetzwerken oder dem Einsparzähler ist darauf hinzuweisen, dass die tatsächliche Erreichung der Einsparungen insbesondere von der Akzeptanz der neuen Instrumente im Markt sowie von der absoluten Zahl und dem Tempo der tatsächlich eingerichteten Netzwerke abhängt. Darüber werden aber erst die gerade angelaufenen Evaluierungen dieser Instrumente näheren Aufschluss geben können.

3.7 Reduktion Endenergieverbrauch für Verkehr

3.7.1 Aggregierte Instrumentenwirkung

Das Steuerungsziel im Bereich Endenergieverbrauch für den Sektor Verkehr sieht eine Reduktion des Endenergieverbrauchs bis 2020 um 10% gegenüber dem Stand von 2005 vor. Laut Angaben der Energiedaten des BMWi [BMWi 2017d] betrug der Endenergieverbrauch im Verkehr in 2.586 PJ im Jahr 2005. Daraus ergibt sich eine Zielmarke laut dem Energiekonzept der Bundesregierung für 2020 von 2.328 PJ. Angesichts des bis 2016 auf 2.696 PJ gestiegenen Endenergieverbrauchs im Verkehr (vorläufige Angaben) stellt dies jedoch eine große Herausforderung dar und erfordert die Umsetzung einer Reihe von wirksamen Instrumenten.

Im Rahmen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 wurden zahlreiche Instrumente definiert, die sich größtenteils auch bei den im Bereich Endenergieverbrauch Verkehr bewerteten Instrumenten wiederfinden. Abbildung 9 zeigt die aggregierten erwarteten Instrumentenwirkungen im Bereich Endenergieverbrauch Verkehr für das Jahr 2016 und 2020. Die Liste der Instrumente umfasst dabei größtenteils bis 2017 umgesetzte Instrumente, jedoch auch einige wenige Instrumente, deren Umsetzung bis 2018 angekündigt worden ist und damit noch im Evaluationszeitraum bis 2020 potenziell wirksam werden können. Im Gegensatz zu AP1 wurde dem Bereich Endenergieverbrauch noch die Wirkungen der Förderung der Elektromobilität, die zwischen 2005 und 2011 bereits durchgeführten Instrumente zur europäischen CO₂ Regulierung für Pkw (2009) und Leichten Nutzfahrzeugen (2011) sowie die Wirkungen der Einführung der Lkw-Maut aus dem Jahr 2005 hinzugezählt, um die Gesamtwirkung seit 2005 vollständig zu reflektieren. Im Gegensatz zu den restlichen Instrumentenwirkungen wurden die Wirkungen der CO₂-Regulierung aus einer eigenen Berechnung der Wirkungen ex-post sowie ex-ante berechnet. Diese ergeben sich aus den Monitoring-Werten für die Entwicklung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Neuwagen-Flotten bis 2016 (laut Krafftfahrtbundesamt) sowie der Einberechnung der Differenz aus NEFZ- und Realverbrauch aus den Berichten des ICCT bis 2016. Die

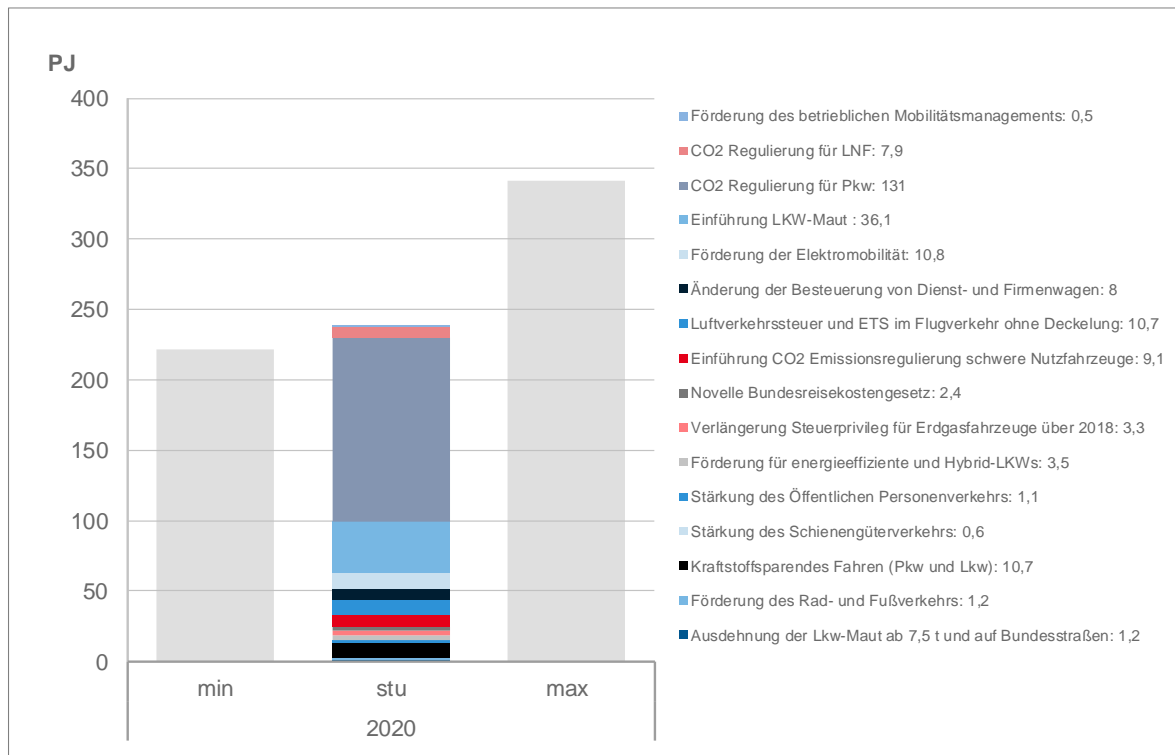
Fortschreibung der Wirkungen bis 2020 wurde dabei mittels einer konstant bleibenden prozentualen Differenz zwischen diesem Bereich und der Maßgabe der Zielerreichung der geforderten Werte (95 Gramm CO₂ pro km bei Pkw-Neuwagen gemäß NEFZ) bis 2021 gemacht. Trotz der beobachteten Differenz zwischen NEFZ- und Realverbrauch trägt damit die CO₂-Regulierung von 2009 für Pkw am stärksten zur Zielerreichung bis 2020 bei mit ca. 131 PJ. Die Einführung der Lkw-Maut im Jahr 2005 leistet mit ca. 36 PJ den zweithöchsten Beitrag zur Zielerreichung aus der Liste der 20 Instrumente.

Generell gehören die Instrumente im Bereich der CO₂-Regulierung laut den evaluierten Studien zu den wirkungsvollsten Instrumenten. Dagegen sind die Wirkungen der restlichen Instrumente mit Reduktionswirkungen von 0,5 bis 11 PJ bis 2020 verhältnismäßig gering, leisten angesichts der Menge der Instrumente aber trotzdem ihren Beitrag zur Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr bis 2020.

Bei der Bewertung der Ergebnisse gilt es zu beachten, dass die evaluierten Studien in ihren Instrumentenbewertungen keine Auskunft über die Wirkung auf die Zusammensetzung der Flotten bzw. auf die Durchdringung der Flotten mit alternativen Antrieben im Vergleich zum jeweils zu Grunde gelegten Referenzszenario geben. Leider finden sich in vielen Studien auch keine Wirkungen einzelner Instrumente auf eine mögliche Verlagerung von Verkehren auf andere Verkehrsträger. Daher lassen sich in den meisten Fällen keine Rückschlüsse auf einen eventuellen Mehrverbrauch an erneuerbarem Strom ziehen. Im Endenergieverbrauch ist damit nur das Delta zwischen der Reduktion des Endenergieverbrauchs an fossilen Brennstoffen und der Steigerung des Endenergieverbrauchs an erneuerbarem Strom angegeben.

Für die recherchierten Instrumentenwirkungen wurde wegen der unterschiedlichen Bewertung in verschiedenen Studien bzw. zur Darstellung von Unschärfen aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit ein Minimum (min-Wert), ein Maximum (max-Wert) und ein als am realistischsten angesehener Studienschätzwert (stu-Wert) ermittelt. Für 2020 liegt die aggregierte Instrumentenwirkung für den Endenergieverbrauch im Verkehrssektor in der als am realistischsten angesehenen Abschätzung bei rund 238 PJ. Das Minimum der Instrumentenwirkung liegt auf Basis der durchgeführten Analysen bei rund 222 PJ, das Maximum bei 341 PJ.

Abbildung 9: Instrumentenwirkung im Sektor Endenergieverbrauch für Verkehr



Quelle: eigene Darstellung

3.7.2 Qualitative Bewertung

Bei der Ermittlung der Beiträge zur Zielerreichung bis 2020 im Bereich des Endenergieverbrauchs im Verkehr wurden zahlreiche Studien evaluiert und mit eigenen Berechnungen des Fraunhofer ISI verglichen. Erschwert wurde die Evaluierung durch teilweise fehlende Informationen über Annahmen zu den Instrumentenimplementierungen, zu geringe Detaillierung der Ergebnisse (z.B. fehlende Wirkungen auf den resultierenden Modal Split oder die Veränderung der Flottenzusammensetzungen) oder durch Bündelung der Instrumente.

Generell geht keine der evaluierten Studien auf mögliche Wechselwirkungen der Instrumente ein, so dass bei der Abschätzung der aggregierten Wirkungen oftmals ein kleinerer Beitrag zur Zielerreichung bei einzelnen Instrumenten angenommen werden musste.

Über 40% der Gesamtwirkung für den Endenergieverbrauch im Bereich Verkehr wird durch die 2009 in Kraft getretene europäische CO₂-Regulierung für Pkw abgedeckt. Die genaue Größenordnung der Wirkung dieses Instruments bis 2020 hängt jedoch stark von den weiteren Anstrengungen der Hersteller zur Erreichung der geforderten Zielmarke von 95 Gramm CO₂ pro km für die

Neuwagenflotten bei Pkw im Jahr 2021 gemessen nach NEFZ ab. Eine weitere Unsicherheit besteht in einer möglicherweise weiter steigenden Differenz zwischen Normverbrauch laut NEFZ und den Realverbräuchen der Pkw Neuwagenflotten. Seit 2009 hat diese Differenz laut ICCT deutlich zugenommen. Bei der Evaluierung wurde von keiner weiteren Steigerung dieser Differenz in Höhe von 42% ausgegangen.

Bei der Berechnung der Wirkungen der Förderung der Elektromobilität wurde in der Revision für diesen Zwischenbericht nicht mehr von einer Zielerreichung in Höhe der geforderten 1 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2020 ausgegangen. Vielmehr wurden die aktuellen Entwicklungen nach Anlauf der Kaufprämie für Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) sowie Plug-in-Hybride (PHEV) im Jahr 2016 mitberücksichtigt. Die Bewertung des Instruments der Förderung der Elektromobilität geht davon aus, dass die volle Höhe der Förder-summe bis 2020 ausgeschöpft werden wird.

3.8 Wirkung übergeordneter Instrumente

Die in den vorherigen Kapiteln betrachteten Instrumente zielen meist auf einen (bzw. mehrere) der Bereiche Strom, Wärme und Verkehr ab, d.h. sie fördern bzw. fordern Einsparungen oder den Ausbau erneuerbarer Energien auf der Steuerungsebene der Zielarchitektur. Darüber hinaus gibt es aber auch Instrumente, die sich keiner Steuerungsebene zuordnen lassen, da sie zunächst auf den übergeordneten Ebenen der Zielarchitektur greifen und sich allenfalls indirekt auf die Steuerungsziele auswirken. Die Wirkungen dieser übergeordneten Instrumente werden im Folgenden dargestellt.

3.8.1 EU-Emissionshandel und Sicherheitsbereitschaft Kohlekraftwerke

Der Emissionshandel ist das zentrale Instrument der EU-Klimapolitik zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Durch die Begrenzung der Treibhausgasemissionen in den beteiligten Sektoren wirkt er direkt auf das politische Ziel der Treibhausgasemissionsminderung der Zielarchitektur. Da die vorgesehene Emissionsminderung sowohl durch Effizienzsteigerungen / Reduktion des Verbrauchs als auch durch Wechsel auf weniger CO₂-intensive Brennstoffe realisiert werden kann, adressiert der EU-Emissionshandel auch die entsprechenden Kern- und Steuerungsziele zur Energieeffizienz und zu erneuerbaren Energien. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass der Emissionshandel indirekt eine Verringerung der Stromnachfrage auch in den nicht umfassten Sektoren (z.B. Privathaushalte) bewirken kann, die sich aus der Einpreisung der CO₂-Kosten in die dadurch steigenden Strompreise ergibt.

Im Hinblick auf das Ziel zur Reduktion der THG-Emissionen um 40 % bis zum Jahr 2020 haben die Koalitionsfraktionen am 1. Juli 2015 eine schrittweise Überführung alter Braunkohlekraftwerke in eine Sicherheitsbereitschaft beschlossen. Dadurch soll eine zusätzliche Reduktion der jährlichen Emissionen um 11 bis 12,5 Mt CO₂ erreicht werden.

Neueste Berechnungen zu den quantitativen Wirkungen des EU-Emissionshandels und der Sicherheitsbereitschaft von Kohlekraftwerken finden sich im Projektionsbericht 2017 [Bundesregierung 2017]. Dort werden modellbasiert die direkten CO₂-Emissions- sowie Brennstoffeinsparungen in den vom Emissionshandel betroffenen Sektoren quantifiziert. Dabei liegt ein CO₂-Preis von 15 €/t für 2020 zu Grunde. Die Wirkung des Emissionshandels wird gegenüber einem hypothetischen Referenzszenario berechnet, in welchem der Emissionshandel nicht existiert (d.h. CO₂-Preis = 0 €/t). Ein Preis von 15 Euro scheint aus heutiger Perspektive auf Basis des angenommenen Wirtschaftswachstums und der Bevölkerungsentwicklung unrealistisch. Da trotz höheren Wirtschaftswachstums nur ein leichter Rückgang der Zertifikateüberschüsse zu erwarten ist wird von einem moderaten Anstieg des Preises auf 10 €/t im Jahr 2020 ausgegangen. Indirekte, strompreisbasierte Wirkungen des Emissionshandels werden im Projektionsbericht 2017 hingegen nicht quantifiziert. Es ist aber davon auszugehen, dass diese strompreisbasierten Effekte aufgrund der geringen CO₂-Preise im kurzfristigen Szenariohorizont eher gering ausfallen.

Tabelle 12 zeigt zusammenfassend die Wirkungen des Emissionshandels und der Sicherheitsbereitschaft auf die Minderung energiebedingter CO₂-Emissionen in den Bereichen Stromerzeugung und Industrie auf Basis des Projektionsberichts 2017. Für den Industriesektor werden im Projektionsbericht 2017 zusätzlich Brennstoffeinsparungen angegeben.

Tabelle 12: Wirkungen des EU-Emissionshandels gemäß Projektionsbericht 2017

Instrument	Wirkung berechnet ab	Brennstoffeinsparungen		Vermeidung von CO ₂ -Emissionen	
		2015	2020	2015	2020
		[PJ/a]		[Mt CO ₂ /a]	
Sicherheitsbereitschaft Braunkohle-KW				0	10
EU-Emissionshandel					
davon im Sektor Stromerzeugung	2005	n.a.	n.a.	1,0	5,0
davon im Sektor Industrie	2010	0,8	4,7	0,7	1,7
Summe		0,8	4,7	1,7	16,7

Quelle: eigene Darstellung

Der Emissionshandel zeigt insgesamt mit einer CO₂-Emissionsminderung von etwa 6,7 Mio. t CO₂/a bis 2020 eine vergleichsweise geringe Wirkung. Diese ist darauf zurückzuführen, dass bei den unterstellten CO₂-Preispfaden bis 2020 nur in geringem Maße relevante Brennstoffwechsel (sowohl in der Industrie als auch in der Stromerzeugung) zu beobachten sind bzw. die weiteren Effizienzpotentiale in der energieintensiven Industrie begrenzt sind. Die Sicherheitsbereitschaft erreicht mit einer Minderung um 10 Mt CO₂ nahezu die veranschlagte Einsparwirkung von 11 bis 12,5 Mt CO₂.

Um die Beiträge des Emissionshandels und der Sicherheitsbereitschaft auf der Ebene der Kernziele zu bestimmen, wurden auf Basis der in Tabelle 12 gezeigten Wirkungen zusätzlich die korrespondierenden Primärenergieeinsparungen abgeschätzt. Unter Annahme typischer Wirkungsgrade der Kraftwerkstypen sowie den spezifischen CO₂-Emissionen von Steinkohle und Erdgas wurde die korrespondierende Brennstoffeinsparung und CO₂-Einsparung ermittelt. Die resultierenden Brennstoffeinsparungen in den Sektoren wurden mit dem Faktor 1,1 (vgl. Kapitel 3.8) bzw. 1,2 für Braunkohle in Primärenergieeinsparungen umgerechnet. Die Wirkungsbeiträge im Jahr 2016 wurden durch lineare Interpolation bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt. Insgesamt trägt der Emissionshandel mit ca. 37 PJ/a in 2020 zum Primärenergie-Reduktionsziel bei und die Sicherheitsbereitschaft trägt zusätzlich 120 PJ/a bei.

Tabelle 13: *Beiträge des Emissionshandels zur Einsparung von Primärenergie (eigene Berechnung auf Basis des Projektionsberichts 2017)*

Instrument	Brennstoffeinsparungen		Primärenergieeinsparung		Vermeidung von CO ₂ -Emissionen	
	2016	2020	2016	2020	2016	2020
	[PJ/a]		[PJ/a]		[Mt CO ₂ /a]	
Sicherheitsbereitschaft Braunkohle-KW			0	120	0	10
EU-Emissionshandel						
davon im Sektor Stromerzeugung	11,7	32,5	12,9	35,8	1,8	5,0
davon im Sektor Industrie	1,6	4,7	1,7	5,2	0,9	1,7
Summe	13,3	37,2	14,6	161,0	2,7	16,7

Quelle: eigene Darstellung

3.8.2 KWK-Gesetz

Vorgänger des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) ist das KWK-Vorschaltgesetz, das 2000 eingeführt wurde. Im Rahmen des KWK-Vorschaltgesetzes wurde die Abnahme und Vergütung von Strom aus KWK-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Öl oder Abfall geregelt, der in Anlagen erzeugt wird, die von Energieversorgungsunternehmen betrieben werden, welche die allgemeine Versorgung von Letztverbrauchern sicherstellen und als Energieversorger bereits am 31. Dezember 1999 tätig waren.

Das KWK-Gesetz wurde bereits mehrfach geändert. Die Aktualisierungen in den Jahren 2002, 2009 und 2011 umfassten insbesondere die zusätzliche Förderung von KWK-Stromerzeugung und die Förderung von selbstgenutztem Strom. In seiner aktuellsten Form wurde das KWK-Gesetz im Jahr 2016 implementiert.

Durch die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme spart Kraft-Wärme-Kopplung gegenüber einer ungekoppelten Erzeugung Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen ein. Im Bereich der KWK-Anlagen der allgemeinen Versorgung zeigte die Förderung durch das KWK-Gesetz insbesondere im Bestand der gasbetriebenen KWK-Anlagen Wirkung, welche nach der Liberalisierung des Elektrizitätsbinnenmarktes aufgrund ihrer hohen Grenzkosten wirtschaftliche Probleme aufgewiesen hatten. In weiterer Folge zeigte das KWK-Gesetz insbesondere im Neubau von KWK-Anlagen Wirkung auf die Verminderung von Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen. Im Bereich der industriellen KWK-Anlagen ist die Wirkung des KWK-Gesetzes beschränkt, da sich

diese Anlagen primär der Eigenversorgung dienen und damit über eine andere Ertragssituation verfügen, als die Kraftwerke der allgemeinen Versorgung. Im Bereich von BHKW-Anlagen wurde vor allem der Bestand der Anlagen durch die Einführung der KWK-Förderung gestützt. In weiterer Folge sind die Effekte des KWK-Gesetzes jedoch sehr beschränkt.

Tabelle 14 fasst die Beiträge des KWK-Gesetzes zur Einsparung von CO₂-Emissionen und Primärenergie zusammen. Die dabei berücksichtigten Wirkungen umfassen fossile KWK-Anlagen. Die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen auf Basis biogener Brennstoffe wird im Rahmen des EEG vergütet. Die Zuschlagssätze im EEG lagen deutlich über den Zuschlagssätzen des KWKG. Damit kann davon ausgegangen werden, dass nahezu alle biogenen KWK-Anlagen über das EEG gefördert sind. Damit sind diese Anlagen nicht Teil der im Folgenden dargestellten Wirkungsbeiträge. Die Wirkungen des EEG werden in Kapitel 3.2 erfasst.

Tabelle 14: Beiträge des KWK-Gesetzes zur Einsparung von CO₂-Emissionen und Primärenergie (eigene Berechnung)

Instrument	Primärenergieeinsparung		Vermeidung von CO ₂ -Emissionen	
	2016	2020	2016	2020
	[PJ/a]		[Mt CO ₂ /a]	
Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-G)	88.6	137.5	7.4	14.2
Summe	88.6	137.5	7.4	14.2

Quelle: eigene Darstellung

3.8.3 Ökosteuer

Das „Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform“ wurde bereits im Jahr 1999 durch die Bundesregierung beschlossen. Durch die Einführung einer Stromsteuer sowie die Erhöhung von Energiesteuern (bis 2006: Mineralölsteuer) entfaltet die ökologische Steuerreform eine Lenkungswirkung in Richtung der Einsparung von Energie. Dabei bestehen Ausnahmeregelungen für die energieintensive Industrie.

Die Beiträge der ökologischen Steuerreform zu den Zielen der Zielarchitektur konnten auf Basis des Projektionsberichts 2017 [Bundesregierung 2017] ermittelt werden. Die Modellrechnungen für den Projektionsbericht basieren auf dem Prinzip, dass die Stromsteuer sowie die Erhöhung der Energiesteuern die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen erhöhen bzw. Anreize zur Einsparung von Strom setzen.

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung der ökologischen Steuerreform ist außerdem das Gesetz zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes vom 9. November 2012 relevant. Durch die Gesetzesänderung werden von Unternehmen, denen Steuerentlastungen im Rahmen des Spitzenausgleichs gewährt werden, ab 2013 Gegenleistungen verlangt. So müssen Unternehmen für die Gewährung des Spitzenausgleichs Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz nachweisen, z.B. durch ein zertifiziertes Energiemanagementsystem oder ein registriertes Umweltmanagementsystem.

Die erwartete Wirkung der Neuregelungen in Bezug auf die Gewährung des Spitzenausgleichs wurde ebenfalls für den Projektionsbericht 2017 quantifiziert. Für die Berechnung wurde von den Autoren angenommen, dass die eingeführten Energiemanagementsysteme konsequent umgesetzt werden. Empirische Hinweise für diese Annahme gibt es derzeit noch nicht; daher sind die Ergebnisse mit einer hohen Unsicherheit verbunden.

Für die Ermittlung der Beiträge der Instrumente auf die übergeordneten Ziele der Zielarchitektur wurden die Ergebnisse aus dem Projektionsbericht zu Strom- und Brennstoffeinsparungen zusätzlich in Primärenergie- und CO₂-Einsparungen umgerechnet. Die resultierenden Wirkungsabschätzungen sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Wirkungen beziehen sich auf das Jahr 2010.

Tabelle 15: Wirkungen der ökologischen Steuerreform sowie der Neuregelungen zum Spitzenausgleich (eigene Berechnungen auf Basis des Projektionsberichts 2017)

Instrument	Stromeinsparung		Primärenergieeinsparung		Vermeidung von CO ₂ -Emissionen	
	2016	2020	2016	2020	2016	2020
	[TWh/a]		[PJ/a]		[Mt CO ₂ /a]	
Ökologische Steuerreform	4,8	6,4	41,9	56,3	2,5	3,7
Spitzenausgleich	3,1	4,9	35,2	55,3	2,1	3,8
Summe	7,9	11,3	77,1	111,6	4,7	7,5

Quelle: eigene Darstellung

In Summe tragen die ökologische Steuerreform sowie die Neuregelungen zum Spitzenausgleich mit Stromeinsparungen von 11,3 TWh/a bis 2020 zum Steuerungsziel Reduktion Stromverbrauch bei. Die Primärenergieeinsparungen belaufen sich auf ca. 112 PJ/a in 2020. CO₂ wird in Höhe von 7,5 Mt/a in 2020 eingespart.

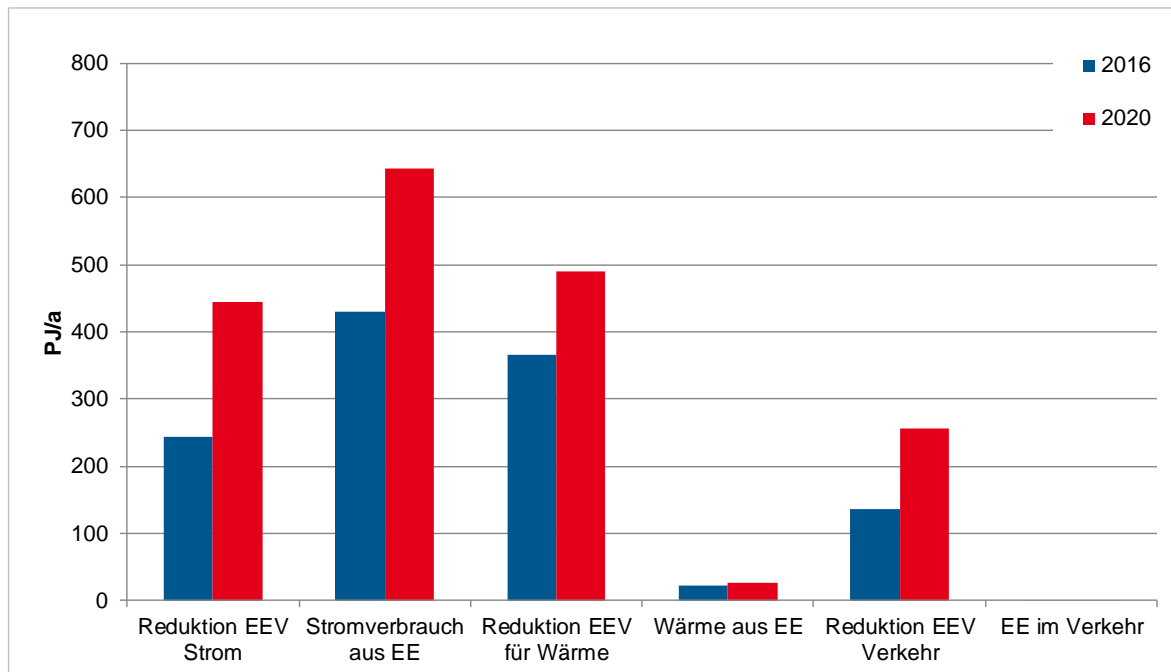
3.8.4 Aggregierte Instrumentenwirkung der Sektoren

Für das Ziel der Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 18 % bis 2020 nach EU-Richtlinie 2009/28/EG werden die Beiträge zu den sektoralen Steuerungszielen im Wesentlichen jeweils vollständig angerechnet. Die bilanziellen Besonderheiten im Verkehrssektor wurden bereits unter dem zugehörigen Steuerungsziel für erneuerbare Energie berücksichtigt. Bei EE-Strom im Verkehrssektor muss an dieser Stelle lediglich der Faktor von 2,5 auf 1,5 korrigiert werden, weil der erneuerbare Strom schon mit Faktor 1 über den Bruttostromverbrauch eingeht. Weitere Spezifika bezüglich der Nutzung von Umweltwärme werden nicht berücksichtigt, da die ermittelten Instrumentenwirkungen keine Aufschlüsselung zulassen. Der damit einhergehende Fehler wird wegen des nicht sehr großen Gesamtbeitrags von Umweltwärme als gering angesehen.

Das Ziel einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 20 % bis 2020 im Vergleich zu 2008 bezieht sich auf den Primärenergieverbrauch, wie er in der AGEB-Energiestatistik bestimmt wird. Da nicht für alle ausgewerteten Studien zur Wirkung von Instrumenten energieträgerscharfe Wirkungen hinterlegt sind, muss zur Übertragung der Beiträge der endenergiebezogenen Steuerungsziele auf Primärenergieverbräuche mit einem Ansatz auf Basis mittlerer Primärenergiefaktoren (PEF) gearbeitet werden. Wegen der signifikanten Unterschiede wird eine Differenzierung zwischen Strom und Brennstoffen vorgenommen, wobei für Strom weiterhin zwischen konventioneller und erneuerbarer Stromerzeugung und für Brennstoffe zwischen fossilen und erneuerbaren Brennstoffen unterschieden wird. Zu beachten ist hierbei, dass sich das Ziel einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 20 % - abweichend von der im Energieeinsparrecht adressierten Größe - auf den gesamten statt nur auf den nicht-erneuerbaren Anteil des Primärenergieverbrauchs bezieht.

Abbildung 10 fasst die jährlichen Beiträge zum Primärenergieziel jeweils aggregiert für die Steuerungsziele, auf die die Instrumente jeweils wirken, zusammen. Das Basisjahr der jährlichen Einsparungen ist 2008; abweichend davon beziehen sich die Einsparungen aus dem Verkehrsbereich auf das Jahr 2005.

Abbildung 10: Beiträge der Instrumente zur Einsparung von Primärenergie (Nettowirkung)



Quelle: eigene Darstellung

Die Reduktion des Primärenergieverbrauchs wird im Wesentlichen durch den erneuerbaren Stromverbrauch sowie die sektoralen Endenergiezielen getrieben. Die Sektorziele zu Strom können dabei grundsätzlich einen besonders hohen Beitrag leisten, da konventionell erzeugter Strom, der durch die jeweiligen Instrumente substituiert bzw. eingespart wird, besonders primärenergieintensiv ist. Allerdings müssen die Wechselwirkungen im Stromsektor bei einem Ausbau erneuerbarer Energien und der Senkung des inländischen Stromverbrauchs für die Beurteilung der Zielerreichung in den übergeordneten Zielen mitberücksichtigt werden (vgl. Box 3 in Kapitel 4). Damit wird der Beitrag der Instrumente im Stromsektor deutlich gedämpft.

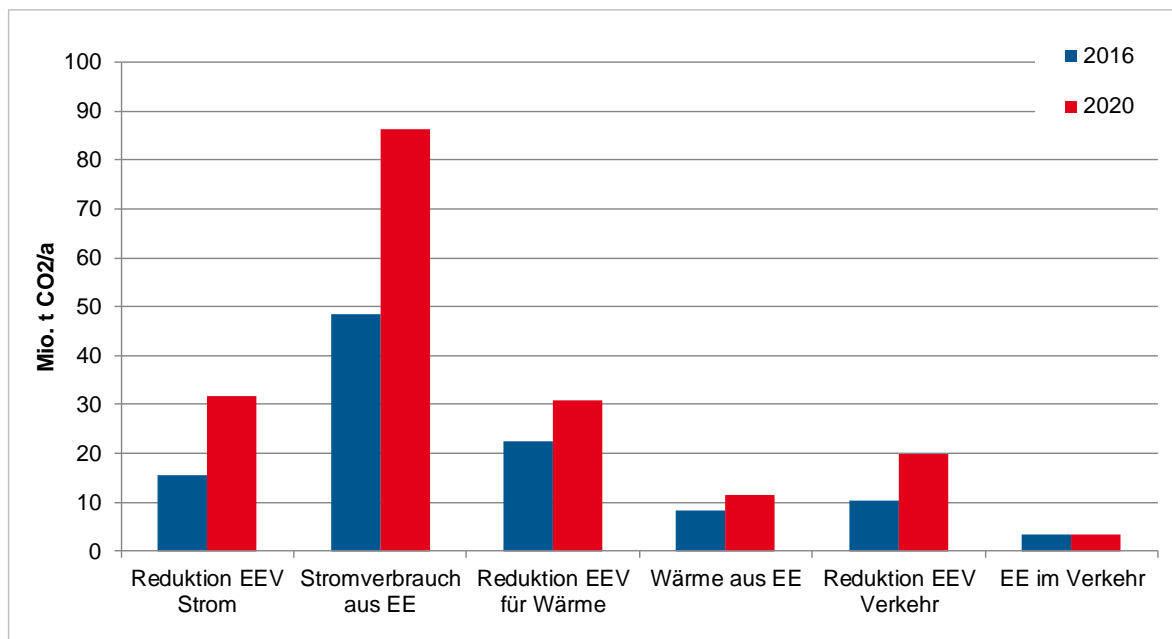
Der hohe Beitrag zur Primärenergie-Reduktion der Instrumente, die auf den Endenergieverbrauch von Gebäuden wirken, ist direkt proportional zu den induzierten Endenergieeinsparungen. Erneuerbare Energien, die im Wärme- und Verkehrssektor eingesetzt werden, haben dagegen nur einen sehr kleinen Einfluss auf die Einsparung von Primärenergie. Dies ist vor dem Hintergrund, dass erneuerbare Energien ebenfalls zum Primärenergieverbrauch beitragen, keine Überraschung. Per Definition der AG Energiebilanzen gehen Umweltwärme und Solarenergie mit einem Primärenergiefaktor von 1, der sich von den Primärenergiefaktoren der überwiegend substituierten fossilen Brennstoffe von 1,1 kaum unterscheidet, in den gesamten Primärenergieverbrauch ein. Dementsprechend ergibt sich ein Einsparpotenzial in erster Linie über die Nutzung von Wärmepumpen auf Grund der im Vergleich zu

konventionellen Heizungssystemen deutlich höheren Effizienz. Biomassen dagegen haben sogar einen höheren Primärenergiefaktor als fossile Brennstoffe, wodurch deren Nutzung den Primärenergieverbrauch steigern kann. Im Verkehrsbereich führt die Nutzung von Biokraftstoffen daher zu einem negativen Beitrag zum Primärenergieziel⁴.

Die in Abbildung 10 dargestellten Zielbeiträge können nicht ohne Einschränkung über alle Steuerungsziele summiert werden. Der Grund hierfür sind bestehende Wechselwirkungen zwischen den Zielen, die dazu führen, dass eine Addition der Einzelbeiträge aus der Steuerungsebene heraus die Gesamtwirkung auf Ebene der Kernziele überschätzen könnte (vgl. Kapitel 4.2). Aggregierte Zielbeiträge unter Berücksichtigung der hier angedeuteten Wirkungszusammenhänge sowie zusätzliche Minderungsbeiträge aus Bereichen, die nicht durch die Steuerungsziele adressiert werden, werden in Kapitel 4 dargestellt.

Abbildung 11 zeigt die aggregierten, jährlichen Beiträge der Instrumente zur Einsparung von CO₂-Emissionen. Basisjahr ist auch hier 2008 bzw. 2005 für die sektoralen Ziele zum Verkehr.

Abbildung 11: Beiträge der Instrumente zur Einsparung von CO₂-Emissionen (Nettowirkung)



Quelle: eigene Darstellung

Auch bezüglich der CO₂-Emissionsminderungen können die Instrumente zur Steigerung des Stromverbrauchs aus EE sowie zur

⁴ Die Primärenergieeinsparungen, die aus der Förderung der Elektromobilität resultieren, sind beim Steuerungsziel „Reduktion EEV Verkehr“ subsummiert.

Reduktion des Endenergieverbrauchs in den einzelnen Sektoren prinzipiell die größten Beiträge liefern⁵. Für den Stromsektor müssen jedoch wie beim Primärenergieverbrauch die Effekte am Strommarkt für die Beurteilung der Zielerreichung für das THG-Ziel mitberücksichtigt werden, wodurch der Beitrag dieser Instrumente deutlich gedämpft wird. Die Instrumente zur Förderung erneuerbarer Wärme tragen im Vergleich zur Einsparung des Primärenergieverbrauchs deutlich mehr zur Einsparung von CO₂-Emissionen bei. Zu den Analysen der Zielerreichung des THG-Minderungsziels wird auf Kapitel 4.3.3 verwiesen.

3.9 Verstärkung bisheriger Instrumente

Für die Wirkung bereits implementierter Instrumente stellt sich im Hinblick auf den Zielbeitrag bis zum Jahr 2020 die Frage, welche Instrumente in diesem Zeitraum noch verstärkt werden können. Damit wäre durch diese Instrumente ein zusätzlicher Beitrag für die Zielerreichung im Jahr 2020 möglich. Für diese Analyse ist insbesondere die Betrachtung in der Vergangenheit besonders wirkungsstarker Instrumente relevant, da durch eine Verstärkung dieser Instrumente bis 2020 grundsätzlich ein relevanter Zielbeitrag zu erwarten ist.

Die zu dieser Fragestellung durchgeführten Analysen werden nach den folgenden Kriterien vorgenommen:

- In einem ersten Schritt wird die Wirkungsstärke der Instrumente aufgrund des Anteils der Wirkung pro Instrumente an der Gesamtwirkung auf den Endenergieverbrauch bestimmt. Auf dieser Grundlage werden besonders wirkungsstarke Instrumente für die weitere Analyse ausgewählt.

Die ausgewählten Instrumente werden nach mehreren Kriterien diskutiert:

- Eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der politischen Umsetzung von Verstärkungen in bestehenden Instrumenten im betrachteten Zeitraum bis 2020. Beispielsweise sind Instrumente, die auf nationaler Ebene Wirkung zeigen, aber auf EU-Ebene definiert werden in dem kurzen Zeitraum kaum beeinflussbar.
- Eine Einschätzung der Realisierung von Verstärkungen aus technischer Sicht. Z.B. ist eine höhere Wirkung im Zeitraum bis 2020 zu erwarten, wenn das Instrument auf den

⁵ Die CO₂-Einsparungen, die aus dem Verbrauch von EE-Strom in der Elektromobilität resultieren, sind beim Steuerungsziel „Stromverbrauch aus EE“ subsummiert.

Bestand an Geräten, Gebäuden und Anlagen wirkt, anstatt die Neuzugänge zu beeinflussen.

- Eine Abschätzung der Realisierung von Verstärkungen im Hinblick auf die adressierten Akteure. Beispielsweise können auf Basis von ex-post Analysen zur Annahme von Fördermitteln akteursspezifische Reaktionen abgeschätzt werden.

Je nach Instrument können weitere Kriterien herangezogen werden, um die Diskussion zu vervollständigen. Die Analysen werden in der Struktur der Zielarchitektur für die Sektoren der Steuerungsziele durchgeführt. Instrumente der übergeordneten Ebene werden dabei nicht näher betrachtet. Sofern aus parallel laufenden bzw. abgeschlossenen Studien Informationen zur Wirkung einer Verstärkung von Instrumenten vorliegen, können diese exemplarisch dargestellt werden.

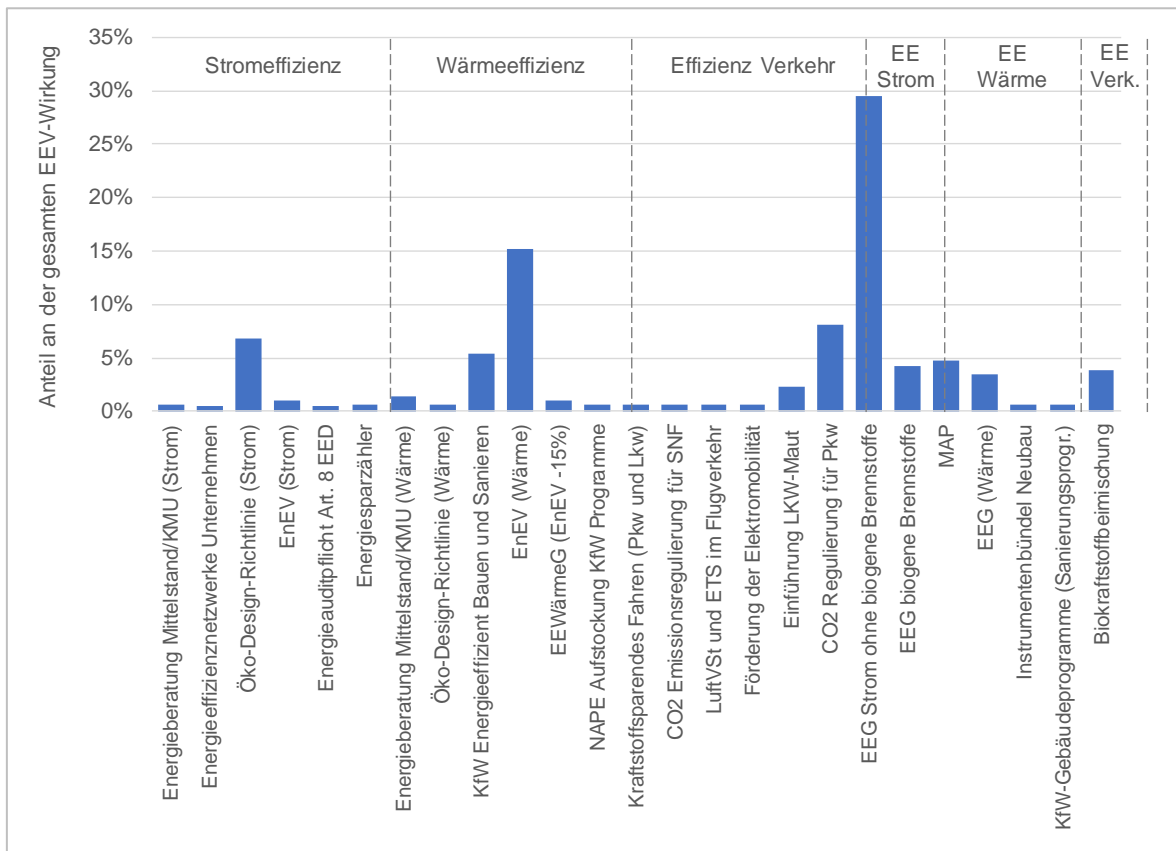
3.9.1 Auswahl wirkungsstarker Instrumente

Für die Auswahl von in der Vergangenheit besonders wirkungsstarken Instrumenten wird als Kriterium die Wirkung auf den Endenergieverbrauch herangezogen. Dabei wird sowohl die Wirkung von Maßnahmen zur Reduktion des Endenergieverbrauchs (d.h. zur Erhöhung der Effizienz) als auch Maßnahmen zur Erhöhung des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien berücksichtigt.

Alternativ könnte die Wirkung auf den Primärenergieverbrauch oder die CO₂-Emissionen als Kriterium verwendet werden. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass eine maßnahmenspezifische Bewertung der tatsächlich realisierten Wirkung auf den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Umwandlungssektor hohen Unsicherheiten unterliegt und von weiteren exogenen Faktoren (z.B. Strompreisniveau in Deutschland, vgl. Box 3) abhängig ist. Zudem würde bspw. bei einer Bewertung der Wirkung auf den Primärenergieverbrauch Maßnahmen zur Erhöhung des Verbrauchs aus erneuerbaren Energien schlecht gestellt, weil z.B. im Wärmesektor der Primärenergiefaktor von Biomasse geringer ist als der Faktor für konventionelle Energieträger.

Abbildung 12 zeigt den Anteil einzelner Maßnahmen an der insgesamt realisierten Wirkung auf den Endenergieverbrauch. Als Schwellenwert für die Berücksichtigung der Maßnahmen wird ein Anteil von 0,5 % herangezogen. Die Summe der Wirkung aller Maßnahmen auf den Endenergieverbrauch beträgt (für das Jahr 2020) knapp 1.620 PJ.

Abbildung 12: Beiträge der Instrumente zur Gesamtwirkung auf den Endenergieverbrauch



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 12 zeigt, dass die Gesamtwirkung von einigen Instrumenten dominiert wird und davon abgesehen eine Vielzahl von Instrumenten einen Beitrag leistet. Nur wenige Instrumente besitzen einen Anteil an der Gesamtwirkung von mehr als 5 %. Dies sind die Öko-Design-Richtlinie in der Reduktion des Stromverbrauchs, die KfW-Programme Energieeffizient Bauen und Sanieren sowie die EnEV im Bereich Wärmeeffizienz, die CO₂-Regulierung für PKW im Verkehrssektor und das EEG im Stromsektor.

In den folgenden Analysen für die Verstärkung bestehender Maßnahmen werden die ausgewählten Maßnahmen mit einem Anteil von mehr als 0,5 % an der Gesamtwirkung im Endenergieverbrauch schwerpunktmäßig betrachtet. Darüber hinaus werden in den Sektoren einzelne weitere Instrumente diskutiert, falls für den Zeitraum bis 2020 eine relevante Wirkung erwartet werden kann.

3.9.2 Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme

Die Einflussfaktoren, welche die Diffusion einer Effizienztechnologie und somit letztlich die Reduktion des Endenergieverbrauch bewirken, sind vielfältig: Neben der Wirtschaftlichkeit einer Effizienzmaßnahme spielen andere, eher beim Akteur anzusiedelnde Faktoren eine wichtige Rolle: diese betreffen bspw. den Informationsgrad über verfügbare Technologien und die Kompetenz und Offenheit, neue Technologien zu integrieren; die Aufmerksamkeit, die für das Thema Energieeffizienz zur Verfügung steht, und letztlich die zur Umsetzung erforderliche Finanz- und Personalkapazität. Bei der Diskussion der kurzfristigen Verstärkung einzelner bestehender Instrumente ist zu berücksichtigen, dass die erwünschte Wirkung am besten durch ein Bündel von Maßnahmen erzielt wird, welche die wichtigsten Einflussfaktoren adressieren.

Die ausgewählten Instrumente in der Reduktion des Endenergieverbrauchs für Wärme lassen sich nach der Wirkweise in drei Gruppen gliedern: ordnungsrechtliche Instrumente (EnEV, EEWärmeG, Öko-Design), die gewissermaßen Effizienz-„Untergrenzen“ für zu adaptierende Technologien festlegen, investitionsfördernde Instrumente (KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren, NAPE Aufstockung der KfW-Programme), die die Wirtschaftlichkeit von Effizienztechnologien verbessern, sowie Informations- und Beratungsprogramme (Energieberatung Mittelstand/KMU), die darauf abzielen, die Aufmerksamkeit und den Informationsgrad der Energieverbraucher zu lenken.

Die **ordnungsrechtlichen Instrumente** haben einen besonders großen Anteil an der Gesamtwirkung des Steuerungsziels. Derzeit erfolgt eine konzertierte Initiative zur Zusammenführung der ordnungsrechtlichen Grundlagen im Gebäudesektor. Insbesondere die gesetzliche Grundlage der EnEV, das Energieeinsparungsgesetz EnEG, und das EEWärmeG sollen in das neue Gebäudeenergiegesetz (GEG) zusammengeführt werden. Im Zuge dieser Gesetzesinitiative sind mehrere Verstärkungen dieses Instruments denkbar, die durchaus vor 2020 Wirkung entfalten können:

- Neue öffentliche Gebäude müssen – im Rahmen der Umsetzung der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) – ab 2019 den Niedrigstenergiestandard erfüllen. Mögliche Verschärfungen bei den übrigen Nichtwohngebäuden sowie bei Wohngebäuden würden erst ab 2021 in Kraft treten und könnten bis zum Jahr 2020 keinen Betrag leisten.
- Derzeit gilt das Betriebsverbot für Heizkessel älter als 30 Jahre (§ 10 (1) EnEV) nur für Konstanttemperaturkessel. Denkbar ist eine Ausweitung des Verbots auf Niedrig- und Brennwertkessel.

- Für die Dämmung von obersten Geschossdecken (§ 10 (2) EnEV) gibt es Ausnahmeregelungen für Decken, die dem Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 entsprechen. Die Ausweitung der Dämmpflicht auf alle Decken ist wirtschaftlich und kann weitere Einsparpotenziale heben.
- Laut §9 (1) EnEV dürfen die Anforderungen an das Referenzgebäude bei wesentlichen Änderungen an Gebäuden um max. 40 % überschritten werden. Nach dem bisherigen Verständnis der EnEV durfte ein umfassend saniertes Bestandsgebäude 40 % schlechter sein als ein Neubau. Die Anforderungen an zu errichtende Gebäude wurden zum 01.01.2016 um 25% gegenüber dem Referenzgebäude verschärft. Diese Verschärfung wurde für Bestandsgebäude nicht eingeführt.
- Gebäude, die nach dem 31.12.1983 errichtet wurden, sind nach Anl. 3 Abs. 1, 4 und 5 EnEV von den bedingten Nachrüstverpflichtungen in § 9 EnEV befreit. Aktuell kommen die ersten Gebäude dieser Baujahre in den ersten Sanierungszyklus. Durch eine Abschaffung dieser Befreiung können energetische Verbesserungen mit den ohnehin anstehenden Sanierungen auf wirtschaftliche Weise gekoppelt werden.
- Selbstgenutzte Ein- und Zweifamilienhäuser, in denen es seit 2002 keinen Eigentümerwechsel gab, sind von den unbedingten Verpflichtungen nach § 10 EnEV ausgenommen. Durch die Streichung dieser pauschalen Befreiung kann die Wirkung dieser Nachrüstverpflichtungen erheblich ausgeweitet werden.

Die Größenordnung der Einsparungen, die durch derartige Verstärkungen des Instruments erreicht werden können, liegen bei etwa 20-25 PJ/a, wenn unterstellt wird, dass die Maßnahmen vollständig umgesetzt werden. In der Praxis ist zu berücksichtigen, dass für einzelne Regelungen Übergangsfristen vorzusehen sind, die dann vor 2020 nicht mehr greifen. Ebenfalls ist bei einer Verschärfung des Ordnungsrecht zu berücksichtigen, dass die Sicherung des Vollzugs evtl. mit erheblichem Aufwand verbunden sein kann und gerade im Bestand zu großen Akzeptanzproblemen führen kann.

Die Ökodesign-Richtlinie als drittes ordnungsrechtliches Instrument wird durch die EU gesteuert und kann daher nicht im Rahmen einer nationalen Initiative bis 2020 verschärft werden.

Zentrales Instrument der **Investitionsförderung** zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich sind die KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren. Die Programmbedingungen (KfW-Merkblätter) werden in regelmäßigen Abständen an

die aktuellen Entwicklungen im Ordnungsrecht und in technologischer Hinsicht aktualisiert, um zu große Mitnahmeeffekte oder aber mangelnden Abruf der Fördermittel zu vermeiden. Im Rahmen des NAPE wurden die Mittel insbesondere für die Gebäudeprogramme aufgestockt. Eine weitere Aufstockung, um zusätzliche Wirkungen vor 2020 zu erreichen, erfordert eine sorgfältige Analyse der Potenziale und Gestaltungsparameter des Programms. Die Aussicht auf eine zusätzliche Wirkung bis 2020 ist eher als gering einzuordnen. Grundsätzlich scheint die Einführung eines zusätzlichen Instruments der Investitionsförderung wie die derzeit (wieder) diskutierte steuerliche Absetzbarkeit energetischer Sanierungen zielführender, da sie neue Zugangskanäle zu den Gebäudebesitzern durch Steuer- und Finanzberater aktiviert. Analysen zu diesem Instrument zeigen, dass damit ab dem Jahr der Einführung pro Jahr 4 bis 5 PJ jährlich neue Einsparungen ausgelöst werden können.

Die Zahl der durchgeführten **Beratungen** im Rahmen des Instruments „Energieberatung Mittelstand/KMU“ ist in 2017 um 12 % gegenüber dem Vorjahr gestiegen. Die meisten Handlungsempfehlungen der Evaluatoren des Programms wurden umgesetzt. Daher scheinen die Möglichkeiten einer weiteren Verschärfung des Instruments insbesondere mit Wirkentfaltung bis 2020 begrenzt.

3.9.3 Reduktion Bruttostromverbrauch

Die Einflussfaktoren, welche die Diffusion einer Strom-Effizienztechnologie und somit letztlich die Reduktion des Stromverbrauchs bewirken, sind vergleichbar mit den für den Wärmesektor bereits beschriebenen Faktoren (siehe Abschnitt 3.9.2).

Den weitaus größten Einsparbeitrag zum Strom-Reduktionsziel bis 2020 liefert mit der EU Ökodesign-Richtlinie ein ordnungsrechtliches Instrument. Auch von weiteren Instrumenten des Ordnungsrechts (EnEV, EE-WärmeG, Energieauditpflicht unter Artikel 8 EED) gehen stromverbrauchsmindernde Wirkungen aus, allerdings in deutlich geringerem Umfang. Die im vorhergehenden Abschnitt 3.9.2 beschriebenen möglichen verstärkenden Effekten aus der Zusammenführung der ordnungsrechtlichen Grundlagen im Gebäudesektor in einem neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) haben zwar eine größere Wirkung auf das Wärmeziel. Sie können jedoch auch einen begrenzt verstärkenden Effekt auf die Reduktion des Bruttostromverbrauchs haben, die jedoch in der Abschätzung in Abschnitt 3.9.2 weitgehend enthalten sein dürfte.

Von der Ökodesign-Richtlinie selbst sind kurzfristig bis 2020 keine Verstärkungseffekte zu erwarten, da diese auf europäischer Ebene gesteuert und daher nicht im Rahmen einer nationalen Initiative bis 2020 verschärft werden kann. Mittelfristig sind durch eine weitere

Verschärfung bestehender und die Einführung von Standards für neue Produktgruppen weitere maßgebliche Reduktionsbeiträge zu erwarten. Neben der Ökodesign-Richtlinie hat auch die EU Energielabelling-Richtlinie, in Deutschland umgesetzt in der Energieverbrauchskennzeichnungs-Verordnung (EnVKV), als weiteres ordnungsrechtliches Instrument Einfluss auf die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs. Während der Effekt der bisherigen Verordnung bereits weitgehend in den Abschätzungen bis zum Jahr 2020 enthalten war, kann durch die neue Rahmenverordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung (Verordnung 2017/1369 EU), die seit dem 1. August 2017 gültig ist, ein zusätzlicher Einspareffekt erzielt werden, der allerdings bis 2020 nur begrenzt sein wird. Im Projektionsbericht 2017 der Bundesregierung (Bundesregierung 2017) wird angenommen, dass bei einem Start dieser Maßnahme ab 2017 bis 2020 eine zusätzliche Einsparung gegenüber der Referenzentwicklung von rund 3,2 PJ erzielt werden kann (nur elektrische Haushaltsgeräte). Bei der tatsächlichen Umsetzung der Rahmenverordnung Mitte 2018 könnte der zusätzliche Effekt bei etwa 2 bis maximal 3 PJ bis 2020 liegen.

Als weiteres ordnungsrechtliches Instrument mit Wirkung im Industriesektor (Nicht-KMU) lässt sich die Energieauditpflicht unter Artikel 8 der EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) nennen. Hier könnte durch die nationale Einführung einer Umsetzungspflicht, d.h. eine verpflichtende Durchführung von Maßnahmen aus dem Energieaudit, wie sie im Gutachten „NAPE 2.0“ für das BMWi untersucht wurde [Ecofys et al. 2017], bis 2020 eine zusätzliche Einsparwirkung von rund 5 PJ erzielt werden. Davon entfallen rund ein Drittel auf Stromeinsparungen (ca. 1,7 PJ), die übrigen Einsparungen ließen sich noch dem Wärmesektor (Abschnitt 3.9.2) zurechnen.

Neben dem Ordnungsrecht leisten auch Instrumente der finanziellen Förderung von Investitionen in Energieeffizienz einen Beitrag zum Strom-Reduktionsziel (wie die KfW-Förderprogramme „Energieberatung Mittelstand“ und „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ oder die BAFA-Querschnittstechnologienförderung). Von einer Ausweitung des Programms zur Förderung von hocheffizienten Querschnittstechnologien in KMU könnte ein – wenn auch begrenzter Effekt – Effekt bis 2020 ausgehen. Legt man die in der Evaluierung des Energieeffizienzfonds [Fraunhofer ISI et al. 2017] für dieses Programm ermittelte Fördereffizienz von rund 5,5 kWh/EUR Förderung zu Grunde, so könnte bei einem jährlichen zusätzlichen Fördervolumen von 100 Mio. EUR Fördervolumen bis 2020 ein Strom-Einspareffekt von 0,4-0,5 PJ erzielt werden.

Für elektrische Haushaltsgeräte gibt es derzeit – mit Ausnahme des Stromspar-Checks für einkommensschwache Haushalte - kein vergleichbares Förderprogramm in Deutschland. Bei einer kurzfristigen Einführung eines solchen Programms könnten bis 2020 weitere Einsparungen erzielt werden. Allerdings ist davon

auszugehen, dass aufgrund der teilweise nur geringen Preisdifferenzen beim Kauf eines hocheffizienten gegenüber einem den Ökodesign-Anforderungen gerade genügenden Gerätes die Förderereffizienz bei elektrischen Haushaltsgeräten deutlich unter der von industriellen Querschnittstechnologien liegen dürfte. Bei einem Programm in der gleichen Größenordnung wie der Aufstockung für elektrische Querschnittstechnologien dürfte damit der Einspareffekt maximal halb so hoch sein wie bei dem an KMU gerichteten Programm. Außerdem ist bei Konzeption eines solchen Programms die Verschrottung des Altgerätes sicherzustellen.

3.9.4 Reduktion Endenergieverbrauch für Verkehr

Laut der Auswertung der Instrumente liefert die europäische CO₂ Regulierung für Pkw den größten Beitrag zur Einsparung des Endenergieverbrauchs im Verkehr bis 2020. Die von den Fahrzeugherstellern geforderten Flottengrenzwerte bis zum Jahr 2021 werden nach der Regulierung mit Hilfe des sogenannten Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) gemessen. Empirische Analysen des realen Kraftstoffverbrauchs der neu zugelassenen Pkw durch das ICCT [2016] haben jedoch gezeigt, dass die Differenz zwischen den NEFZ und den realen Kraftstoffverbräuchen und damit den CO₂-Emissionen der Pkw um durchschnittlich 42 % abweichen. Die EU Kommission hat für 2018 die Einführung eines neuen Fahrzyklus, dem WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) geplant. Dieser ist laut Einschätzung des ICCT (2016) mit ca. 23 % Abweichung zwischen Mess- und realem Verbrauch deutlich näher an der Realität. Das Ersetzen des NEFZ durch den WLTP unter Berechnung der Grenzwerte von 2021 in Höhe von 95 g CO₂ pro km nach WLTP könnte die Reduktion des Endenergieverbrauchs für 2020 deutlich verbessern, auch wenn der größte Effekt durch die vergleichsweise hohe Lebensdauer der Fahrzeuge erst deutlich nach 2020 eintreten würde.

Bei den existierenden Instrumenten im Bereich des Endenergieverbrauchs Verkehr besteht bei der Förderung des Rad- und Fußverkehrs noch Potenzial nach oben. Die vergleichsweise geringen Fördersummen für den Ausbau der Infrastruktur sind dafür verantwortlich, dass die abgeschätzte Wirkung auf den Endenergieverbrauch marginal. Aktuelle Abschätzungen zeigen, dass eine jährliche Fördersumme in Höhe von 500 Mio. Euro benötigt würde, um die oberen Grenzen der Wirkung des Instruments (1,2 PJ) zu realisieren.

Größere Beiträge zur Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr könnten neue Instrumente liefern. Kurzfristig realisierbar wäre beispielsweise die Einführung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen. Laut aktuellen Abschätzungen des Fraunhofer ISI und IFEU könnten bei der Einführung einer

Geschwindigkeitsbegrenzung von maximal 130 km/h auf BAB ca. 30 PJ Endenergie oder 2 Mio. t CO₂ eingespart werden. Ältere Abschätzungen des UBA (2010) zeigen, dass bei maximal Tempo 120 km/h ca. 48 PJ Endenergie oder 3,2 Mio t CO₂ bis 2020 eingespart werden können.

Tabelle 16: Einführung eines generellen Tempolimits für Pkw auf BAB

Tempolimit für Pkw	
Generelles Tempolimit für Pkw auf BAB in Höhe von max. 130 km/h	
Politische Umsetzbarkeit	Prinzipiell im Zeithorizont bis 2020 darstellbar, da die Akzeptanz eines Tempolimits bei der Bevölkerung gestiegen ist.
Realisierung von Verstärkungen aus technischer Sicht	Eine Einführung eines generellen Tempolimits ist aus technischer Sicht prinzipiell realisierbar. Die Einführung erfordert vergleichsweise geringe Investitionen, da Hinweisschilder an Grenzübergängen und an stark befahrenen Streckenabschnitten ausreichen könnten. Eine Überwachung des Tempolimits wie sie bereits heute an Streckenabschnitten mit Geschwindigkeitsbegrenzung oder durch mobile Überwachung durch die Autobahnpolizei stichprobenartig passiert, kann dazu beitragen, die Einhaltung des Tempolimits zu erreichen.
Realisierung von Verstärkungen im Hinblick auf die adressierten Akteure	Die Realisierung eines Tempolimits in Höhe von 130 km/h auf BAB beeinflusst alle Akteure positiv. Steigende Verkehrssicherheit durch harmonisierte Geschwindigkeitsprofile und geringere Geschwindigkeitsunterschiede der Verkehrsteilnehmer auf BAB, sinkender Verbrauch und CO ₂ -Emissionen und sinkende Verkehrsausgaben zeigen positive Wirkung auf alle Akteure. Negative Auswirkungen auf den Absatz hochmotorisierter Fahrzeuge aus deutscher Produktion sind ebenfalls nicht zu erwarten.
Wirkungsstärke	Im Hinblick auf 2020 zeigt ein Tempolimit die kurzfristigste Wirkung auf den Endenergieverbrauch des Verkehrs.

Weitere kurzfristig einführbare Instrumente zur Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr bis 2020, aber auch darüber hinaus, könnten beispielweise eine CO₂-Steuer auf Kraftstoffe sein. Die Erhebung einer solchen Steuer würde der Mineralölsteuer gleichen und wäre daher kurzfristig einführbar. Die zu erwartenden Wirkungen sind zweigeteilt. Einen direkten Effekt durch sinkende Fahrleistungen im MIV und im Straßengüterverkehr wäre unmittelbar nach der Einführung messbar, d.h. auch für den Zeitraum bis 2020 noch relevant. Die Größenordnung dieser Wirkung ist jedoch schwer abschätzbar. Mittelfristig wirkt sich dieses Instrument noch auf die Entwicklung der Effizienz der Fahrzeugflotte aus, was bis 2020 jedoch nur in sehr geringem Maße von Bedeutung ist.

3.9.5 Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien

Die zentrale Möglichkeit zur Steigerung der Strommengen aus erneuerbaren Energien ist die Steigerung der

Ausschreibungsmengen bzw. die Einführung von Sonderausschreibungen zur kurzfristigen Steigerung der Mengen. Ein weiterer Sonderaspekt beim Ausbau der Windenergie an Land ist die um zwei Jahre verlängerte Realisierungsfrist für Bürgergesellschaften. Da derzeit ein Großteil der bezuschlagten Projekte unter diesen Status fallen, ergibt sich hier ggf. eine deutlich verzögerte Ausbaureaktion auf die ausgeschriebenen Mengen.

Die derzeit festgelegten Mengen sind in der folgenden Tabelle gelistet.

	Windenergie an Land MW	Solar MW	Bio- masse MW	Wind offshore MW
2018	2800	600	150	1500
2019	2800	600	150	-
2020	2900	600	200	-

In der folgenden Tabelle werden die zentralen Aspekte einer möglichen Erhöhung der Ausschreibungsmengen diskutiert.

Tabelle 17: Erhöhung der Ausschreibungsmengen

EEG	
Erhöhung der Ausschreibungsmengen	
Politische Umsetzbarkeit	Prinzipiell im Zeithorizont bis 2020 darstellbar.
Realisierung von Verstärkungen aus technischer Sicht	Eine Erhöhung der Ausschreibungsmengen ist prinzipiell aus technischer Sicht realisierbar. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Technologien jedoch in ihrer Vorlaufzeit bis zur Realisierung. Im Bereich der Offshore Windenergie liegt der vorgeschriebene Realisierungstermin vergangener Ausschreibungen bereits nach dem Jahr 2020. Hier ist also eine Reaktion bis 2020 kaum möglich. Im Bereich der Windenergie an Land und Solarenergie ist durchaus denkbar, dass erhöhte Ausschreibungsmengen im Jahr 2018/2019 noch zu einer erhöhten Stromproduktion im Jahr 2020 beitragen können. Dazu müsste jedoch auch die Realisierungsfrist für Bürgergesellschaften im Bereich der Windenergie entsprechend angepasst werden.
Realisierung von Verstärkungen im Hinblick auf die adressierten Akteure	Die Realisierung von erhöhten Ausschreibungsmengen hängt kurzfristig von der Projektvorentwicklung der verschiedenen Projektierer ab. Mittelfristig reizt die Erhöhung der Ausschreibungsmengen die Erhöhung vorentwickelten Projekte an.
Wirkungsstärke	Auch wenn die bis 2020 noch realisierbare zusätzliche Leistung begrenzt sein dürfte, sollten sich diese Mengen direkt auf eine erhöhte Stromproduktion und somit die entsprechenden Ziele niederschlagen. Allerdings hängt die Wirkung auf das Klimaziel sehr stark von der Gesamtsituation im Strommarkt ab (vgl. Box 3), die letztlich auch einen Einfluss auf den Anteil der exportierten Strommengen hat.

Fazit: In Hinblick auf die Ziele für das Jahr 2020 kann ein erhöhter Ausbau der Erneuerbaren erreicht werden. Die bis 2020 noch wirksamen Mengen sind aus heutiger Sicht jedoch begrenzt. Im Zeitraum nach 2020 lassen sich jedoch deutliche Steigerungen erreichen.

Änderung des Sonderstatus für Bürgerenergiegesellschaften

Ein weiterer Aspekt, der das Ausbautempo der Windenergie beeinflusst ist die verlängerte Realisierungsfrist von Projekten, die durch Bürgergesellschaften durchgeführt werden. Diese Gesellschaften haben eine um zwei Jahre verlängerte Realisierungsfrist. Wenn die entsprechenden Akteure von diesen Fristen Gebrauch machen, führt dies zu einer Verlangsamung des Ausbaus der Windenergie. Durch die Änderung dieses Sonderstatus kann mittelfristig jedoch auch eine schnellere Realisierung der Ausschreibungsmengen erreicht werden.

3.9.6 Wärme aus erneuerbaren Energien

Im Folgenden werden die Möglichkeiten der Verstärkung der Instrumente Marktanzreizprogramm, KfW-Gebäudeprogramme, EE-WärmeG und EEG in Hinblick auf die verstärkte Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien nach den o.g. Kriterien diskutiert. Die Ergebnisse stellen erste konzeptionelle Überlegungen dar und ersetzen keine tiefgehende juristische Prüfung.

Die Ergebnisse gelten zudem vorbehaltlich der Umsetzung der Förderstrategie Energieeffizienz und Wärme aus erneuerbaren Energien des BMWi.

Marktanzreizprogramm (MAP)

Die diskutierte Verstärkung des MAP (Tabelle 18) umfasst eine Steigerung der Förderintensitäten (i.e. Zuschüsse) bei ggf. erhöhtem Förderbudget mit dem Ziel, den Absatz von EE-Wärmeerzeugern zu steigern. Die technischen Förderbedingungen und allgemeinen Fördervoraussetzungen werden als konstant angenommen.

Tabelle 18: Möglichkeiten der Verstärkung des MAP

Marktanreizprogramm (MAP)	
Erhöhung der Förderintensitäten bei gleichbleibenden Förderbedingungen	
Politische Umsetzbarkeit	Prinzipiell im Zeithorizont bis 2020 darstellbar. Bei Großanlagen sind die Spielräume für eine Erhöhung der Förderintensitäten aufgrund der EU-Beihilferichtlinien begrenzt.
Realisierung von Verstärkungen aus technischer Sicht	Das Instrument wirkt nur auf Neuzugänge von Anlagen. Etwa 80 % der jährlichen Investitionsfälle im Heizungsmarkt entfallen auf konventionelle Wärmeerzeuger [BDH 2018]. Entsprechend groß ist das theoretische Potential zur Erhöhung des Anteils Erneuerbarer am Heizungsmarkt, das durch erhöhte MAP-Fördersätze potentiell gehoben werden kann. Die Realisierung von Verstärkungen in Hinblick auf das Steuerungsziel ist dabei aus technischer Sicht vor allem durch Kesselaustauschraten (Gebäudebestand, derzeit ca. 3 %) bzw. im Falle der Innovationsförderung auch durch Gebäude-Neubauraten beschränkt. Bei Großanlagen und Infrastrukturen wie Wärmenetzen stehen lange Planungs- und Installationsphasen der kurzfristigen Realisierung von Verstärkungen entgegen.
Realisierung von Verstärkungen im Hinblick auf die adressierten Akteure	Insbesondere für Besitzer von Öl- und Gaskesseln sind ökonomische Faktoren bei der Wahl des Wärmeerzeugers relevant [Decker & Menrad 2015]. Höhere Fördersätze für EE-Wärmeerzeuger verbessern die Konkurrenzfähigkeit zu fossilen Heizungen und könnten somit den Ersatz von fossilen durch erneuerbare Wärmeerzeuger anreizen. Höhere Fördersätze können jedoch bei denjenigen, die auch für die niedrigere Förderung eine Anlage realisiert hätten, Mitnahmeeffekte bewirken.
Wirkungsstärke	Geänderte Förderintensitäten lassen keine eindeutigen Wirkungszuweisungen in Bezug auf Absatzentwicklungen zu; aktuelle Quantifizierungen liegen hierzu nicht vor. Die positive Absatzentwicklung bei erdgekoppelten Wärmepumpen seit der MAP-Richtlinien-Novelle 2015 mit deutlich erhöhten Fördersätzen für Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen können aber als Hinweis darauf interpretiert werden, dass die Märkte auf erhöhte Förderintensitäten – auch relativ kurzfristig – reagieren.

Fazit: In Hinblick auf die Ziele für das Jahr 2020 können aufgrund der Kesselsanierungsraten bzw. der langen Planungsdauern von Infrastrukturprojekten, insb. neuer Nahwärmenetze, nur sehr geringe zusätzliche Beiträge durch eine Verstärkung der bestehenden Maßnahme erwartet werden.

KfW-Gebäudeprogramme

Die diskutierte Verstärkung der KfW-Gebäudeprogramme (Tabelle 19) beinhaltet ebenfalls eine Steigerung der Förderintensitäten (Zuschüsse bzw. vergünstigte Kredite) bei ggf. erhöhtem Förderbudget mit dem Ziel, den Absatz von EE-Wärmeerzeugern zu steigern. Die technischen Förderbedingungen und allgemeinen Fördervoraussetzungen werden als konstant angenommen.

Tabelle 19: Möglichkeiten der Verstärkung der KfW-Gebäudeprogramme

KfW-Gebäudeprogramme	
Erhöhung der Förderintensitäten bei gleichbleibenden Förderbedingungen	
Politische Umsetzbarkeit	Prinzipiell im Zeithorizont bis 2020 darstellbar.
Realisierung von Verstärkungen aus technischer Sicht	Das Instrument wirkt nur auf Neuzugänge von Anlagen. Im Bereich der KfW-Förderprogramme zum energieeffizienten Bauen und Sanieren sind mögliche zusätzliche Zielbeiträge im Programmteil Energieeffizient Sanieren – Einzelmaßnahmen durch Kesselaustauschraten (zuletzt ca. 3 % [BDH 2018]), im Programmteil Energieeffizienz Sanieren – Sanierung zum KfW-Effizienzhaus durch Raten umfangreicher Sanierungen und im Programmteil Energieeffizient Bauen durch Neubauraten (zuletzt ca. 0,6 % [Destatis 2017]) beschränkt.
Realisierung von Verstärkungen im Hinblick auf die adressierten Akteure	Siehe MAP; höhere Förderbeträge können prinzipiell Akteure mit niedrigerer Zahlungsbereitschaft erreichen.
Wirkungsstärke	Ex-ante Abschätzungen der nachfragesteigernden Wirkung einer Erhöhung der Förderintensitäten sind nicht bekannt. Im Programmteil „Energieeffizient Bauen“ sind die zusätzlichen Zielbeiträge aufgrund der Vorgaben an den Endenergieverbrauch auf Basis der EnEV sowie Wechselwirkungen mit dem EEWärmeG stark limitiert.

Fazit: Aufgrund der langen Investitionszyklen im Gebäudebereich können nur sehr geringe zusätzliche Beiträge zu den 2020-Zielen durch eine Verstärkung erwartet werden.

EEWärmeG

Im Folgenden wird eine Verstärkung des EEWärmeG im Sinne einer Ausweitung der Nutzungspflicht nach § 3 EEWärmeG auf den gesamten Gebäudebestand diskutiert. Analog zum baden-württembergischen EWärmeG ist hiermit eine Verpflichtung zur anteiligen Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärmeenergiebedarfs bei Austausch einer Heizanlage gemeint, die auch durch weitergehende Energieeinsparmaßnahmen oder sonstige Ersatzmaßnahmen erfüllt werden kann.

Tabelle 20: Möglichkeiten der Verstärkung des EEWärmeG

EEWärmeG	
Ausweitung der EE-Nutzungspflicht auf den Gebäudebestand	
Politische Umsetzbarkeit	Sehr anspruchsvoll Interaktionen mit Förderprogrammen für EE-Wärme sind zu berücksichtigen (§ 15 EEWärmeG).
Realisierung von Verstärkungen aus technischer Sicht	Der Beitrag zum Steuerungsziel wird im Wesentlichen bestimmt durch die Austauschraten zentraler Heizungen (derzeit ca. 3 %) sowie den geforderten EE-Nutzungspflichtanteil.
Realisierung von Verstärkungen im Hinblick auf die adressierten Akteure	Bei ordnungsrechtlichen Verpflichtungen besteht die Gefahr von Vorzieheffekten oder aber auch von Attentismus, was kurzfristigen Zielbeiträgen entgegenstehen kann. Einmalige Vorzieheffekte in Form eines hohen Zuwachses an Installationen von Öl- und Gaskesseln konnten vor Inkrafttreten des EEWärmeG in Baden-Württemberg beobachtet werden [UM 2011]. Unter Attentismus wird dagegen ein Sanierungsstau in Folge der Gesetzesimplementierung verstanden, wenn das Gesetz höhere Investitionskosten bei einer Heizungserneuerung auslöst. Letzteres konnte aber bislang für das EEWärmeG mangels geeigneter Daten nicht eindeutig nachgewiesen werden.
Wirkungsstärke	Bei einer (konservativen) Ausgestaltung der Nutzungspflicht ähnlich des EEWärmeG Baden-Württemberg 2008 (Mindestpflichtanteil 10 %) beläuft sich der jährliche Anteil der EE-Wärmeerzeugung am gesamten Wärmeenergiebedarf aller Bestandsgebäude in Deutschland, in denen ein neuer Wärmeerzeuger installiert wird, gemäß einem Gutachten auf ca. 13 % [DLR et al. 2010]. Im MEMS [Öko-I & FhG-ISI 2018] werden die Wirkungen einer EE-Wärmenutzungspflicht im Gebäudebestand quantifiziert unter der Annahme, dass für den Bestand dieselben Pflichtanteile gelten wie im Neubau. Bei einer Gesetzesimplementierung im Jahr 2020 beträgt die Einsparung fossiler Brennstoffe den Gutachtern zu Folge 4 PJ/a in 2020 bzw. 42 PJ/a in 2030; eine EE-Nutzungspflicht für den Gebäudebestand wäre somit eines der wirkungsstärksten Instrumente für den Gebäudesektor.

Fazit: Selbst wenn eine entsprechende Gesetzesnovelle vor 2020 in Kraft treten würde, wären die zusätzlichen Beiträge zum Steuerungsziel aufgrund der Kesselaustauschraten sowie einer möglichen abwartenden Haltung der Akteure bis 2020 limitiert. Eine Ausweitung der Nutzungspflicht auf den gesamten Gebäudebestand würde aber mittel- bis langfristig starke Impulse für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors setzen.

EEG

Mit einer Wärmeerzeugung von etwa 18 TWh im Jahr 2014 [DBFZ et al. 2015] sind EEG-geförderte Bioenergieanlagen ein wichtiger Pfeiler für das Steuerungsziel Wärme aus erneuerbaren Energien. Mit Blick auf die Zielbeiträge für 2020 sind daher insbesondere der zusätzliche Ausbau und/oder die Bestandssicherung von Biomasse-KWK-Anlagen von hoher Relevanz. Eine Verstärkung des

EEGs in Hinblick auf die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien kann über eine Anhebung der Ausbaukorridore für Biomasse nach EEG 2017 operationalisiert werden. Hierbei sind die Ergebnisse aus Abschnitt 3.9.5 zu beachten.

3.9.7 Erneuerbare Energien im Verkehr

Eine Verbesserung der Wirkung des Instruments "Förderung der Elektromobilität" und damit eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Verkehr sind auf vielfältige Weise denkbar. Die 2016 eingeführte Kaufprämie für batterieelektrische (BEV) und Plug-in Hybridelektrische Pkw (PHEV) in Höhe von maximal 4,000 Euro wurde bis Ende 2017 deutlich weniger oft beantragt, als eingeplant. Eine Erhöhung der Prämie könnte den Effekt vergrößern. Die beste zusätzliche Wirkung des Instruments kann vermutlich jedoch nur in Kombination mit größeren und schnelleren Investitionen in den Ausbau der öffentlichen (Schnell-) Ladeinfrastruktur erzielt werden. Daher wird die Wirkung einer Verstärkung der Förderung der Elektromobilität erst nach 2020 eine größere Wirkung auf den Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehr entfalten.

Darüber hinaus könnte die Einführung eines Bonus-Malus Systems für den Pkw-Kauf den Markthochlauf von BEV deutlich beschleunigen, weil dadurch Käufer eines Neuwagens oberhalb eines bestimmten CO₂ Grenzwertes einen zusätzlichen Malus abgeben müssten. Käufer von BEVs und PHEVs könnten dagegen einen Bonus erhalten.

Ebenfalls positiv auf den Markthochlauf von BEV und PHEV würde sich die Einführung einer Sonder-AfA auf diese Fahrzeuge für kommerzielle Käufer auswirken. Da in Deutschland jährlich deutlich mehr Gebrauchtwagen als Neuwagen gekauft werden, könnte dieses Instrument den Gebrauchtwagenmarkt für BEV und PHEV stimulieren. Die Wirkung auf den Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehr könnten dadurch bereits 2020 etwas gesteigert werden, die deutlich größere Wirkung wäre allerdings bis 2030 zu erwarten.

3.9.8 Fazit zur Verstärkung bestehender Maßnahmen

Im Betrachtungszeitraum bis 2020 ist insgesamt vor allem aufgrund des begrenzten Zeithorizonts eher von geringen Wirkungen durch die Verstärkung bestehender Maßnahmen auszugehen. Für die einzelnen Sektoren liegen die realisierbaren Wirkungen (falls Daten aus vorhandenen Studien vorliegen) auf Ebene des Endenergieverbrauchs bei jeweils maximal ca. 50 PJ. Dabei spielen in

den verschiedenen Sektoren insbesondere die folgenden Faktoren eine Rolle:

- Eine Reihe von Instrumenten mit bisher hoher Wirkung sind ordnungsrechtliche Instrumente. Diese wirken meist auf Neuzugänge von Geräten, Anlagen, Gebäuden und Fahrzeugen. Daher ist in einem kurzen Zeitraum aufgrund langer Investitionszyklen von einer geringen Wirkung auszugehen. Zudem sind Akzeptanzprobleme bei der Einführung solcher Maßnahmen und mögliche gegenläufige Reaktionen der Endverbraucher zu berücksichtigen.
- Mehrere Instrumente werden nicht auf nationaler Ebene umgesetzt, sondern auf europäischer Ebene. Diese Instrumente sind in dem kurzen Zeitraum bis 2020 aufgrund nationaler Initiativen kaum zu beeinflussen.
- Instrumente, die auf den Bestand wirken, besitzen deshalb kurzfristig ein größeres Potenzial für eine hohe Wirkung. Einige dieser Instrumente weisen auch für die Vergangenheit deutliche Anteile an der Gesamtwirkung des Instrumentenkatalogs. Dies betrifft insbesondere bestehende Förderinstrumente, welche grundsätzlich auch im Zeitraum bis 2020 auch verstärkt werden können. Aufgrund der Unsicherheit über die Reaktion der adressierten Akteure und Annahme von Fördergeldern ist jedoch die Wirkung dieser Maßnahmen deutlichen Unsicherheiten unterworfen.
- Die realisierbare Wirkung von Instrumenten im Stromsektor auf die THG-Emissionen unterliegt aufgrund der Kraftwerks- und Preisstruktur im Strommarkt gewissen Unsicherheiten. Bis 2020 kann beispielsweise der Ausbau erneuerbarer Energien über die Steuerung der Ausschreibungsmengen durchaus kurzfristig erhöht werden. Eine Realisierung der Projekte scheint bis zum Jahr 2020 auch möglich, wenn auch mit Unsicherheiten behaftet. Ob damit tatsächlich eine relevante Emissionsreduktion realisiert werden kann, ist jedoch wiederum von der Strommarktsituation abhängig und dementsprechend unsicher.

Die Verstärkung bestehender Instrumente spielt insbesondere im Hinblick auf die Realisierung der definierten Ziele eine Rolle. Dabei müssen die im Folgenden analysierten Ergebnisse zur Zielerreichung in den verschiedenen Sektoren und die sich ergebende Differenz zum Ziel im Jahr 2020 berücksichtigt werden.

4 Horizontale Analyse

4.1 Aufgabenstellung und Methodik

Wesentliche Aufgabe des im Rahmen dieses Kapitels beschriebenen AP 3 ist die Analyse der Wechselbeziehungen zwischen den Steuerungszielen und eine Quantifizierung der Beiträge der Steuerungsziele zur Erreichung der Kernziele. Zudem wird ein erster Kriterienkatalog ermittelt, mit dem die Beiträge der Steuerungsziele bewertet werden können.

Dementsprechend sind die Analysen in diesem Kapitel dreigeteilt:

- In einem ersten Schritt werden die Wechselwirkungen zwischen den Steuerungszielen auf den verschiedenen Ebenen analysiert. Zudem werden die Wirkungen auf die übergeordneten Ziele untersucht. Die dabei analysierten Wirkungen werden wo möglich auch quantifiziert.
- Auf Basis der Ergebnisse der Analyse der Wechselwirkungen und der aggregierten Maßnahmenwirkungen aus AP 2 werden die Beiträge der Steuerungsziele zur Erreichung der Kernziele quantifiziert. Dabei erfolgt zuerst die Berechnung der Zielerreichung innerhalb der Sektorziele. Darüber hinaus wird die Zielerreichung für die übergeordneten Ziele quantifiziert.
- Abschließend erfolgt in AP 3 die Definition von einer Reihe von Kriterien, mit denen die Beiträge der Steuerungsziele bewertet werden können. Neben den Leitkriterien Kosteneffizienz und Systemintegration werden weitere Nebenkriterien vorgeschlagen. Die im Rahmen dieses Arbeitspakets vorgeschlagenen Kriterien dienen im weiteren Verlauf des Projekts insbesondere der Bewertung der Flexibilisierung der Steuerungsziele in AP 4.

4.2 Wechselwirkungen der Ziele der Zielarchitektur

Um die Wechselwirkungen zwischen den Steuerungszielen systematisch zu erfassen, wurden zunächst die definitorischen Details der Steuerungsziele aufbereitet und Wechselwirkungen, die sich unmittelbar aus der Definition ergeben, beispielsweise durch Überlappungen der Bezugsgrößen oder eine Zieldefinition, ermittelt („bilanzielle Wechselwirkungen“). Des Weiteren wurden bereits im AP 1 bei der Sichtung der Studien zu Instrumentenwirkungen dort

genannte Wechselwirkungen mit anderen Steuerungszielen und den zugehörigen Instrumenten gesammelt. Wechselwirkungen zwischen Instrumenten, die demselben Steuerungsziel zugeordnet sind, sind dabei in den Analysen in AP 1 und AP 2 berücksichtigt worden und werden daher im Folgenden nicht mehr einbezogen.

Anschließend wurden die Wechselwirkungen für die jeweils betroffenen Steuerungsziele aggregiert und nach folgender Logik qualitativ bewertet:

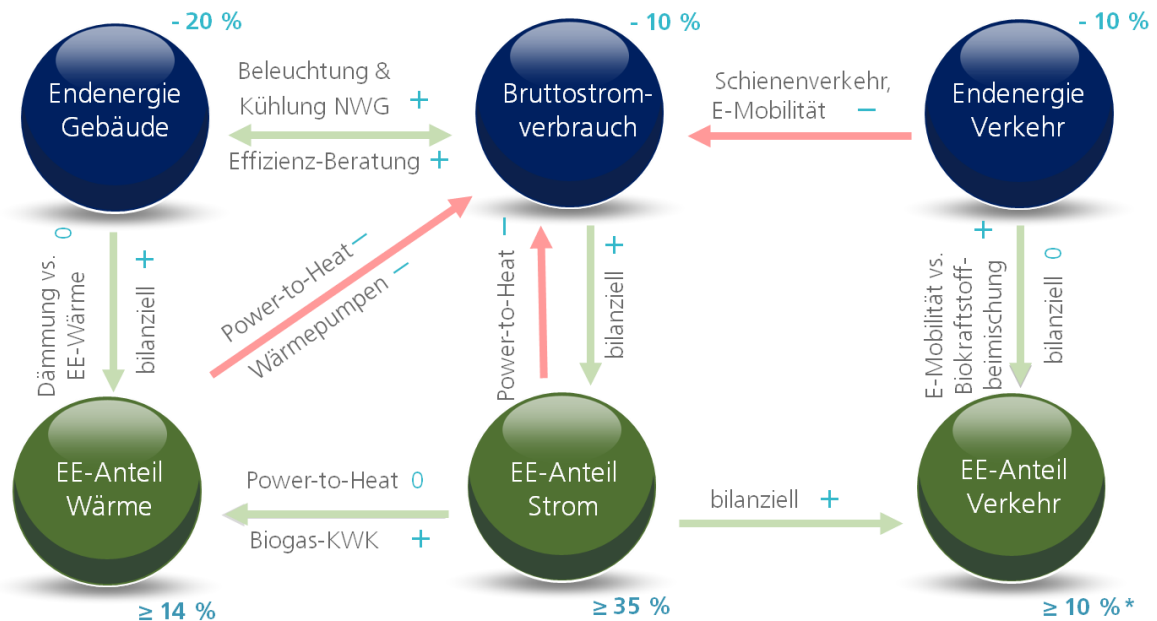
- +: das Ziel X hat einen fördernden Einfluss auf das Erreichen des Ziels Y,
- 0: das Ziel X hat keinen nennenswerten Einfluss auf das Erreichen des Ziels Y,
- -: das Ziel X hat einen hemmenden Einfluss auf das Erreichen des Ziels Y,

wobei diese Bewertung nur bezüglich der spezifischen Definition der Energiewende-Ziele in der Zielarchitektur gültig ist. Eine Bewertung mit 0 schließt also nicht eine Wechselwirkung nicht grundsätzlich aus.

4.2.1 Wechselwirkungen auf der Ebene der Steuerungsziele

Abbildung 13 gibt einen Überblick über die identifizierten Wechselwirkungen. Diese werden in der Folge detaillierter beschrieben.

Abbildung 13: Wechselwirkungen zwischen den Steuerungszielen; EE: erneuerbare Energien; +/0/- : Ziel X hat fördernden/ nicht-signifikanten/ hemmenden Einfluss auf das Ziel Y. * EU-Vorgabe, kein Ziel des Energiekonzepts



Quelle: eigene Darstellung

Wechselwirkungen zwischen den Endenergieverbrauchszielen Strom und Gebäude

Zwischen dem Strom-Effizienzziel und dem Gebäude-Effizienzziel bestehen sowohl bilanzielle Wechselwirkungen (s.o.) als auch Wechselwirkungen auf Instrumentenebene:

- Das Endenergieverbrauchsziel für Gebäude umfasst laut Definition auch den Stromverbrauch für die Beleuchtung in Nicht-Wohngebäuden sowie für die strombasierte Heizwärme und Raumkühlung generell. Eine effizientere Beleuchtung und Kühlung von Nicht-Wohngebäuden trägt daher (ebenso wie eine Substitution von alten Stromheizungen durch effizientere Heizungssysteme) vollumfänglich sowohl zum Endenergieverbrauchsziel für Gebäude als auch zu dem für den Bruttostromverbrauch bei (+). Diese Doppelzählung muss entsprechend bei der Betrachtung der Kernziele herausgerechnet werden.
- Weiterhin setzen die betrieblichen Energieberatungsprogramme nicht (nur) entweder bei der Stromnachfrage oder beim Energiebedarf in Gebäuden an, sondern reizen Einsparungen in beiden Bereichen an. So tragen die Beratungsprogramme in Teilen sowohl zur Reduktion des

Bruttostromverbrauchs als auch zum Endenergieverbrauchsziel für Gebäude bei (+).

Wechselwirkungen zwischen dem Ziel „EE-Wärme“ und dem Ziel Endenergieverbrauch Strom

Zwischen dem Endenergieverbrauchsziel für Strom und dem Ziel für EE-Wärme gibt es Wechselwirkungen im Kontext der strombasierten Bereitstellung von Heizwärme:

- Der durch das MAP und das EEWärmeG angereizte Einsatz von Wärmepumpen ist ein wesentlicher Baustein zum Erreichen des EE-Ziels für Wärme. Die fast ausschließliche Nutzung strombetriebener Wärmepumpen erhöht allerdings zugleich den Bruttostromverbrauch. Der positive Beitrag zum EE-Wärmeziel ist zwar um einen durch die durchschnittliche Jahresarbeitszahl gegebenen Faktor größer. Der zusätzliche Stromverbrauch ist jedoch absolut gesehen deutlich hinderlich für das Erreichen des Endenergieverbrauchsziels für Strom (-).
- Der Einsatz von Power-to-Heat-Technologien unterstützt das Ziel für EE-Wärme auf Grund der Tatsache, dass in der Definition des Ziels für EE-Wärme strombasierte Wärmebereitstellung nicht berücksichtigt ist. Denn so erhöht sich zwar nicht die absolute Menge an erneuerbarer Wärme, der Anteil an EE-Wärme auf Grund des reduzierten Gesamtverbrauchs an nicht-strombasierter Wärme jedoch schon. Der Einsatz von Power-to-Heat-Technologien erschwert hingegen das Erreichen des Endenergieverbrauchsziels für Strom durch zusätzlichen Stromverbrauch (-).

Wechselwirkungen zwischen dem Ziel für EE-Wärme und dem Endenergieverbrauchsziel für Gebäude

Zwischen dem Gebäude-Effizienzziel und dem EE-Wärme-Ziel gibt es Wechselwirkungen bilanzieller Art, während die Wechselwirkungen von Instrumenten auf der Zielebene nicht maßgeblich sind:

- Die Reduktion des Endenergieverbrauchs an Wärme in Gebäuden, insbesondere durch thermische Sanierung, verringert unmittelbar die für eine prozentuale Erhöhung des Anteils nötige erneuerbare Wärme, weil das Ausbauziel für EE-Wärme anteilmäßig definiert ist. Hierbei ist zu beachten, dass der Anteil an EE-Wärme-Nutzung in Gebäuden

mit hohen thermischen Sanierungspotenzialen eher gering ist (+).

- Mehrere Instrumente wie das EEWärmeG in Kombination mit der EnEV erlauben die Kombination von EE-Nutzung und Effizienzmaßnahmen. Durch den Substitutionscharakter wird keins der betreffenden Steuerungsziele gehemmt oder gefördert. Zudem macht eine thermische Sanierung zum Teil den sinnvollen Einsatz von EE-Wärme erst möglich. Andererseits kann eine thermische Sanierung von Gebäuden, die bereits erneuerbare Wärmequellen nutzen, wie z.B. durch die EnEV getrieben, dazu führen, dass die absolute Menge an EE-Wärme zurückgeht. Auf Grund der anteilsorientierten Formulierung des EE-Ziels für Wärme hemmt dies nur die unterstützende Wirkung des Endenergieverbrauchsziels für Gebäude und dies auch nur in geringem Umfang (0).

Wechselwirkungen zwischen dem Ziel für EE-Strom und dem Endenergieverbrauchsziel für Strom

Zwischen dem Endenergieverbrauchsziel für Strom und dem EE-Ziel für Strom bestehen Wechselwirkungen im Fall einer Vermeidung von EE-Abregelung und bilanzieller Art:

- Eine Reduktion des Bruttostromverbrauchs verringert den für eine prozentuale Erhöhung des Anteils nötigen erneuerbaren Strom, weil das EE-Strom-Ziel als Anteil am Bruttostromverbrauch definiert ist (+). Dabei kommt insbesondere der bisher gesetzlich geregelte Einspeisevorrang von erneuerbarem Strom zum Tragen, durch welchen sichergestellt ist, dass eine Reduktion des Stromverbrauchs sich nicht hemmend auf die erneuerbare Erzeugung auswirkt. In Bezug auf den Anteil an der Bruttostromerzeugung wäre der Einfluss wegen der europäisch integrierten Strommärkte geringer, weil die Reduktion des Verbrauchs zum Teil nur zu höheren Exporten führt.
- Bei entsprechender Fahrweise kann der Einsatz von Power-to-Heat-Technologien dazu beitragen, das Abregeln von erneuerbarer Stromerzeugung zu verhindern, und so das Ziel für EE-Strom unterstützen (vgl. Kapitel 4.4). Allerdings wird sich dadurch zugleich der Bruttostromverbrauch erhöhen, wenn eine nicht-strombasierte Wärmequelle ersetzt wird, was auf das Erreichen des Endenergieverbrauchsziels für Strom hemmend wirkt (-).

Wechselwirkungen zwischen dem Ziel „EE-Wärme“ und dem Ziel „EE-Strom“

Zwischen dem Ziel für EE-Wärme und dem Ziel für EE-Strom gibt es Synergien im Kontext von EE-basierter Kraft-Wärme-Kopplung:

- Der Ausbau von Biogasanlagen mit Wärmenutzung, wie sie seit der EEG-Novelle 2012 verpflichtend ist und bereits zuvor angereizt wurde, unterstützt zugleich das Erreichen des Ziels für EE-Wärme und des Ziels für EE-Strom (+).
- Da ein Einsatz von Power-to-Heat-Technologien wie oben erläutert gemäß der Zieldefinition nicht auf das Ziel für EE-Wärme angerechnet wird, besteht hierüber keine Wechselwirkung mit dem Ziel eines Ausbaus der Erzeugung von EE-Strom (0).

Wechselwirkungen zwischen dem Endenergieverbrauchszielen für Strom und im Verkehr

Zwischen den Endenergieverbrauchszielen für Verkehr und Strom bestehen starke Wechselwirkungen auf Grund neuer Stromverbraucher im Verkehrsbereich:

- Durch den Ausbau von Elektromobilität und elektrischem Schienenverkehr verringert sich auf Grund der im Vergleich zu Verbrennungsmotoren besseren Effizienzeigenschaften der Endenergiebedarf im Verkehr, z.T. deutlich. Jedoch erhöht sich zugleich der Bruttostromverbrauch in erheblichem Umfang, weswegen das Erreichen des Endenergieverbrauchsziels Strom stark gehemmt wird (-). Eine effizientere Nutzung von Strom im Verkehr hingegen trägt zu beiden Zielen gleichermaßen bei, spielt aber aktuell auf Grund der bisher nicht allzu hohen Stromnutzung im Verkehr (1,4 % in 2014) eine untergeordnete Rolle.

Wechselwirkungen zwischen dem Ziel für EE im Verkehr und dem Ziel für Energieeffizienz im Verkehr

Zwischen dem Endenergieverbrauchsziel im Verkehr und dem Ziel für EE im Verkehr bestehen Wechselwirkungen bilanzieller Art und durch eine verstärkte Nutzung elektrischer Antriebe (vgl. Kapitel 4.4):

- Die Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr kann das Erreichen des EE-Ziels im Verkehr erleichtern,

weil das EE-Ziel im Verkehr anteilmäßig am Endenergieverbrauch definiert ist. Da jedoch der EE-Anteil im Verkehr weit überwiegend aus der Beimischung von Biokraftstoffen ergibt, führt eine Reduktion des Endenergieverbrauchs im Straßenverkehr nicht zu einer relevanten Erhöhung des EE-Anteils, weswegen die unterstützende, bilanzielle Wirkung der Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr als geringfügig anzusehen ist (0).

- Durch eine verstärkte Nutzung elektrischer Antriebe wird nicht nur der Endenergieverbrauch im Verkehr verringert, sondern über die Nutzung von EE-Strom auch der EE-Anteil im Verkehr erhöht, allerdings ohne weitere Maßnahmen nur um den durchschnittlichen EE-Anteil im „Graustrom“ (+).
- Zudem substituiert die Nutzung von Strom im Straßenverkehr einen Teil des dortigen Kraftstoffverbrauchs, wodurch der Beitrag der Biokraftstoffbeimischung zum EE-Ziel im Verkehr geringer wird. Durch den aktuell deutlich höheren EE-Anteil bei Strom ist dieser Effekt auf Steuerungsebene gering. Auf der Ebene des EE-Kernziels wirkt er sich jedoch stärker aus, weil dort die Doppelzählung des EE-Stroms herausgerechnet werden muss.

Wechselwirkungen zwischen dem EE-Ziel Strom und dem EE-Ziel Verkehr

Durch den Ausbau der Elektromobilität kommt es auch zu Wechselwirkungen zwischen dem EE-Ziel für Strom und dem EE-Ziel im Verkehr:

- Eine Erhöhung des EE-Anteils am Bruttostromverbrauch unterstützt das Erreichen des EE-Ziels im Verkehr über die Nutzung von Elektromobilität und des elektrifizierten Schienenverkehrs in einem durch den Stromanteil im Verkehr gegebenen Umfang (+). Diese Doppelzählung von EE-Strom muss entsprechend bei der Betrachtung der Kernziele herausgerechnet werden.

4.2.2 Wechselwirkungen der Strategie- und Steuerungsebene

Auch zwischen Steuerungs- und Kernzielen gibt es eine Reihe von Wechselwirkungen, welche bilanzieller Natur sind, also sich allein aus denen Definitionen der verschiedenen Ziele ergeben. Wichtig

ist es dabei wieder, dass sowohl die Steuerungs- als auch die Kernziele nicht in absoluten Zahlen, sondern als anteilmäßige Ziele an den jeweils zu Grunde liegenden Gesamtverbräuchen definiert sind.

Für das Kernziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs spielt zudem eine wesentliche Rolle, welcher Primärenergieaufwand sich mit den verschiedenen Endenergieverbräuchen verbindet und zwar sowohl insgesamt als auch unterschieden zwischen den konventionellen und den erneuerbaren Energieträgern.

So ist offensichtlich, dass eine Reduktion des Endenergieverbrauchs in einem Sektor um einen bestimmten Prozentsatz auch den Primärenergieverbrauch absenkt sowie die notwendige Menge zum Erreichen des Kernziels der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie am Brutto-Endenergieverbrauch verringert. Die resultierenden prozentualen Änderungen in Bezug auf das jeweilige Kernziel lässt sich in Abhängigkeit der sektoralen Anteile am Endenergieverbrauch bzw. am Primärenergieverbrauch und von den jeweiligen Primärenergiefaktoren ausdrücken. Die sich ergebenden Umrechnungsfaktoren zwischen den prozentualen Änderungen der Steuerungs- und Kernziele auf Grund von Wechselwirkungen bilanzieller Art sind in Tabelle 21 dargestellt. Diese werden in der Folge näher beschrieben.

Tabelle 21: Allg. Umrechnungsfaktoren von prozentualen Änderungen der Steuerungsziele in prozentuale Änderungen der Kernziele; EEV = Endenergieverbrauch; PEF / PEV = Primärenergiefaktor / -verbrauch.

Umrechnungsfaktoren allg.	Reduktionsziel Primärenergieverbrauch	EE-Ziel Bruttoendenergieverbrauch
EEV-Ziel Strom	$PEF \text{ Strom} \times \text{Bruttostromverbrauch} / PEV$	$EE\text{-Anteil} \times \text{Bruttostromverbrauch} / \text{Brutto-Endenergieverbrauch}$
EEV-Ziel Gebäude	$PEF \text{ Wärme} \times EEV \text{ Wärme} / PEV$	$EE\text{- Anteil} \times EEV \text{ Gebäude} / \text{Brutto-Endenergieverbrauch}$
EEV-Ziel Verkehr	$PEF \text{ Verkehr} \times EEV \text{ Verkehr} / PEV$	$EE\text{- Anteil} \times EEV \text{ Verkehr} / \text{Brutto-Endenergieverbrauch}$
EE-Ziel Strom	$(PEF \text{ Verdrängungsstrom} - PEF \text{ EE-Strom}) \times \text{Bruttostromverbrauch} / PEV$	$\text{Bruttostromverbrauch} / \text{Brutto-Endenergieverbrauch}$
EE-Ziel Wärme	$(PEF \text{ fossile Brennstoffe} - PEF \text{ EE-Wärme}) \times EEV \text{ Wärme} / PEV$	$EEV \text{ Wärme} / \text{Brutto-Endenergieverbrauch}$
EE-Ziel Verkehr	$(PEF \text{ fossile Brennstoffe} - PEF \text{ EE-Verkehr}) \times EEV \text{ Verkehr} / PEV$	$EEV \text{ Verkehr} / \text{Brutto-Endenergieverbrauch}$

Zum Verständnis der Bedeutung der aufgeführten Faktoren ist es am einfachsten, sich ein Beispiel herauszugreifen: Eine zusätzliche Stromeinsparung von z. B. drei Prozentpunkten erhöht die Primärenergieeinsparung um drei Prozentpunkte gewichtet mit zwei Faktoren, die durch den Primärenergiefaktor (PEF) Strom und den Anteil des Stromverbrauchs am Primärenergiebedarf gegeben sind. Zusätzlich ändert sich auch der EE-Anteil am Bruttoendenergieverbrauch um drei Prozentpunkte gewichtet mit zwei Faktoren, die durch den EE-Anteil im Betrachtungsjahr und den Anteil des Bruttostromverbrauchs am BEEV gegeben sind. Beides gilt unter der Annahme, dass die anderen Endenergieverbräuche und EE-Anteile konstant bleiben:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta PEV_{gesamt}}{PEV_{gesamt}} &= PEF_{Strom} \times \frac{\Delta Bruttostromverbrauch \times Bruttostromverbrauch}{PEV_{gesamt} \times Bruttostromverbrauch} \\ &= \frac{PEV_{Bruttostromerzeugung}}{Bruttostromerzeugung} \times \frac{Bruttostromverbrauch}{PEV_{gesamt}} \times \frac{\Delta Bruttostromverbrauch}{Bruttostromverbrauch} \\ \Delta \left(\frac{EE_{gesamt}}{BEEV} \right) &\cong \frac{EE_{gesamt}}{BEEV} \times \frac{Bruttostromverbrauch}{BEEV} \times \frac{\Delta Bruttostromverbrauch}{Bruttostromverbrauch} \end{aligned}$$

Hier bezeichnet Δ die Änderung der jeweiligen Größe in absoluten Einheiten, (B)EEV den (Brutto-)Endenergieverbrauch und PEV den Primärenergieverbrauch. Das „ \cong “ bedeutet Gleichheit bis auf einen Fehlerterm der Größenordnung $\left(\frac{\Delta Bruttostromverbrauch}{Bruttostromverbrauch} \right)^2$.

Die sich ergebenden Umrechnungsfaktoren zwischen Steuerungs- und Kernzielen wurden für das Jahr 2014 auf Basis der offiziellen Energiestatistiken und der DIN V 18599-1 berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 zusammengefasst. Die Tabelle wird weiter unten detailliert erläutert.

Tabelle 22: Umrechnungsfaktoren von prozentualen Änderungen der Steuerungsziele in prozentuale Änderungen der Kernziele im Jahr 2014 (eigene Berechnungen basierend auf AGEBA-Daten und DIN V 18599-1).

Umrechnungs-fak-toren 2014	Reduktionsziel Primär-energieverbrauch	EE-Ziel Bruttoendenergie-verbrauch
EEV-Ziel Strom	0.38	0.03
EEV-Ziel Gebäude	0.28	0.05
EEV-Ziel Verkehr	0.21	0.04
EE-Ziel Strom	0.18	0.24
EE-Ziel Wärme	-0.03	0.47
EE-Ziel Verkehr	-0.08	0.29

Für das obige Beispiel bedeutet dies, dass eine Reduktion des Bruttostromverbrauchs um einen Prozentpunkt einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 0,38 Prozentpunkte entspräche und einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie am Brutto-Endenergieverbrauch um 0,03 Prozentpunkte.

Die Reduktion des Primärenergieverbrauchs (PEV) wird auf Seiten der Steuerungsziele stark getrieben durch die Endenergieverbrauchsziele für Strom, Gebäude und Verkehr sowie durch den EE-Strom-Ausbau, während sich der EE-Ausbau bei Wärme und Verkehr negativ auf den Primärenergieverbrauch auswirken kann, wenn auch nur in begrenztem Umfang:

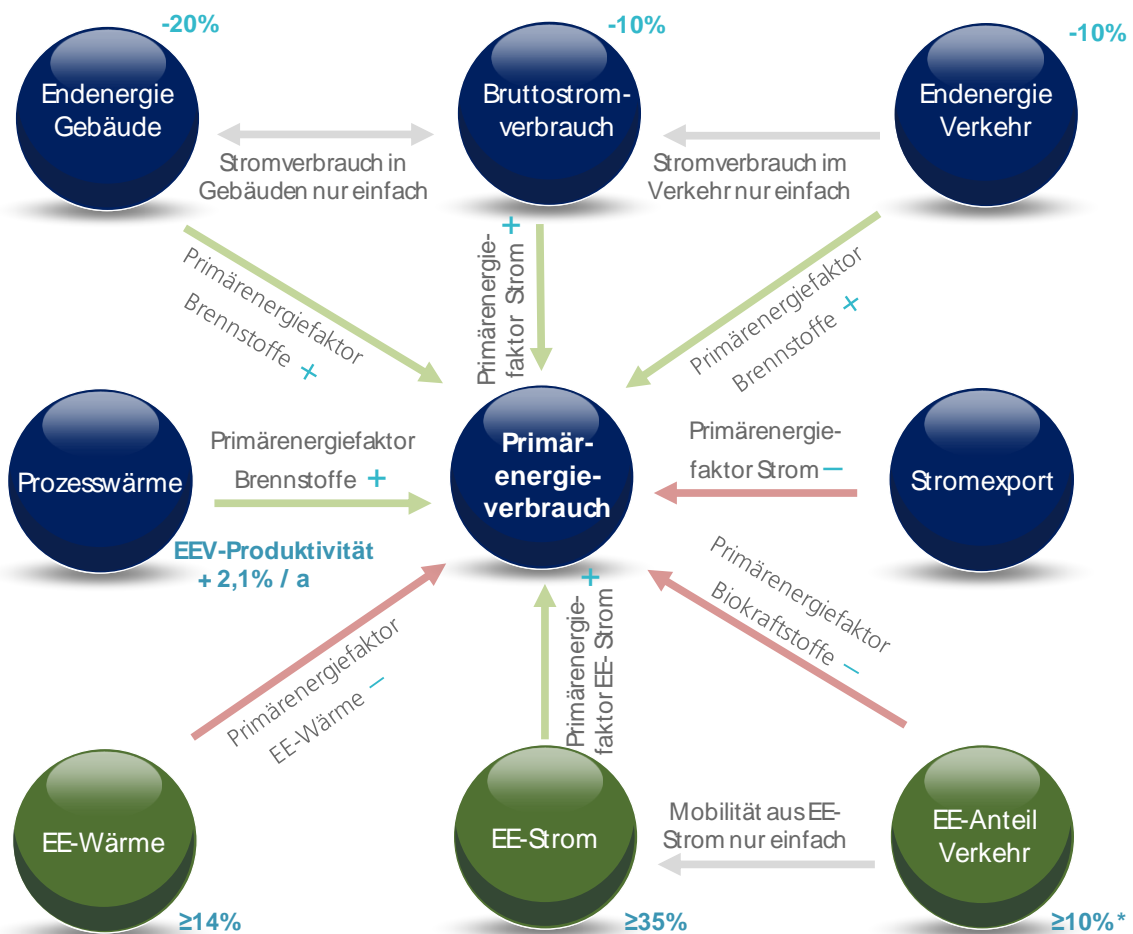
- Eine Senkung des Bruttostromverbrauchs um einen Prozentpunkt unterstützt die Reduktion des PEV proportional zum Anteil des Primärenergieaufwands zur Stromerzeugung am gesamten Primärenergieverbrauch. Entsprechendes gilt für die Endenergieverbrauchsziele für Gebäude und Verkehr (+). Strom hat hier mit einem Faktor von ca. 0,38 in 2014 den relativ gesehen stärksten Einfluss, vor Wärme und Verkehr. Hier ist zu beachten, dass weder die Reduktion des Stromverbrauchs in Gebäuden noch des Stromverbrauchs im Verkehr doppelt bilanziert werden darf, so dass die sektoralen Reduktionen des EEV nicht vollständig additiv sind (-).
- Eine Erhöhung des EE-Strom-Anteils um einen Prozentpunkt senkt den Primärenergieverbrauch proportional sowohl zum Anteil des Bruttostromverbrauchs am gesamten Energieverbrauch als auch zur Differenz der Primärenergiefaktoren (PEF) des Verdrängungsstrommixes und des EE-Mixes. Der PEF der erneuerbaren Stromerzeugung aus Wind, Photovoltaik und Laufwasserkraft, welche den überwiegenden Anteil ausmacht, wird nach Wirkungsgradprinzip als 1 angenommen, was zu einer deutlichen Reduktion des Primärenergieverbrauchs im Vergleich zum Verdrängungsmix aus konventionell erzeugtem Strom führt (+). Der PEF der Stromerzeugung aus biogenen Brennstoffen ist von den Brennstoffen und Anlagen abhängig, liegt jedoch im Mittel der Größenordnung des PEFs des Verdrängungsstrommixes, so dass die Primärenergieeinsparung hier vernachlässigbar ist.
- Die Wirkung der Senkung des Bruttostromverbrauchs und des Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsektor werden dadurch gedämpft, dass sie nur zum Teil zu einer Reduktion der konventionellen Stromerzeugung führen. Diese Maßnahmen führen aktuell aufgrund der Kraftwerksstruktur in Deutschland zu einer Erhöhung der Menge des Stromexports (vgl. Box 2)

- Zur Bestimmung des Beitrags des Stromexports zum Primärenergieverbrauch ist der Stromexport mit der Differenz aus dem Strom-PEF und 1 zu gewichten (-). Dies bildet ab, dass in der AGEB-Methodik der für die Strombereitstellung erforderliche Primärenergieaufwand in den Primärenergieverbrauch eingeht, jedoch die exportierte Menge Strom beim inländischen Primärenergieverbrauch wieder abgezogen wird. Im Jahr 2014 schlug sich eine anteilmäßige Änderung des Stromexports mit einem Faktor von 0,2 als anteilmäßige Änderung des Primärenergieverbrauchs nieder.
- Eine Erhöhung des nicht strombasierten EE-Wärme- und des EE-Verkehrs-Anteils um einen Prozentpunkt ändert den Primärenergieverbrauch proportional sowohl zum jeweiligen Anteil des Endenergieverbrauchs am gesamten Energieverbrauch als auch zur Differenz der Primärenergiefaktoren (PEF) des verdrängten Brennstoffmixes und des EE-Mixes. Während zur Wärmebereitstellung genutzter Strom bereits im Steuerungsziel für den EE-Wärme-Ausbau nicht berücksichtigt wird, darf Mobilität auf Basis von EE-Strom dabei nur einfach gezählt werden (-). Eine auf biogenen Brennstoffen basierende Erhöhung des EE-Anteils in Gebäuden hemmt daher das Erreichen des Primärenergieziels leicht, weil hierfür der PEF inkl. erneuerbarem Anteil relevant ist und dieser in der DIN V 18599-1 für Biomasse mit 1,2 bis 1,5 etwas über demjenigen fossiler Brennstoffe von 1,1 bis 1,2 liegt. Analoges gilt für den Verkehrsbereich. Ein Ausbau von EE-Wärme auf Basis von Umweltwärme (PEF 1,0) oder KWK (PEF 0,7) hingegen unterstützt das Primärenergieziel in moderatem Umfang. Aktuell basiert jedoch der überwiegende Anteil von EE-Wärme auf biogenen Brennstoffen (-).
- Eine Erhöhung der Endenergieproduktivität um einen Prozentpunkt über das parallel auftretende Wirtschaftswachstum hinaus führt zu einer Senkung des PEV proportional zum vorherrschenden Anteil des energetischen PEVs am gesamten PEV. Diese Wirkung überlappt jedoch mit der Reduktion der Endenergieverbräuche in den Sektoren und kann nur in Bezug auf die dort nicht erfasste Prozesswärme als zusätzlich angesehen werden (+).
- Wichtig ist es festzuhalten, dass der Prozesswärmebedarf auf der Steuerungszielebene nicht explizit adressiert wird. U.a. darüber wirken jedoch die Instrumente des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) und des

Emissionszertifikatehandels in der EU (EU-ETS) auf das Kernziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs.

Abbildung 14 fasst die Wechselwirkungen der Steuerungsziele mit dem Kernziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs zusammen.

Abbildung 14: Überblick über die Wechselwirkungen der Kernziele mit dem Ziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs; EE: erneuerbare Energien; +/- : das Ziel X hat fördernden/hemmenden Einfluss auf das Ziel Y.



Quelle: eigene Darstellung

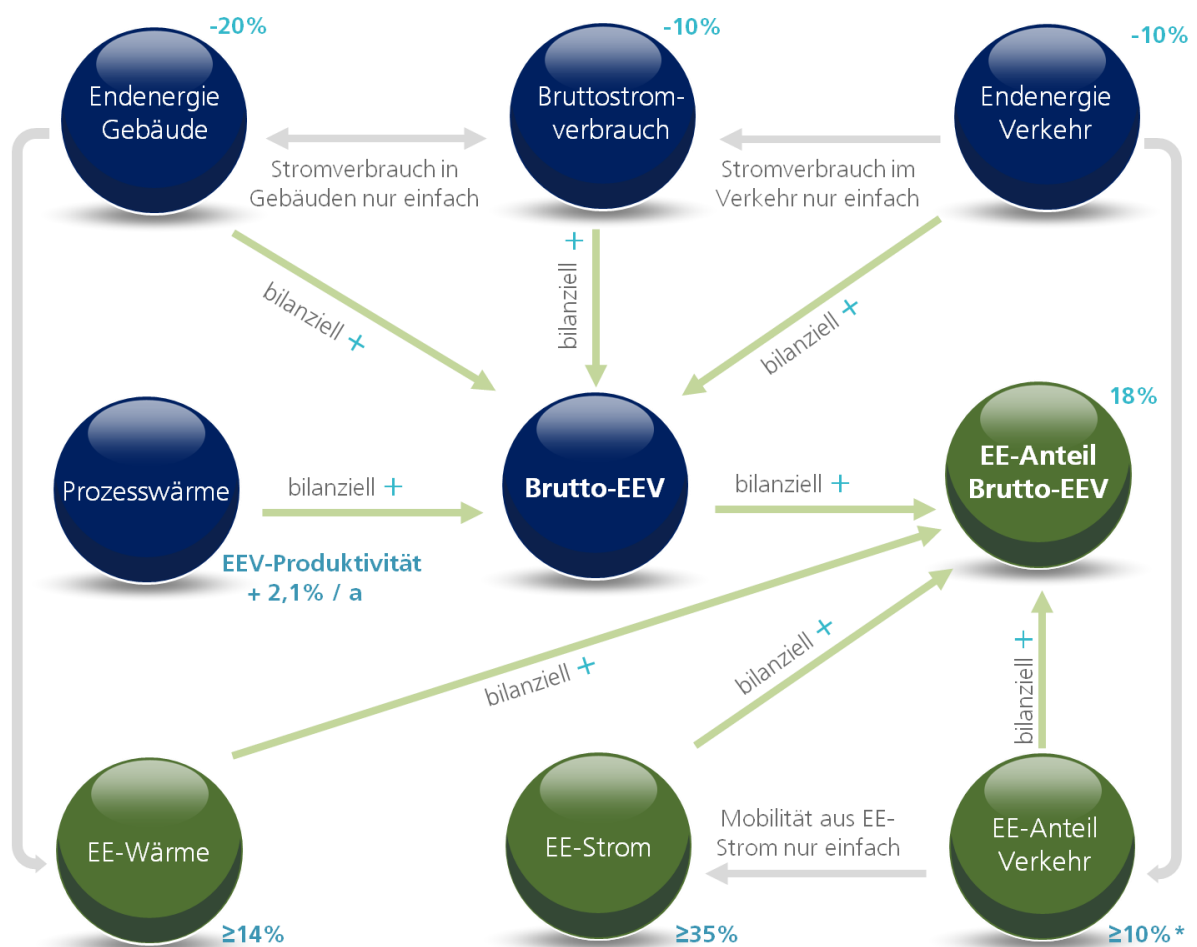
Die Steigerung des EE-Anteils am Bruttoendenergieverbrauch wird erwartungsgemäß im Wesentlichen durch den sektoralen EE-Ausbau getrieben, aber auch die dortige Reduktion des Endenergieverbrauchs wirkt sich positiv aus:

- Eine Erhöhung des EE-Anteils bei Strom, Wärme und Verkehr um einen Prozentpunkt wirkt sich proportional zum jeweiligen Anteil am Brutto-EEV für das EE-Kernziel aus (+). Im Verkehr genutzter EE-Strom darf dabei wiederum nur einfach bilanziert werden, weswegen die sektoralen Beiträge nicht komplett additiv sind (-). Dadurch, dass der Wärmeanteil am Brutto-EEV in Deutschland (47 % im Jahr 2014 laut offizieller Energiestatistiken) deutlich über den Anteilen von Strom und Verkehr liegt, trägt das EE-Wärme-Ziel besonders stark zum Erreichen des Brutto-EEV bei (0,47 Prozentpunkte pro zusätzlichem Prozentpunkt EE-Wärme).
- Die Endenergieverbrauchsziele für Strom, Gebäude und Verkehr unterstützen eine Senkung des Brutto-EEV proportional zum jeweiligen Anteil am Brutto-EEV. In entsprechendem Maß tragen sie zusätzlich gewichtet mit dem EE-Anteil am Gesamtverbrauch zur Erhöhung des EE-Anteils am Brutto-EEV bei (+). Dabei ist Strom in Gebäuden und im Verkehr erneut jeweils nur einfach zu berücksichtigen. Die Beiträge der einzelnen Steuerungsziele sind vergleichbar und liegen mit einer Erhöhung des EE-Anteils am Brutto-EEV um 0,03 – 0,05 Prozentpunkten pro Prozentpunkt Verbrauchsreduktion deutlich unterhalb der Beiträge durch den EE-Ausbau. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Wirkung insbesondere im Verkehr größtenteils dadurch aufgehoben wird, dass die Reduktion des Energieverbrauchs im Straßenverkehr sich auf Grund des hohen Stellenwertes der Biokraftstoffbeimischung negativ auf die absolut genutzte Menge an erneuerbarer Energie auswirkt. Bei Gebäuden gibt eine entsprechende Wirkung durch die thermische Sanierung von Gebäuden mit bestehender EE-Wärme-Nutzung, welche jedoch als eher geringfügig anzusehen ist. Bei Strom tritt ein solcher Effekt bisher auf Grund des Einspeisevorrangs für Erneuerbare nicht auf.
- Eine Erhöhung der Endenergieproduktivität um einen Prozentpunkt über das parallel auftretende Wirtschaftswachstum hinaus führt zu einer entsprechenden Senkung des Brutto-EEV und impliziert dadurch die Steigerung des EE-Anteils am Brutto-EEV proportional zum jeweils vorherrschenden EE-Anteil (+). Diese Wirkung überlappt jedoch mit der Reduktion des Endenergieverbrauchs in den Sektoren und kann nur in Bezug auf die dort nicht erfasste Prozesswärme als zusätzlich angesehen werden.
- Wieder muss beachtet werden, dass der Prozesswärmebedarf auf der Steuerungszielebene nicht explizit adressiert wird und u.a. darüber der EU-ETS indirekt auf das

Ziel zur Steigerung des EE-Anteils am Endenergieverbrauch wirkt.

Abbildung 15 stellt die Wechselwirkungen der Steuerungsziele mit dem Ziel der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Überblick dar.

Abbildung 15: Überblick über Wechselwirkungen der Steuerungsziele mit dem Ziel der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien (EE) am Endenergieverbrauch (EEV); +/- : das Ziel X hat fördernden/hemmenden Einfluss auf Ziel Y.



Quelle: eigene Darstellung

4.3 Zielerreichung

4.3.1 Beurteilung der Zielerreichung / Zielverfehlung auf Ebene der Steuerungsziele

Im folgenden Teil der Studie wird analysiert, inwieweit die in den ersten beiden Arbeitspaketen ermittelten Instrumentenwirkungen für das Erreichen des sektoralen Steuerungsziels hinreichend sind. Dafür müssen die Instrumentenwirkungen auf eine geeignete Referenzentwicklung angewandt werden.

Referenzentwicklung

Die in Kapitel 3 ermittelten Instrumentenwirkungen beinhalten alle Wirkungen ab dem Jahr 2008. Auch die Wirkungen bereits vorher eingeführter Instrumente nach 2008 müssen durch die Analysen abgedeckt werden. Damit bedarf es einer Referenzentwicklung, welche nur die Instrumentenwirkungen vor 2008 fortschreibt. Hierzu wurde eine Anpassung des in einem aktuellen Projekt des BMWi (Makroökonomische Effekte der Energiewende) entwickelten kontrafaktischen Szenarios (KS) vorgenommen. Die dabei gewählte Methodik wird in Box 1 zusammengefasst.

Box 1: Methodisches Vorgehen bei der Implementierung der Referenzentwicklung

Die Instrumentenwirkungen müssen auf eine Referenzentwicklung bezogen werden, um die zu erwartende Gesamtentwicklung der Endenergieverbräuche und der erneuerbaren Energien abzuschätzen. Durch dieses Vorgehen wird das Energiesystem in eine hypothetische Welt ohne energiepolitische Instrumente und Maßnahmen und eine Welt mit Maßnahmen eingeteilt. Stichjahr für diese Unterscheidung ist in der vorliegenden Studie das Jahr 2008 (bzw. 2005 für die Ziele des Verkehrssektors), da die Ziele des Energiekonzepts für 2020 auf diesen Zeitpunkt bezogen werden.

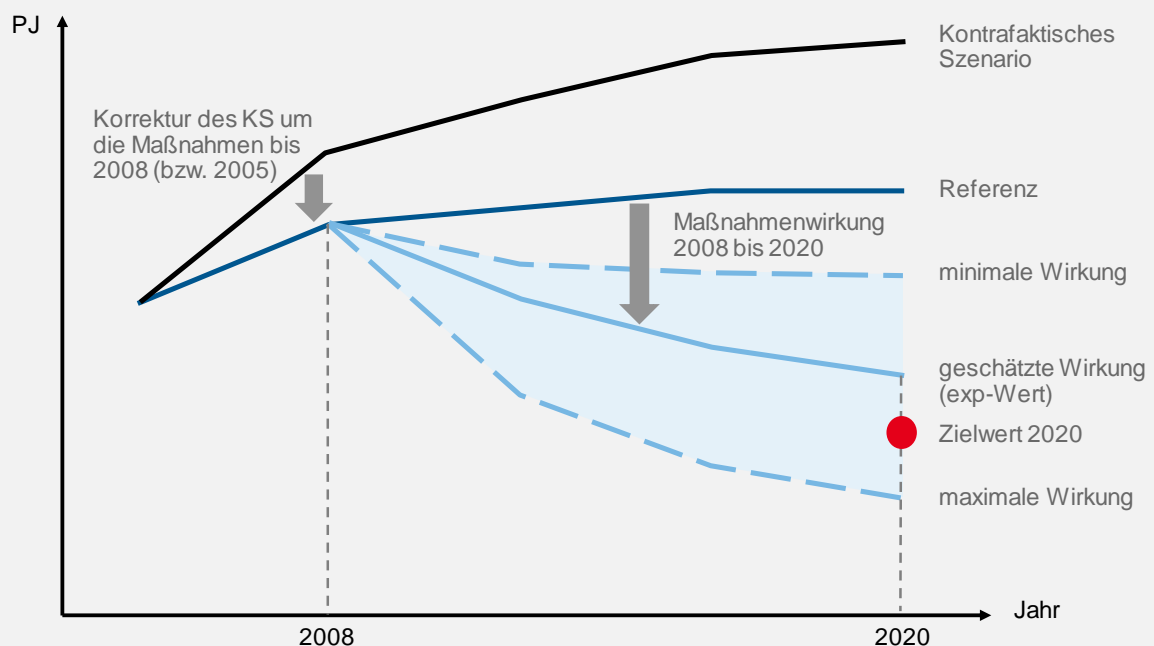
Damit besteht die Herausforderung, eine passende Referenzentwicklung zu finden, welche die Maßnahmen ab 2008 nicht beinhaltet, für die Vergangenheit aber die jeweilige jährliche Witterung berücksichtigt und eine möglichst aktuelle und realitätsnahe Prognose der Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung beinhaltet, um in diesen Bereichen Inkonsistenzen zu vermeiden. Als Basis für die Referenzentwicklung wurde aus diesen Gründen das im Rahmen der Studie „Makroökonomische Effekte der Energiewende“ (gegenwärtig noch in Arbeit) entwickelte „Kontrafaktische Szenario“ (KS) herangezogen. Dieses Szenario stellt eine hypothetische Welt dar, in der bereits ab dem Jahr 2000 keine neuen Maßnahmen und Instrumente implementiert wurden.

Dementsprechend ist im KS der Ausbau erneuerbarer Energien sehr gering und die Dauer der Nutzung von Kernenergie ist nur aufgrund der technischen Nutzungsdauer bzw. wirtschaftlicher Kriterien beschränkt. Investitionen in Energieeffizienz bleiben aufgrund der fehlenden politischen Instrumente auf einem tiefen Niveau. Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs wird damit im Wesentlichen von Mengeneffekten und der

autonomen technischen Effizienzentwicklung beeinflusst. Das KS berücksichtigt eine Prognose für die Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung bis 2050 und beinhaltet die Witterung der Vergangenheit bis zum Jahr 2015. Das Szenario muss jedoch um die Entwicklungen zwischen 2000 und 2008 (bzw. 2005 für den Verkehrssektor) korrigiert werden, um eine passende Referenz für die Berücksichtigung der Instrumente im Rahmen des Energiekonzepts vorliegen zu haben. Das KS wurde daher unter Berücksichtigung der Ist-Entwicklung auf Basis der Energiebilanz angepasst, um das Szenario um die Wirkung der zwischen 2000 und 2008 eingeführten Maßnahmen zu korrigieren. Zudem wurde das Szenario auf Basis aktueller Prognosen zur Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung sowie zur Entwicklung der Energiepreise bis 2020 korrigiert. Um den bestehenden Ausstieg aus der Kernenergie abzubilden, wurde die Bruttostromerzeugung aus Kernenergie bis 2022/2023 vollständig durch fossile Erzeugung ersetzt. Nach der Durchführung der beschriebenen Korrekturen liegt eine Referenzentwicklung vor, auf welche die Instrumentenwirkungen bezogen werden können.

Abbildung B1 stellt das beschriebene Vorgehen schematisch dar. Die Darstellung erfolgt für Energieeffizienz-Instrumente. Analog gilt die Darstellung für erneuerbare Energien, wobei hier die Instrumentenwirkungen auf die Referenzentwicklung addiert werden.

Abbildung B1: Schematische Darstellung der Effekte am Strommarkt bei verstärkter Stromeffizienz und Ausbau erneuerbarer Energien



Quelle: eigene Darstellung

Für die Instrumentenwirkungen wurden in dieser Studie nicht nur ein Wert abgeschätzt, sondern aufgrund der Unsicherheiten der Realisierung der Instrumentenwirkungen und dementsprechend unterschiedlichen Datengrundlagen in den verschiedenen Studien ein Wert für die minimal zu erwartende Wirkung, ein Wert für die maximal zu erwartende Wirkung und ein „Studienschätzwert“ (stu-Wert) für die aus heutiger Sicht wahrscheinlichste Wirkung bestimmt. Dementsprechend ergibt sich für die Entwicklung inkl. der Wirkung der Instrumente bis 2020 ein Lösungsraum. Ein Vergleich mit dem im Energiekonzept definierten Zielwert für das Jahr 2020 (im Vergleich zu 2008 bzw. 2005) ermöglicht dann

Aussagen zur Zielerreichung in der jeweiligen Zielgröße. Im Beispiel von Abbildung B1 würde die geschätzte Wirkung in einem Wert resultieren, der über dem Zielwert von 2020 liegt und dementsprechend eine Zielverfehlung erwarten lässt.

Das KS geht von dem Instrumentenmix des Jahres 2000 aus. Insbesondere ist der EE-Ausbau gering und die Nutzung von Kernenergie erfolgt entsprechend den technischen Nutzungsdauern der Kraftwerke. Um die Wirkungen von Instrumenten zwischen 2000 und 2008 in die aus dem KS abgeleitete Referenzentwicklung zu integrieren, wurden die Entwicklungen der Endenergieverbräuche und des EE-Ausbaus im KS ab 2008 auf Basis von Mittelwerten der Energiestatistik in den Jahren 2008 bis 2011 korrigiert. In diesen Zeitraum fallende Instrumentenwirkungen, die sich aus den abgeschätzten Instrumentenwirkungen ergeben, wurden dabei herausgerechnet. Die Mittelwertbildung erfolgt dabei, um (z.B. witterungsbedingte) Schwankungen auszugleichen.

Im KS wird von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ausgegangen, die aus aktueller Perspektive am aktuellen Rand nicht mehr den Prognosen für den Zeitraum bis 2020 entsprechen. Insbesondere liegen aktuelle Prognosen für das Wirtschaftswachstum und die Bevölkerungsentwicklung höher als in den Rahmendaten für das KS. Das KS geht von einem BIP-Wachstum von rund 1,3 % p.a. zwischen 2017 und 2020 aus. Die Bevölkerungszahl liegt im Jahr 2020 bei rund 82 Mio. Personen. Zudem gehen aktuelle Prognosen für die Entwicklung der Rohölpreise von einer etwas tieferen Preisentwicklung aus, als im KS (Anstieg auf etwas mehr als 80 USD₂₀₁₄/bbl) unterstellt.

Aus diesen Gründen wurden aktuelle Informationen zur ökonomischen und energiewirtschaftlichen Entwicklung in der Anpassung des KS für die Referenzentwicklung bis 2020 berücksichtigt. Die Annahmen zu den Rahmendaten beruhen auf aktuell abgestimmten Rahmendaten, die auch in den parallel laufenden Vorhaben für das BMWi herangezogen werden:

- Für das Wirtschaftswachstum wird ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 1,7 % p.a. von 2016 bis 2020 unterstellt.
- Die Bevölkerungszahl in Deutschland steigt auf rund 83,5 Mio. Einwohner in 2020. Für 2016 werden dabei die aktuellsten Abschätzungen zur Bevölkerungszahl herangezogen.

- Für die internationalen Rohölpreise wird ein etwas geringerer Anstieg als im KS auf rund 70 USD/bbl im Jahr 2020 unterstellt.

Die veränderten Rahmendaten werden über eine Top-down-Abschätzung der Effekte auf den Endenergieverbrauch für die jeweiligen Sektoren abgebildet. Dabei werden mittlere Energieintensitäten pro Kopf bzw. pro BIP angenommen. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass diese Abschätzung einer Reihe von Unsicherheiten hinsichtlich der anzusetzenden Energieintensität für die zusätzliche Wirtschaftsleistung bzw. die zusätzliche Bevölkerung unterliegt. Einerseits weisen neue Anlagen, Gebäude und Geräte hohe spezifische Energieeffizienzen auf. Andererseits ist die Auslastung des bestehenden Anlagen- und Gebäudeparks fraglich, wodurch diese Effekte kompensiert werden. Auf Basis der in der Vergangenheit beobachteten mittleren Energieintensität wird ein Mittelweg zwischen diesen verschiedenen Einflussfaktoren gewählt.

Um den bestehenden Ausstieg aus der Kernenergie abzubilden, wurde die Bruttostromerzeugung aus Kernenergie bis 2022/2023 vollständig durch fossile Erzeugung ersetzt. Da im Rahmen des Projekts nur auf vorhandene Modellläufe zurückgegriffen werden kann, wurde dabei die Gesamtmenge an die geänderte Entwicklung des Bruttostromverbrauchs angepasst und ein konstanter jährlicher Exportüberschuss in Höhe des Referenzwerts aus dem Jahr 2008 von 23 TWh angenommen. Sich daraus ergebende Einschränkungen werden in der Folge diskutiert. Zudem erfolgte eine entsprechende Anpassung der Primärenergieverbräuche und der CO₂-Emissionen. Für die angepasste Referenzentwicklung sinkt dadurch der Primärenergiefaktor der konventionellen Stromerzeugung, während die spezifischen THG-Emissionen steigen. Dies ist in erster Linie durch den Wegfall der Kernkraftwerke begründet. Da in der Referenzentwicklung die EE-Strommenge auf dem Wert des Jahres 2008 verharrt, steigen auch die spezifischen Emissionen des Gesamtstrommixes.

In einigen Fällen waren weitere sektorspezifische Anpassungen notwendig, auf welche unter dem jeweiligen Steuerungsziel eingegangen wird. Eine Übersicht über die Entwicklung der für die Steuerungsziele relevanten Parameter in der Referenzentwicklung zeigt Tabelle 23.

*Tabelle 23: Entwicklung der für die Steuerungsziele relevanten Parameter in der Referenzentwicklung (ohne Instrumentenwirkungen ab 2008 bzw. 2005 im Verkehr); * Wert in 2005 (Referenzjahr Verkehr)*

Referenzentwicklung	Einheit	2008	2020	Änderung 2008 - 2020
Bruttostromverbrauch	TWh	618	637	+3.0 %
davon erneuerbar	TWh	93	92	-0.1 %
Gebäuderelevanter EEV	PJ	3.451	3.444	-0.2 %
EEV Wärme (ohne Strom)	PJ	4.630	4.679	+1.1 %
davon erneuerbar	PJ	394	471	+19.6 %
EEV Verkehr	PJ	2.571*	2.928	+13.9 %
davon erneuerbar	PJ	84*	84	0.0 %

In den folgenden Abschnitten wird jeweils für ein Steuerungsziel beschrieben, welchen Wert die jeweilige Zielgröße bei Anwendung des ermittelten Studienschätzwerts der zugehörigen Instrumentenwirkungen auf die Referenzentwicklung annimmt. Diese Betrachtung der Zielerreichung fußt also auf den Bottom-up ermittelten Instrumentenwirkungen. Die Erfahrungen aus früheren Studien haben gezeigt, dass es bei einer solchen Methodik, auch wenn Überschneidungs- und Interaktionseffekte herausgerechnet wurden, in der Tendenz zu einer leichten Überschätzung der Wirkungen kommen kann, weil bestimmte Interaktionseffekte auf Basis einer solchen Bottom-up-Analyse nur schwer zu erfassen sind (vgl. [Fraunhofer ISI, TU Wien, PwC 2014]).

Daher ist es wichtig, die Ergebnisse nicht isoliert zu betrachten, sondern mit den Ergebnissen von Szenariostudien, welche die relevanten Interaktionen aus Basis von Modellen analysieren, zu vergleichen. Letztere sind allerdings vor allem auf die Abschätzung der längerfristigen Entwicklung ausgelegt. Für einen kurzen Zeitraum wie den bis zum Jahr 2020 empfiehlt es sich daher zudem, auch eine geeignete Trendfortschreibung bzw. Dekompositionsanalyse⁶ gegenüberzustellen. Diese wiederum bildet die Wirkung kurzfristig eingeführter Instrumente nicht ab. Aus diesen Gründen werden in der Folge die Ergebnisse der Instrumentenwirkungen

⁶ Die Ergebnisse einer Trendfortschreibung können verbessert werden, wenn anstatt des einfachen zeitlichen Trends eine getrennte Trendfortschreibung für die jeweilige Aktivitätsgröße und den spezifischen Endenergieverbrauch erfolgt. Dies ist im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen, wobei die Unterschiede für den kurzen verbleibenden Zeitraum bis 2020 auch nur geringfügig sind.

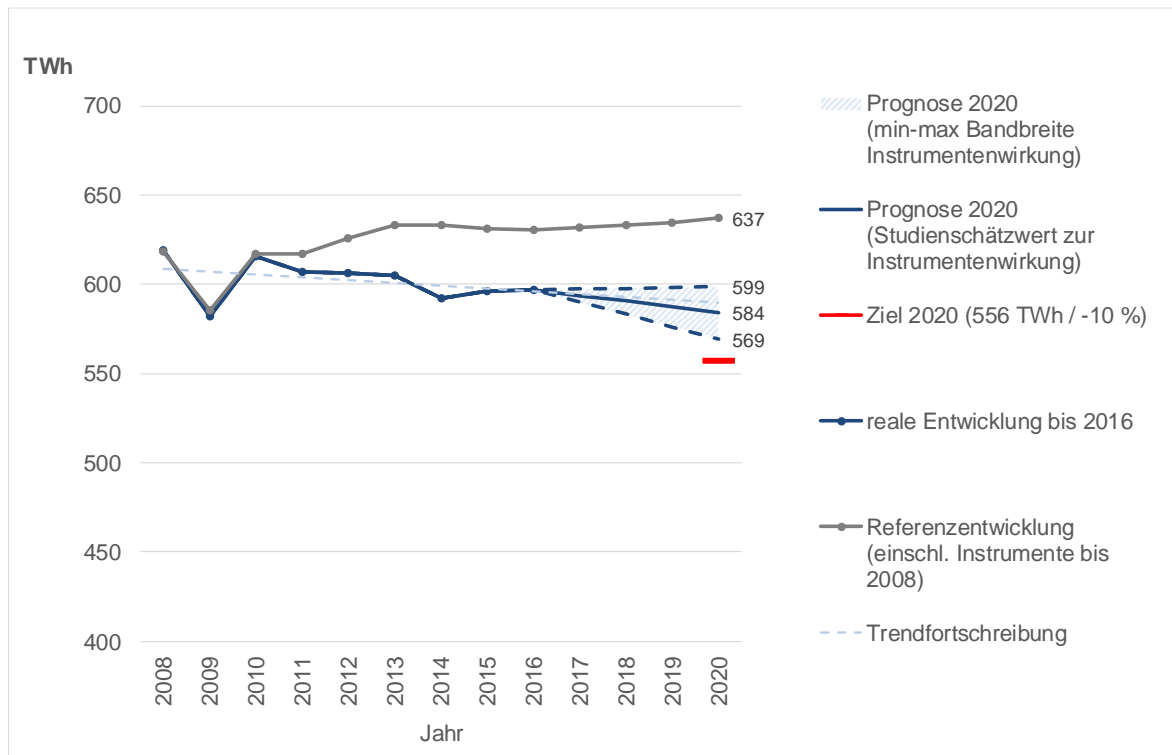
stets mit einer Trendfortschreibung und soweit möglich auch mit den Ergebnissen der modellbasierten Szenarien des Projektionsberichts 2017 [Bundesregierung 2017] abgeglichen. Aus den genannten Gründen ist nicht von vorn herein entscheidbar, welche Methodik am geeignetsten ist, um die Zielerreichung einzuschätzen. Die Bewertung der Zielerreichung sollte daher möglichst unter Einbezug der Ergebnisse aller drei Ansätze erfolgen.

Reduktion Bruttostromverbrauch

In der Referenzentwicklung kommt es zu einer Erhöhung des Bruttostromverbrauchs von 618 TWh bzw. 2.226 PJ in 2008 auf 637 TWh bzw. 2.293 PJ im Jahr 2020. Diese Entwicklung ergibt sich aus der berücksichtigten Wirtschaftsentwicklung unter Berücksichtigung autonomer Effizienzgewinne. Zur Erreichung des Ziels einer Reduktion des Bruttostromverbrauchs um 10 % im Vergleich zu 2008 auf 556 TWh bzw. 2.003 PJ ist also eine Einsparung von 81 TWh bzw. 290 PJ nötig.

Die Spannbreite der berechneten Instrumentenwirkungen (Min- bis Max-Werte) führt zu einer Reduktion des Bruttostromverbrauchs um 3,1 % bis 7,9 %. Der als am realistischsten angesehene Studienschätzwert, welcher auf den aktuellsten Evaluationen und Wirkungsabschätzungen beruht, ergibt eine Reduktion um 5,5 % (d.h. ein Endenergieverbrauch von 584 TWh bzw. 2.103 PJ im Jahr 2020) und lässt damit eine Verfehlung des Ziels für 2020 erwarten (siehe Abbildung 16). Zu beachten ist hierbei, dass nicht alle neuen Stromverbraucher eingerechnet sind, weil in den ausgewerteten Quantifizierungsstudien dazu zum Teil keine Werte vorlagen. Der Fehler fällt bis 2020 jedoch moderat aus und hat keinen signifikanten Einfluss auf die Zielerreichung.

Abbildung 16: Projizierte Zielerreichung für das Ziel der Reduktion des Bruttostromverbrauchs



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung des Trends der Reduktion des Bruttostromverbrauchs zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einer Reduktion um rund 5 %. Die Trendfortschreibung von 2008 bis 2016 kann nicht abbilden, dass eine Reihe von Instrumenten erst gegen Ende dieses Zeitraums eingeführt wurden und ihre Wirkung erst in den verbleibenden Jahren bis 2020 entfalten können. Ein Beispiel für solche Instrumente sind die wettbewerblichen Ausschreibungen. Daher ist die Trendfortschreibung als konservative Schätzung anzusehen. Für den Maximalwert der Abschätzung muss beachtet werden, dass die Wirkungen der Ökodesignrichtlinie höher ausfallen können als angenommen, wenn Austauschraten zukünftig höher sind als erwartet.

Der Umfang der Verbrauchsreduktion im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MMS) des im Projektionsbericht 2017 projizierten Bruttostromverbrauchs beträgt 4,4 %. Die Unterschiede können aus mehreren Quellen resultieren. Die Methodik des Projektionsberichts unterscheidet sich deutlich von der Methodik dieser Studie. Der Projektionsbericht führt eine Bottom-Up-Modellierung aller Verbrauchssektoren durch, während in dieser Studie die aus anderen Studien (darunter der PB) ermittelten Instrumentenwirkungen auf eine Referenzentwicklung angewendet werden. Letzteres kann einerseits dazu führen, dass bestimmte Wechselwirkungen zwischen Instrumenten nicht erfasst werden können, was zu einer leichten Überschätzung der Wirkung führt. Andererseits kann es

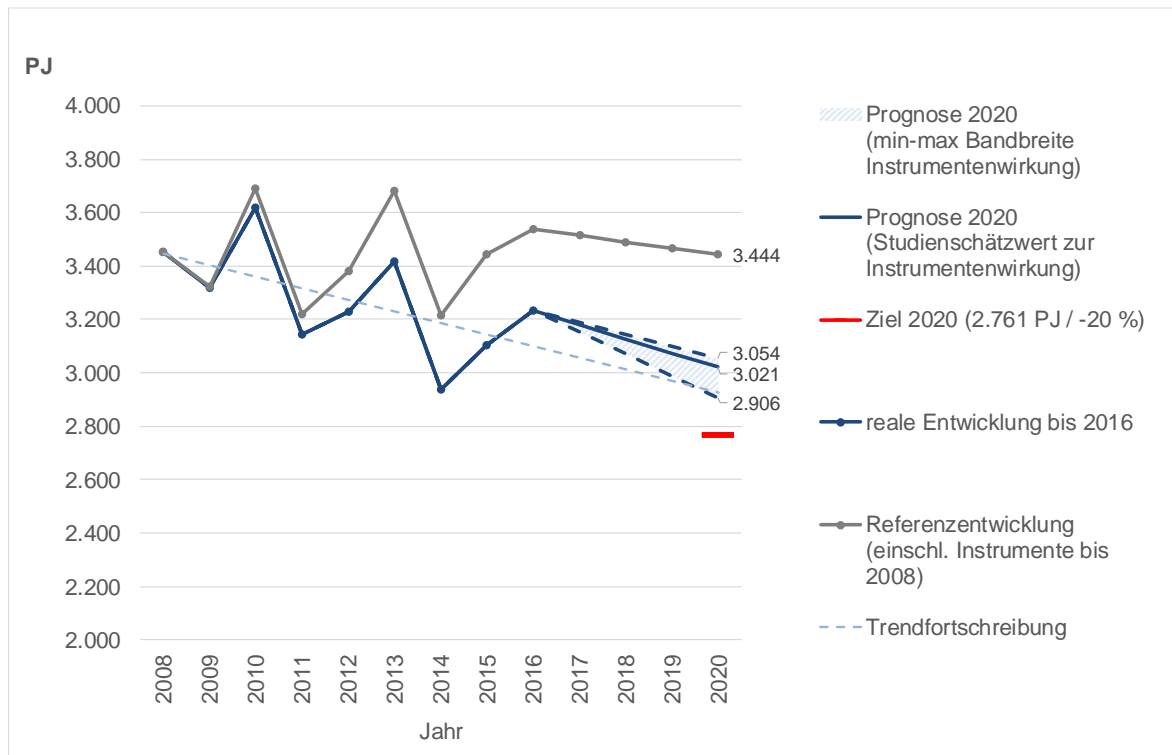
bei dem im PB verwendeten Modellen, welche auf die Beschreibung mittel- bis langfristiger Nachfrageentwicklungen ausgelegt sind, in der kurzen Zeitspanne bis 2020 zu einer um ein bis zwei Jahre verzögerten Abbildung der relevanten Bedarfsentwicklungen kommen. Dies zeigt sich z.B. daran, dass der Stromverbrauch im PB 2017 im Jahr 2020 höher liegt als im PB 2015, obwohl auch die Wirkung der Instrumente als höher eingeschätzt wird. Schließlich wurde in einer Aktualisierung des Projektionsberichts auf Grund der Änderungen der Rahmendaten vor allem hinsichtlich der THG-Emissionen bewertet, aber nicht in Bezug auf die hier betrachteten Nachfragesektoren ausgewertet (vgl. [Öko-Institut 2017]).

Reduktion des Wärmebedarfs

In der Referenzentwicklung kommt es zu einer leichten Absenkung des Wärmebedarfs von 3.451 PJ in 2008 auf 3.444 PJ in 2020. Die Referenzentwicklung wird instrumentenseitig in erster Linie durch die bereits vor dem Betrachtungszeitraum in Kraft getretenen EnEV 2007 beeinflusst. Zur Erreichung des Ziels einer Reduktion des Wärmebedarfs um 20 % im Vergleich zu 2008 (entspricht einer Absenkung auf 2.761 PJ) ist daher eine Einsparung von 683 PJ notwendig.

Die Spannbreite der Instrumentenwirkungen führt zu einer Reduktion des Wärmebedarfs um 11,5 % bis 15,8 %. Der als am realistischsten angesehene Studienschätzwert ergibt eine Reduktion um 12,5 % (d.h. ein Endenergieverbrauch von 3.021 PJ im Jahr 2020) und führt damit zu einer Verfehlung des Ziels für 2020 (siehe Abbildung 17).

Abbildung 17: Projizierte Zielerreichung für das Ziel der Reduktion des Wärmebedarfs



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung des Trends (nicht witterungsbereinigt) der Reduktion des Wärmebedarfs zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einer Reduktion um rund 15 %. Die Trendfortschreibung kann wie schon beim Stromverbrauch nicht abbilden, dass neu eingeführte Instrumente erst in den verbleibenden Jahren bis 2020 zu wirken beginnen und bereits implementierte Instrumente an Wirkung zulegen können. Da die Trendfortschreibung die warmen Jahre 2014 bis 2016 beinhaltet und sowohl das Wirtschaftswachstum, als auch das Bevölkerungswachstum in den Jahren 2016 bis 2020 aller Voraussicht nach höher liegt als in der Vergangenheit, ist anzunehmen, dass die Trendfortschreibung tendenziell eine optimistische Einschätzung darstellt. Dies gilt obwohl der Trend neue Instrumente, die erst in den Jahren 2016 bis 2020 ihre Wirkung entfalten, nicht berücksichtigt.

Die Entwicklung des Gebäudebereichs im Projektionsbericht 2017 umfasst weder den Raumwärmebedarf der Industrie noch den Stromverbrauch für Beleuchtung und Kühlung in Nicht-Wohngebäuden und ist daher nicht ohne weiteres vergleichbar mit dem Ziel zur Verringerung des Wärmebedarfs in der hier dargestellten Abgrenzung.

Für den Maximalwert der Abschätzung muss beachtet werden, dass die Wirkungen der EnEV und der Ökodesignrichtlinie höher ausfallen können als angenommen, wenn Austausch- und

Sanierungsraten zukünftig höher sind als erwartet. Allerdings ist auch der sich aus den ausgewerteten Studien ergebende Maximalwert der Reduktion des Wärmebedarfs um 15,8 % nicht ausreichend, um das Steuerungsziel zu erreichen.

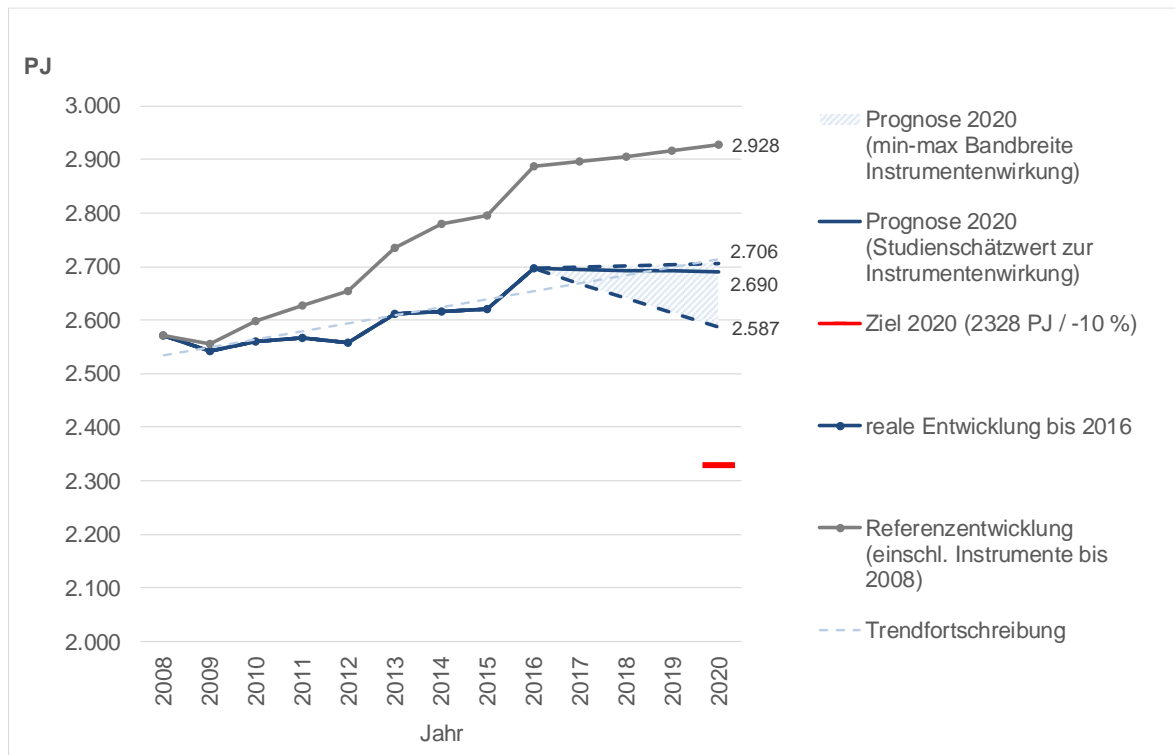
Darüber hinaus bestehen gewisse Unsicherheiten über den Umfang des Überlapps von nicht-regulativen Instrumenten (u.a. Beratungsprogramm Mittelstand, Energieeffizienznetzwerke) mit den weiteren Instrumenten. Andererseits konnte bei einigen der Instrumente der gebäuderelevante Stromverbrauch nicht isoliert werden und wurde deshalb für das Gebäudeziel vernachlässigt (siehe Kapitel 3), wodurch die Instrumentenwirkung leicht unterschätzt wird. Alles in allem kann nicht von einer Reduktion des Wärmebedarfs um 20 % ausgegangen werden.

Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr

In der Referenzentwicklung kommt es zu einer deutlichen Steigerung des Endenergieverbrauchs im Verkehr von 2.587 PJ in 2005 auf 2.928 PJ in 2020, welche sich insbesondere aus den steigenden Transportleistungen sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr ergibt. Zur Erreichung des Ziels einer Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr um 10 % im Vergleich zu 2005 auf 2.328 PJ ist somit eine Einsparung von 601 PJ notwendig.

Die Spannbreite der ermittelten Instrumentenwirkungen ab 2005 führt zu einem Anstieg des Endenergieverbrauchs im Verkehr um 0,6 % bis 5,3 %. Der zugehörige Studienschätzwert entspricht einem Anstieg von 4,6 % (d.h. ein Endenergieverbrauch von 2.690 PJ im Jahr 2020) und lässt somit für 2020 eine deutliche Zielverfehlung erwarten (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Projizierte Zielerreichung für das Ziel der Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung des Trends des Endenergieverbrauchs im Verkehr zwischen 2008 und 2015 führt für 2020 zu einem Verbrauchsanstieg um rund 5 %. Dieser vom ermittelten Studienschätzwert abweichende Anstieg des Verbrauchs bildet wie schon beim Strom- und Wärmeverbrauch nicht ab, dass einige neu eingeführte und sich in Vorbereitung befindliche Instrumente erst in den verbleibenden Jahren bis 2020 ihre Wirkung entfalten. Andererseits bildet die Trendfortschreibung das höhere Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum nicht mit ab, was die Effekte durch die neu eingeführten Instrumente kompensiert.

Im MWMS des Projektionsberichts 2017 wird eine Steigerung des Endenergieverbrauchs im Verkehr um insgesamt 2,7 % projiziert. Einige Unterschiede resultieren dabei aus den verschiedenen Formen der Bilanzierung des Verkehrs in den nationalen Energiebilanzen und der THG-Emissionsberichterstattung sowie zum Teil bereits in der Zwischenzeit neu vorliegenden Informationen zu Instrumentenwirkungen. Die Aktualisierung der erwarteten THG-Emissionen auf Grund der veränderten Rahmendaten (vgl. [Öko-Institut 2017]) wurde hingegen nicht auf die Energieverbräuche übertragen, wodurch ein Vergleich nur auf der Ebene der übergeordneten Ziele möglich ist.

Im Verkehrsbereich bestehen einerseits erhebliche Unsicherheiten über die Wirkung von mit nicht-technischen Maßnahmen

verbundenen Instrumenten (u.a. Förderung kraftstoffsparenden Fahrens und regionaler Wirtschaftskreisläufe) und andererseits eine starke Sensitivität der infrastrukturbezogenen Instrumente (u.a. Stärkung des Schienengüterverkehrs und des ÖPV) gegenüber der genauen Ausgestaltung und den jeweiligen Modellannahmen.

Zudem ist der Einführungszeitpunkt der Instrumente zu berücksichtigen. Ein wichtiger Faktor dafür, dass die summierten Studienschätzwerte der Instrumentenwirkungen eher im unteren Bereich der Spannbreite liegen, sind die gegenwärtig absehbaren Verzögerungen bei der Umsetzung der vorgesehenen Instrumente. Die Erreichung der Zielvorgabe einer Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr um 10 % im Jahr 2020 kann damit als ausgeschlossen eingestuft werden, was durch die Ergebnisse der Trendfortschreibung und des Projektionsberichts ebenfalls untermauert wird.

Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien

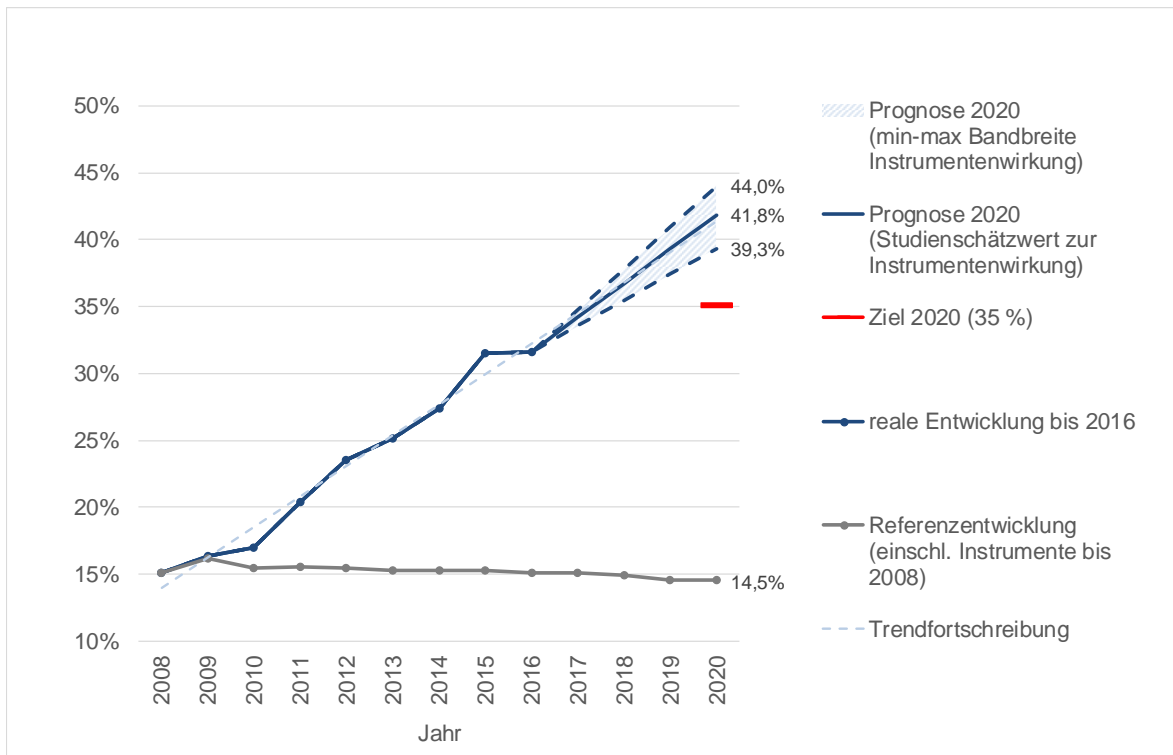
Da das Ziel zu den erneuerbaren Energien im Strombereich als Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch definiert ist (mindestens 35 %), hängt die Abschätzung in Bezug auf die Zielerreichung vom in 2020 angesetzten Bruttostromverbrauch ab. Denkbare Setzungen sind dabei durch die Annahme gegeben, dass sich der Bruttostromverbrauch gemäß dem zugehörigen Steuerungsziel entwickelt oder aber gemäß der um die abgeschätzten Instrumentenwirkungen korrigierten Referenzentwicklung. Ersteres hätte den Vorteil, dass diese Setzung unabhängig von den Unsicherheiten über die Referenzentwicklung und Instrumentenwirkungen zur Reduktion des Bruttostromverbrauchs ist. Nachteilig ist jedoch, dass im Falle einer Zielverfehlung beim Bruttostromverbrauch der EE-Anteil im Jahr 2020 überschätzt wird. Die zweite Möglichkeit der Setzung wird daher für die Bewertung als insgesamt konsistenter angesehen und im Folgenden dargestellt.

In der Referenzentwicklung bleibt die Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien zwischen 2008 und 2020 nahezu konstant. Nach einer Korrektur um den Studienschätzwert der Instrumentenwirkungen kommt es zudem zu einer Senkung des Bruttostromverbrauchs auf 584 TWh bzw. 2.103 PJ in 2020. Zur Erreichung des Ziels einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 35 % ist also eine zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 112 TWh bzw. 403 PJ nötig.

Die Spannbreite der Instrumentenwirkungen führt zu einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 39,3 % bis 44,0 %. Der als am realistischsten angesehene Studienschätzwert entspricht einem Anteil von 41,8 % (d.h. einer

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 244 TWh bzw. 880 PJ im Jahr 2020) und spricht daher für ein deutliches Erreichen (bzw. eine Überschreitung) des Ziels für 2020. Die absolute Erzeugungsmenge an EE-Strom ist dabei aus der EEG-Mittelfristprognose 2017 der Übertragungsnetzbetreiber entnommen.

Abbildung 19: Projizierte Zielerreichung für das Ziel zu Stromverbrauch aus erneuerbaren Energien



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung der Trends des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung und der Reduktion des Bruttostromverbrauchs zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einem EE-Anteil von 41,3 % und liegt damit in der Größenordnung des Studienschätzwerts. Der Projektionsbericht 2017 liegt mit einem EE-Anteil von 41,1 % ebenfalls in diesem Bereich.

Der sich aus dem gewählten Studienschätzwert ergebende Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms würde sich auf 40,8 % verringern, wenn der Minimalwert für die Reduktion des Bruttostromverbrauchs angesetzt wird. Im Extremfall, dass für beide Steuerungsziele der Minimalwert angesetzt wird, würde ein EE-Anteil von 39,3 % resultieren. Dies zeigt, dass die Erreichung des Ziels des Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsektor auf einen Anteil von 35 % robust gegenüber den abschätzbaren Unsicherheiten ist, weil es selbst im sehr unwahrscheinlichen Worst Case zu keiner Zielverfehlung käme. Dabei ist zu berücksichtigen, dass darüber hinaus Witterungseffekte im Zieljahr 2020 die Anteile erneuerbarer

Energien beeinflussen können. Aus Gründen der Konsistenz mit den anderen Sektoren und da es sich nicht um einen strukturellen Effekt im Zubau erneuerbarer Energien handelt, werden diese Effekte hier jedoch nicht mitbetrachtet. Der hier berücksichtigten jährlichen Stromerzeugung liegen mittlere Volllaststunden zugrunde.

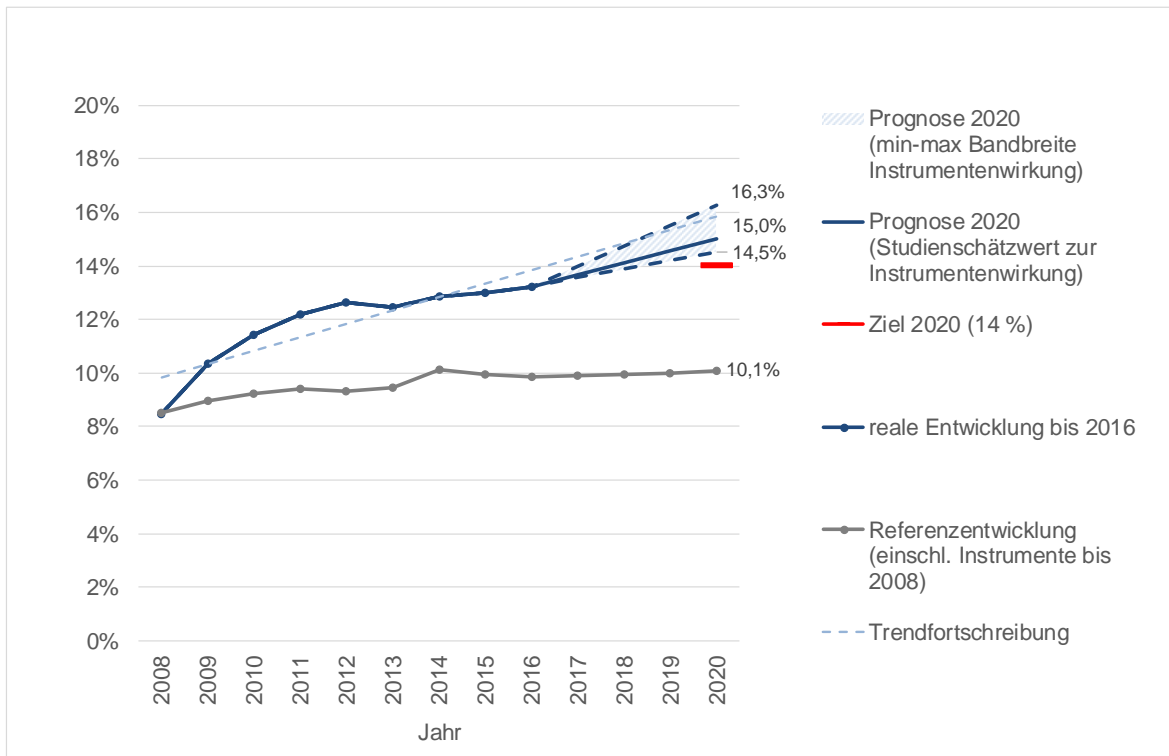
Wärme aus erneuerbaren Energien

Wie für Strom ist das Ziel der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte anteilmäßig definiert (14 %). Dabei wird eine strombasierte Wärmebereitstellung weder beim erneuerbaren Anteil noch beim gesamten Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte berücksichtigt. Für den Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte selbst gibt es kein eigenes Steuerungsziel. Daher wird wie auch im Stromsektor davon ausgegangen, dass sich der Endenergieverbrauch für Wärme gemäß der um die Studienschätzwerte der abgeschätzten Instrumentenwirkungen korrigierten Referenzentwicklung entwickelt. Da sich das EE-Wärme-Ziel nicht auf strombasierte Wärmebereitstellung bezieht, werden dabei nur die Brennstoffeinsparungen der ausgewerteten Instrumente berücksichtigt. Für die Brennstoffeinsparungen werden nicht nur die Reduktionen des Endenergieverbrauchs im Gebäudebereich einbezogen, sondern auch die im zweiten Arbeitspaket als residual angesehenen Wirkungen auf Prozesswärme, welche sich auf Verbrauchsseite keinem der Steuerungsziele zuordnen lassen.

In der Referenzentwicklung steigt die Wärmebereitstellung auf Basis erneuerbarer Energien zwischen 2008 und 2020 von 394 PJ auf 471 PJ. Diese Steigerung spiegelt vor allem den autonomen Anstieg der Biomassenutzung wider, u.a. bei der energetischen Nutzung biogenen Abfalls und bei holzbefeuerten Heizungsanlagen. Der Anstieg fällt auch relativ hoch aus, da im Basisjahr 2008 der Biomasseverbrauch in der Industrie konjunkturbedingt vergleichsweise gering war. Parallel dazu führt die Anwendung der Instrumentenwirkungen auf die Referenzentwicklung zu einer Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärme auf 4.679 PJ in 2020. Zur Erreichung des Ziels einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme auf 14 % in 2020 ist also eine zusätzliche Wärmebereitstellung auf Basis erneuerbarer Energien von 184 PJ nötig.

Die Spannweite der bestimmten Instrumentenwirkungen führt zu einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme auf 14,5 % bis 16,3 %. Für den Studienschätzwert der Instrumentenwirkungen ergibt sich ein Anteil erneuerbarer Energien von 15,0 % (d.h. einer Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien von 627 PJ im Jahr 2020), was für 2020 auf eine Zielerreichung hindeutet (siehe Abbildung 20).

Abbildung 20: Projizierte Zielerreichung für das Ziel zu Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energien



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung der Trends des Ausbaus der erneuerbaren Wärmeherzeugung und der Reduktion des Endenergieverbrauchs in Gebäuden zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einem EE-Anteil von rund 15,9 % und liegt damit in ähnlicher Größenordnung wie der Studienschätzwert. Im Projektionsbericht 2017 findet sich keine Betrachtung des gesamten Endenergieverbrauchs für Wärme. Daher ist die Zielerreichung in Bezug auf das EE-Wärme-Ziel dort nicht ohne weiteres ermittelbar. Der ermittelte Studienschätzwert liegt hingegen etwas tiefer als in den Prognoserechnungen zum Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte für den zweiten EEWärmeG-Erfahrungsbericht in Höhe von 16,3 % [Prognos et al. 2015].

Wenn man an Stelle des Studienschätzwerts den sich aus den ausgewerteten Studien ergebenden Minimalwert für die Reduktion des Endenergieverbrauchs für Wärme zu Grunde legt, würde sich der resultierende Minimalwert erneuerbar bereitgestellter Wärme auf 14,5 % reduzieren. Dies zeigt, dass die Erreichung des Ziels des Ausbaus erneuerbarer Wärme auf einen Anteil von 14 % robust gegenüber den bekannten Unsicherheiten ist. Dies liegt u.a. daran, dass auch die minimale Reduktion des Endenergieverbrauchs in Gebäuden das EE-Wärme-Ziel substantiell unterstützt

und daher schon in Kombination mit dem aktuellen EE-Wärme-Ausbaustand in die Nähe der Zielerreichung führt.

Erneuerbare Energien im Verkehr

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht kein eigenes Steuerungsziel für den Verkehr vor. Die EU-Richtlinie 2009/28/EG schreibt jedoch jedem EU-Mitgliedsstaat bis 2020 einen verbindlichen nationalen Anteil von mindestens 10 % erneuerbarer Energieträger im Verkehrsbereich vor. Die Berechnung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch gemäß EU-Richtlinie 2009/28/EG beinhaltet einige bilanzielle Besonderheiten. Bei der Berechnung der Zielerreichung werden nur nachhaltig erzeugte Biokraftstoffe berücksichtigt. Berücksichtigt wird zudem der Beitrag von Elektrizität, die aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt und in Fahrzeugen mit Elektroantrieb verbraucht wird. Dabei werden Biogas und Biokraftstoffe aus Reststoffen, Lignocellulose und Biomass-to-Liquids (BtL) doppelt sowie erneuerbarer Strom im Straßenverkehr mit dem Faktor 2,5 berücksichtigt. Da das Gesetz zur Biokraftstoffbeimischung ab 2018 nur noch nachhaltig erzeugte Biokraftstoffe zulässt, wird die Instrumentenwirkung in dieser Hinsicht nicht korrigiert. Da die Instrumentenwirkungen keine quantitative Unterscheidung zwischen biogenen Quellen zulassen, es sich jedoch größtenteils nicht um Biokraftstoffe auf Basis von Reststoffen handelt, wird der Faktor für biogene Quellen generell konservativ als 1 gewählt.

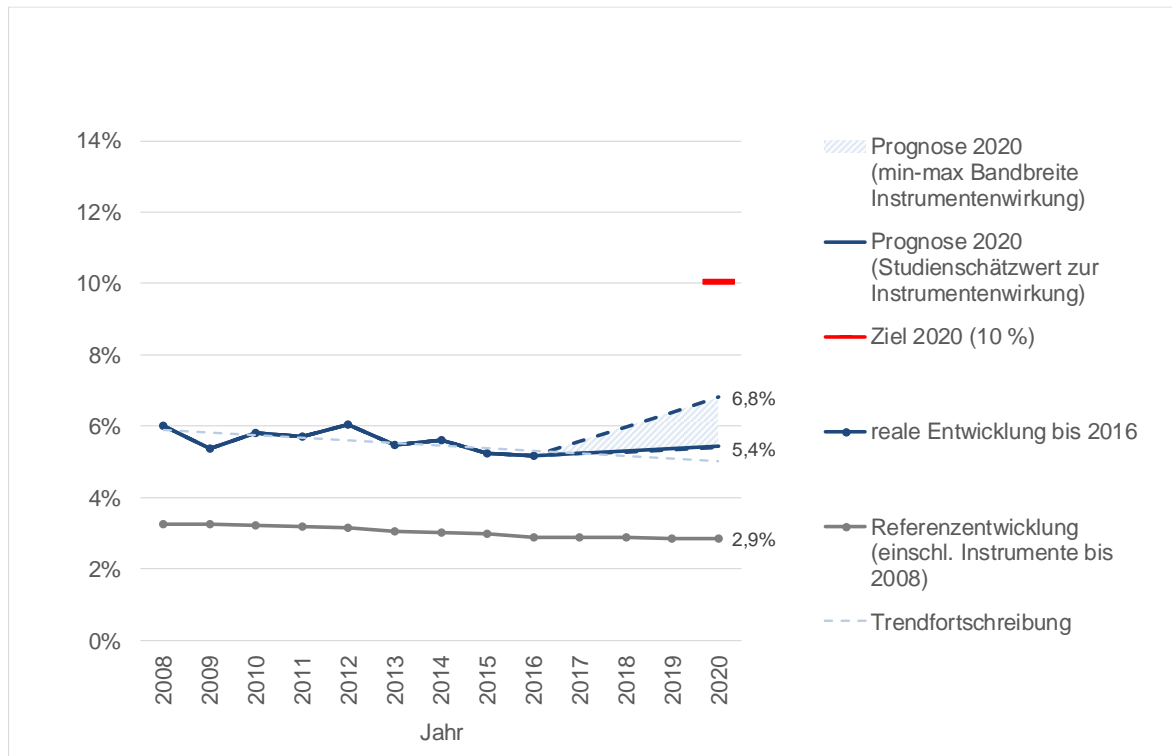
Wie im Stromsektor wird davon ausgegangen, dass sich der Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich gemäß der um die abgeschätzten Instrumentenwirkungen korrigierten Referenzentwicklung entwickelt. Da sich die EU-Vorgabe auch auf strombasierte Mobilität bezieht, werden dabei auch die strombezogenen Instrumentenwirkungen berücksichtigt. Diese dürfen dann auf Ebene der Kernziele jedoch nicht doppelt (d.h. für Strom und Verkehr) bilanziert werden dürfen.

In der Referenzentwicklung bleibt die Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehrsbereich zwischen 2008 und 2020 nahezu konstant bei 84 PJ. Gleichzeitig führt die Anwendung der Instrumentenwirkungen auf die Referenzentwicklung zu einer Senkung des Endenergieverbrauchs im Verkehrsbereich auf 2690 PJ in 2020. Zur Erreichung des Ziels einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich auf 10 % in 2020 ist also eine zusätzliche Nutzung von erneuerbaren Energien im Verkehr von 209 PJ nötig.

Die Spannbreite der ermittelten Instrumentenwirkungen führt zu einer Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich auf 5,4 % bis 6,8 %. Der

Studienschätzwert für die Instrumentenwirkungen entspricht einem Anteil erneuerbarer Energien von 5,4 % (d.h. einem Endenergieverbrauch auf Basis erneuerbaren Energien von 146 PJ im Jahr 2020), was eine deutliche Zielverfehlung erwarten lässt (siehe Abbildung 21).

Abbildung 21: Projizierte Zielerreichung für das Ziel zu erneuerbaren Energien im Verkehrsbereich



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung der Trends des Ausbaus der Nutzung erneuerbarer Energien und der Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr zwischen 2008 und 2015 führt für 2020 zu einem Anteil erneuerbarer Energien von 5,0 % und ist damit etwas geringer als der Studienschätzwert. Dies spiegelt wider, dass die Biokraftstoffquote in den letzten Jahren stagniert ist, in den Instrumentenwirkungen jedoch davon ausgegangen wird, dass die geänderten Rahmenbedingungen der Beimischung zu einer höheren Biokraftstoffbeimischung führen. Die auf Basis der ausgewerteten Studien ermittelten maximalen Instrumentenwirkungen führen auch in Bezug auf eine Verbrauchsänderung gemäß dem Zielwert einer Verbrauchsreduktion um 10 % mit einem Anteil von 6,3 % nicht zum Erreichen des Ziels eines Anteils von 10 % erneuerbarer Energien. Die Zielerreichung ist auch vor diesem Hintergrund als unwahrscheinlich anzusehen.

Eine Zusammenfassung des Grads der Zielerreichung bei Berücksichtigung der ermittelten Instrumentenwirkungen findet sich in Tabelle 24.

Tabelle 24: Entwicklung der für die Steuerungsziele relevanten Parameter bei Anlegen der Studienschätzwerte der Instrumentenwirkungen und Grad der Zielerreichung. Für den Verkehrsbereich ist das Referenzjahr 2005; EEV = Endenergieverbrauch.

Entwicklung mit Instrumentenwirkung (stu-Wert)	Einheit	2008	2020	Ermittelter Wert für die Zielgröße (Zielwert)
Bruttostromverbrauch	TWh	618	584	-5,5 % (-10 %)
davon erneuerbar	TWh	93	244	41,8 % (35 %)
Gebäuderelevanter EEV	PJ	3.451	3.021	-12,5 % (-20 %)
EEV Wärme (ohne Strom)	PJ	4.630	4.184	kein Ziel definiert
davon erneuerbar	PJ	394	627	15,0 % (14 %)
EEV Verkehr	PJ	2'586*	2.690	+4,6 % (-10 %)
davon erneuerbar	PJ	116*	146	5,4 % (10 %)

4.3.2 Methodik der Ermittlung der Beiträge der Instrumente zu den übergeordneten Zielen

Im Folgenden wird die Methodik zur Berechnung der Zielbeiträge der Instrumente in den Sektoren auf die Ziele der übergeordneten Ebenen erläutert. Dabei werden die in Kapitel 4.2 beschriebenen Wechselwirkungen der Sektorziele untereinander und mit den übergeordneten Zielen mitberücksichtigt. Darüber hinaus ergeben sich weitere methodische Fragestellungen, die an dieser Stelle diskutiert werden.

Primärenergie- und CO₂-Faktoren

Box 2 fasst das grundsätzliche Vorgehen bei der Berechnung von Primärenergieeinsparungen und CO₂-Einsparungen auf Basis der ermittelten Maßnahmenwirkungen in den Sektoren im Überblick zusammen.

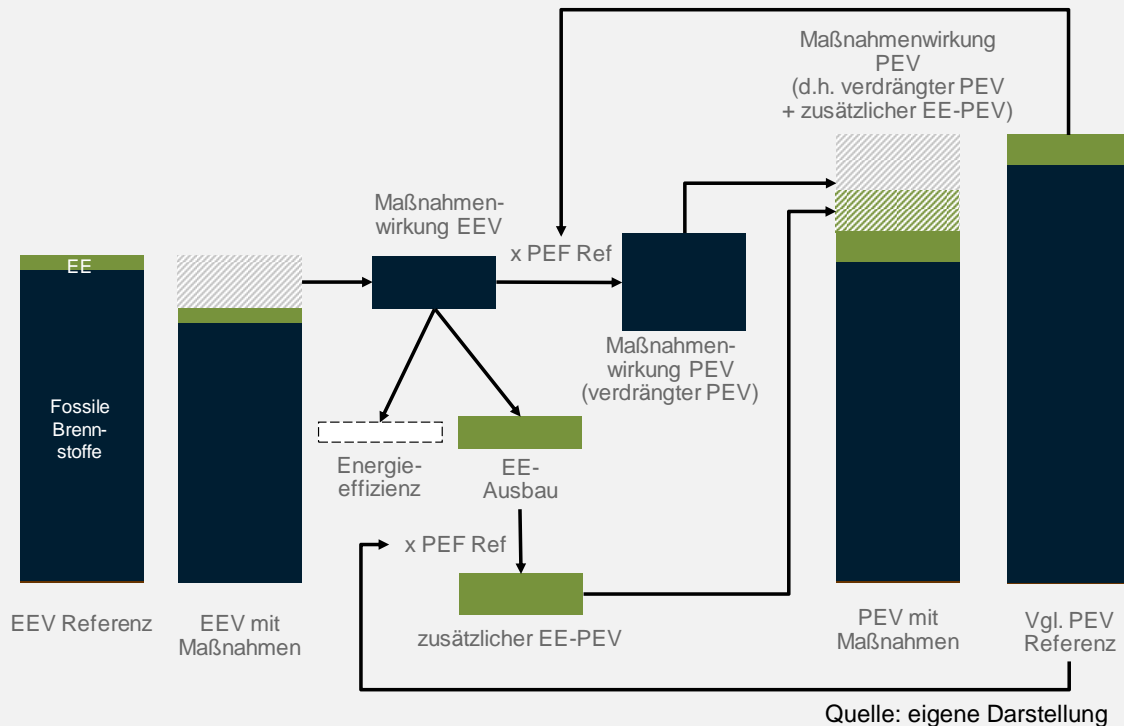
Box 2: Methodik Primärenergie- und CO₂-Einsparungen

Der Primärenergieverbrauch wird aus dem Endenergieverbrauch und den Verlusten, die bei der Umwandlung von Primärenergie zu Endenergie auftreten, bestimmt. Maßnahmen zur Reduktion des Endenergieverbrauchs resultieren demzufolge in einem tieferen Primärenergieverbrauch. Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien führen hingegen zu Änderungen im Primärenergieverbrauch auf Basis der Differenz des verdrängten (fossilen) Endenergieverbrauchs zum zusätzlichen (erneuerbaren) Endenergieverbrauch. Die Primärenergieeinsparungen bzw. der zusätzliche erneuerbare Primärenergieverbrauch werden in der Regel mit Hilfe von Primärenergiefaktoren (PEF) ermittelt.

In der vorliegenden Studie dienen die PEF als Hilfsmittel zur Abschätzung von Beiträgen der Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und zum Ausbau erneuerbarer Energien auf den Primärenergieverbrauch. Fraglich ist, welche Energieträger durch diese Maßnahmen verdrängt bzw. substituiert werden. Da nicht für alle Studien zur Wirkung von Instrumenten energieträgerscharfe Wirkungen hinterlegt sind, muss zur Berechnung der Wirkungen auf den Primärenergieverbrauch zum Teil mit einem Ansatz auf Basis mittlerer PEF gearbeitet werden. Wegen der deutlichen Unterschiede bei den PEF wird eine Differenzierung zwischen Strom sowie Treib- und Brennstoffen vorgenommen. Für Strom wird zudem zwischen konventioneller und erneuerbarer Stromerzeugung und für Brennstoffe zwischen fossilen und erneuerbaren Brennstoffen unterschieden (siehe spezifische Werte im Haupttext). Ein analoges Vorgehen wird bei der Abschätzung der Wirkung auf die CO₂-Emissionen vorgenommen, wobei hier (mittlere) CO₂-Faktoren der verdrängten Energieträger angesetzt werden.

Abbildung B2 zeigt eine exemplarische Darstellung der Vorgehensweise für den Stromsektor.

Abbildung B2: Ansatz der Bewertung der Einsparungen im Primärenergieverbrauch auf Basis des Primärenergiefaktors



Die Maßnahmenwirkung der Einsparung bzw. der Substitution des Endenergieverbrauchs wird mit den PEFs der Referenzentwicklung (PEF Ref) bewertet. Die Methodik berücksichtigt dadurch, dass Basis der Berechnungen der Energieträgermix in der Referenzentwicklung ist (d.h. Endenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch des angepassten KS). Der verdrängte Primärenergieverbrauch kann dann vom Primärenergieverbrauch der Referenzentwicklung abgezogen werden, um den Primärenergieverbrauch nach der Maßnahmenwirkung zu bestimmen. Bei Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien muss zudem der zusätzliche Primärenergieverbrauch durch erneuerbare Energien gegengerechnet werden. Aufgrund des Einspeisevorrangs erneuerbarer Energien im Stromsektor werden durch Effizienzmaßnahmen bzw. durch den Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor nur fossile Energieträger ersetzt. Es wird dabei zunächst für die aggregierten Maßnahmenwirkungen der Sektoren unterstellt, dass sich Energieeffizienz und der Ausbau erneuerbarer Energien in vollem Ausmaß in einer Reduktion der konventionellen Stromerzeugung niederschlägt. Diese Annahme wird bei Berücksichtigung der Wechselwirkungen der Sektoren und der Effekte am Strommarkt für die Bewertung der Zielbeiträge auf den übergeordneten Ebenen der Zielarchitektur korrigiert (siehe dazu Box 2 in Kapitel 4).

Es wird darauf hingewiesen, dass sich der in der Berechnung angesetzte PEF damit deutlich vom PEF in der Ist-Entwicklung bis 2015 (da die Entwicklung 2008-2015 in der Referenz nicht berücksichtigt wird) und von den PEF für Szenarien, welche die Entwicklung der Energieträgerstruktur für die Zukunft modellieren, unterscheidet. Der im Rahmen dieser Studie für die Abschätzung der Maßnahmenwirkung herangezogene PEF muss im Vergleich dazu eine Referenzentwicklung abbilden, welche Maßnahmen ab 2008 nicht berücksichtigt. Nur so kann die Wirkung der Instrumente ab 2008 in konsistenter Weise auf den Primärenergieverbrauch der Referenzentwicklung bezogen werden.

Die Referenzentwicklung, mit der die Instrumentenwirkungen später verrechnet werden, wurde auf Basis des im Projekt „Makroökonomische Effekte der Energiewende“ entwickelten kontrafaktischen Szenarios bestimmt (vgl. Kapitel 4.3.1).

Der mittlere PEF der Stromerzeugung insgesamt und des Verdrängungsstrommix, welcher für Reduktionswirkungen der Instrumente relevant ist, wurden für die dynamische Entwicklung auf Basis des kontrafaktischen Szenarios für die Stützjahre 2008, 2016 und 2020 bestimmt, was somit die dortige Änderung des konventionellen Kraftwerksparks widerspiegelt, und mit der AGEB-Statistik für 2008 abgeglichen. Dabei wurden die relevanten Effekte am Strommarkt mitberücksichtigt, um eine realitätsnahe Abbildung der Wirkung der Instrumente zu ermöglichen (vgl. auch Box 3). Der Faktor für biogene Brennstoffe wurde auf Basis der offiziellen Statistiken unter Berücksichtigung des KWK-Anteils bestimmt. Die sonstigen Faktoren für erneuerbaren Strom sind nach dem auch in den Energiebilanzen angewandten Wirkungsgradprinzip mit 1 angesetzt.

Prinzipiell spricht die europäische Integration der Strommärkte dafür, einen den europäischen Kraftwerkspark reflektierenden Primärenergiefaktor bei der Stromerzeugung anzusetzen (vgl. [Eßer und Sensfuß 2016]). Da sich jedoch das Primärenergie-Ziel auf die AGEB-Energiestatistik bezieht und diese den inländischen Primärenergieverbrauch zu Grunde legt, wird an dieser Stelle auch ein entsprechender PEF zur Umrechnung der Wirkungen der Instrumente von Endenergie in Primärenergie sowie hinsichtlich der CO₂-Emissionen verwendet.

Die Beurteilung der Primärenergieeinsparung in den für den Gebäudebereich relevanten Verordnungen erfolgt auf Basis der DIN V 18599-1. Diesbezüglich ist zu beachten, dass für das Primärenergieziel des Energiekonzepts die dortigen Gesamt-Primärenergiefaktoren (PEFs) zu verwenden sind (und nicht der nicht-erneuerbare Anteil). Die PEFs für Brennstoffe wurden entsprechend daran angelehnt. Dabei wurden die PEFs für biogene Brennstoffe, welche zwischen 1,2 und 1,5 variieren, zu 1,3 zusammengefasst, weil für die entsprechenden Instrumente eine Differenzierung nicht ohne weiteres möglich ist und die entstehenden Abweichungen durch gegenseitige Auslöschung gering sind. Für fossile Brennstoffe wurde der Wert generell als 1,1 gewählt, weil die Abweichung davon bei Braunkohle nur eine marginale Rolle beim EEV spielt (vgl. Tabelle 25).

Analog wurden Emissionsfaktoren zur Umrechnung der Instrumentenwirkungen auf der Steuerungszielebene in Treibhausgasemissionsreduktionen gewählt (vgl. Tabelle 26). Auch diese spiegeln also die Entwicklung des Kraftwerksparks in der Anpassung des kontrafaktischen Szenarios wider und beziehen sich ansonsten auf die relevanten Veröffentlichungen des Umweltbundesamts.

Tabelle 25: Primärenergiefaktoren zur Umrechnung der Instrumentenwirkungen von Endenergie in Primärenergie

Primärenergiefaktoren	2008	2016	2020	2030
Primärenergiefaktor Strommix	2,43	2,34	2,25	2,11
Primärenergiefaktor Strom Verdrängungsmix	2,40	2,30	2,20	2,17
Primärenergiefaktor Strom biogene Brennstoffe	2,45	2,45	2,45	2,45
Primärenergiefaktor Strom sonstige EE	1,00	1,00	1,00	1,00
Primärenergiefaktor fossile Brennstoffe	1,10	1,10	1,10	1,10
Primärenergiefaktor biogene Brennstoffe	1,20	1,20	1,20	1,20
Primärenergiefaktor Biogas-Nahwärme	0,70	0,70	0,70	0,70
Primärenergiefaktor Umweltwärme	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 26: Emissionsfaktoren zur Umrechnung der Instrumentenwirkungen von Endenergie in Treibhausgasemissionen

CO ₂ -Emissionsfaktoren		2008	2016	2020	2030
spez. Emissionen Strom	kg CO ₂ /kWh	0,51	0,53	0,57	0,67
spez. Emissionen Strom Verdrängungsmix	kg CO ₂ /kWh	0,54	0,57	0,60	0,80
spez. Emissionen foss. Wärme/Verkehr	kg CO ₂ /kWh	0,30	0,30	0,30	0,30
spez. Emissionen EEV feste Biomasse	kg CO ₂ /kWh	0,02	0,02	0,02	0,02
spez. Emissionen Biogas-Nahwärme	kg CO ₂ /kWh	0,11	0,11	0,11	0,11
spez. Emissionen Umweltwärme	kg CO ₂ /kWh	0,00	0,00	0,00	0,00
spez. Emissionen Biokraftstoffe	kg CO ₂ /kWh	0,09	0,09	0,09	0,09

Effekte am Strommarkt

Für die Berechnung der Wirkungen durch den Ausbau erneuerbarer Energien und durch die Senkung des Stromverbrauchs im Stromsektor ist zu berücksichtigen, dass die Wirkungen der Instrumente in den Sektoren durch zwei Effekte wesentlich gedämpft werden:

- 1) Einerseits wird durch den Ausbau erneuerbarer Energien und Effizienz im Stromverbrauch vor allem Stromerzeugung auf Basis von Erdgas und Steinkohle verdrängt. Braunkohle-Kraftwerke verfügen in der derzeitigen Struktur von Brennstoff- und CO₂-Preisen über vergleichsweise niedrige Grenzkosten und damit hohe Volllaststunden der Stromerzeugung. Diese Effekte werden durch die verwendeten Primärenergiefaktoren und CO₂-Faktoren abgeschätzt (vgl. Tabelle 25 und 26) und mit Ergebnissen aus vorliegenden und laufenden Studien abgeglichen.
- 2) Andererseits wird aufgrund der vorherrschenden Kraftwerks- und Preisstruktur in Deutschland und Europa ein großer Teil der Stromerzeugung in Deutschland exportiert, da die relevante Stromerzeugung in Deutschland meist tiefere Grenzkosten aufweist, als die europäischen Nachbarländer. Damit führen die Maßnahmen im Stromsektor nur zum Teil zu einer Verdrängung der inländischen konventionellen Stromerzeugung. Der inländische konventionelle Primärenergieverbrauch sowie die inländische CO₂-Emissionen werden damit nicht wie angestrebt reduziert. Dies wird darüber abgebildet, dass die Bruttostromerzeugung der Referenzentwicklung nur um die Wirkung der Sicherheitsbereitschaft für Braunkohlekraftwerke reduziert wird, wodurch der Stromexportsaldo im Zeitraum 2008 bis 2020 deutlich ansteigt. Dies erfolgt in Anlehnung an die Ist-Entwicklung seit 2008 und die prognostizierte Entwicklung bis 2020 in aktuellen Szenarienrechnungen für den Stromsektor (vgl. laufende Arbeiten im Rahmen der Makroökonomischen Effekte der Energiewende, Öko-Institut 2017, Öko-Institut, FhG ISI 2017c).

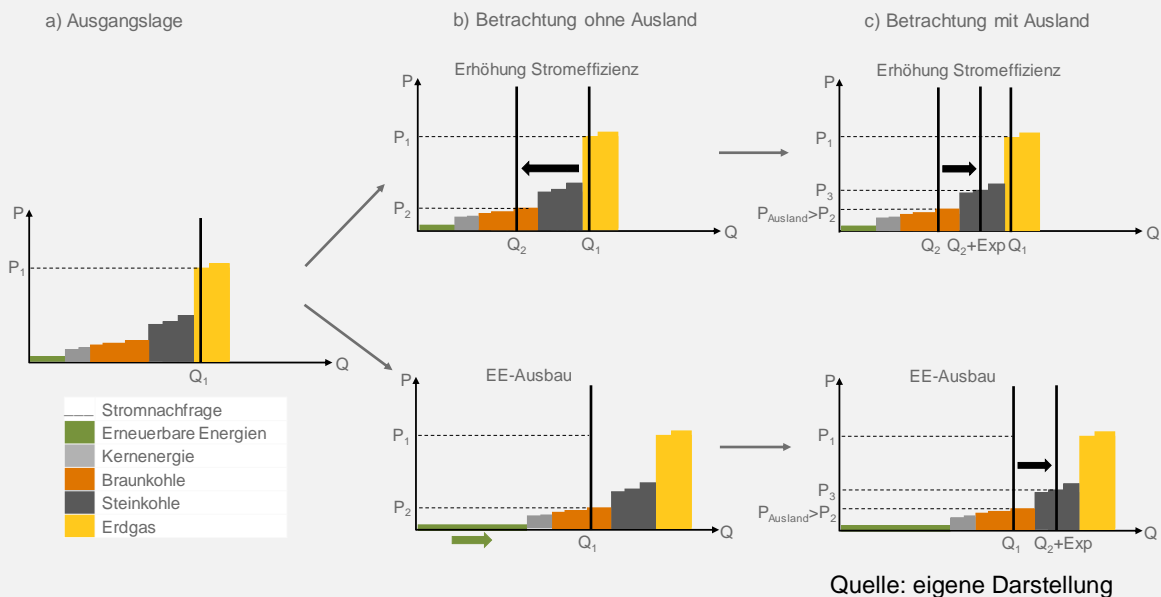
Aufgrund der zu erwartenden Entwicklungen der CO₂- und Brennstoffpreise ist bis 2020 von keiner grundlegenden Änderung dieser Effekte auszugehen. Im Rahmen der Studie erfolgt eine Abschätzung der beschriebenen Wechselwirkungen im Rahmen der Methodik (vgl. Box 3). Es erfolgt jedoch keine explizite Modellierung der Strommarkteffekte für Deutschland und Europa.

Box 3: Strommarkteffekte in der Wirkung von Stromeffizienz-Maßnahmen und Maßnahmen zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor

Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Ausbau erneuerbarer Technologien im Stromsektor reduzieren grundsätzlich den Primärenergieverbrauch und die vom Stromsektor verursachten Treibhausgasemissionen. Bei einer quantitativen Bewertung der Wirkung von Effizienz und erneuerbaren Energien sind jedoch die Effekte am Strommarkt zu berücksichtigen, um die Beiträge zu den (nationalen) Zielen zum Primärenergieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen abbilden zu können.

Abbildung B3 zeigt schematisch die Strommarkteffekte, welche durch eine verstärkte Stromeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien zu erwarten sind. Grafik a) zeigt als Ausgangslage die Struktur des Kraftwerksparks und die Stromnachfrage ohne zusätzliche Maßnahmen. Der Kraftwerkspark ist in dieser Situation durch hohe Anteile konventioneller Kraftwerke gekennzeichnet. Diese werden am Strommarkt grundsätzlich auf Basis ihrer Grenzkosten und der gegebenen Stromnachfrage eingesetzt (Merit Order).

Abbildung B3: Schematische Darstellung der Effekte am Strommarkt bei verstärkter Stromeffizienz und Ausbau erneuerbarer Energien



Grafik b) zeigt schematisch die Wirkung von Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz und zum Ausbau erneuerbarer Energien in einer rein nationalen Betrachtung. Bei einer Erhöhung der Stromeffizienz reduziert sich die (inländische) Stromnachfrage um die Menge Q_2-Q_1 , welche der Reduktion des Stromverbrauchs aufgrund der Stromeffizienz-Maßnahmen entspricht. Damit äußert sich die gesamte Reduktion des Strommarkts in einer Reduktion der konventionellen Stromerzeugung. Dementsprechend sinken die THG-Emissionen und der Primärenergieverbrauch. Dasselbe gilt für Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien. Aufgrund der gleichbleibenden Stromnachfrage werden konventionelle Kraftwerk mit höheren Grenzkosten weniger eingesetzt.

Das Ausmaß der Reduktion von Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen ist dabei davon abhängig, wie die Kosten- und Erzeugungsstruktur der konventionellen Kraftwerke ausgeprägt ist und welche Kraftwerke verdrängt werden. In Grafik b) werden Gaskraftwerke, Steinkohle und Braunkohle verdrängt, wodurch eine relativ gleichmäßige Reduktion des Primärenergieverbrauchs und der THG-Emissionen zu erwarten ist. Würden z.B. bei einer geringeren Reduktion des Stromverbrauchs vor allem Gaskraftwerke verdrängt, wäre der Effekt auf die THG-Emissionen aufgrund der geringen CO₂-Intensität dieser Kraftwerke deutlich geringer. Darüber hinaus ist sowohl im Falle verstärkter Stromeffizienz, als auch beim Ausbau erneuerbarer Energien eine Senkung des Strompreises am Strommarkt zu beobachten.

Grafik c) zeigt die Effekte bei (schematischer) Berücksichtigung des Auslands (und damit eine realitätsnähere Darstellung). Entscheidend ist dabei der partielle Rückgang der nationalen Strompreise (z.B. in Deutschland). Kommt es zu einem deutlichen Rückgang der Strompreise und besitzt das betrachtete Land damit tiefere Strompreise als das Ausland, so führt die zusätzliche Stromnachfrage aus den benachbarten Ländern dazu, dass die Exporte z.B. von Deutschland in die Nachbarländer steigen. Dieser Effekt ist in Grafik c) dargestellt und gilt grundsätzlich sowohl bei höherer Stromeffizienz als auch bei einem Ausbau erneuerbarer Energien. Damit wird die Reduktion der (nationalen) Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken am Strommarkt zum Teil kompensiert und es kommt zu geringeren Beiträgen zu den (nationalen) Zielen zur Senkung von Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen.

Die Entstehung und das Ausmaß dieser Kompensationseffekte ist von einer Reihe von Rahmenbedingungen abhängig. Für das Beispiel Deutschland sind insbesondere die Höhe des CO₂-Preises und der Brennstoffpreise relevant. Aktuell besitzen Steinkohle- und insbesondere Braunkohle-Kraftwerke vor allem aufgrund der anhaltend niedrigen CO₂-Preise deutlich niedrigere Grenzkosten als Gaskraftwerke. In Zeiten, in denen Braunkohle-Kraftwerke in Deutschland den Preis setzen, ist Deutschland aufgrund der Kraftwerksstruktur in den Nachbarstaaten deutlich günstiger als das Ausland. Das Resultat sind zusätzliche Stromexporte. Damit resultiert nur ein Teil des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Maßnahmen zur Stromeffizienz in einem tatsächlichen Rückgang der Stromerzeugung in Deutschland. Kurzfristig (d.h. im Hinblick auf 2020) ist nicht zu erwarten, dass sich diese Situation fundamental ändert. Mittel- bis langfristig ändert sich jedoch die Kraftwerksstruktur in Deutschland durch den Kernenergieausstieg und die erwartete Stilllegung von älteren Kohlekraftwerken. Bei steigenden CO₂-Preisen oder sonstigen Maßnahmen im Stromsektor ist davon auszugehen, dass die Kompensationseffekte in Deutschland zukünftig geringer ausfallen. Darüber hinaus gibt es weitere Einflussfaktoren für diese Effekte. Dabei sind aus heutiger Sicht vor allem die Entwicklung der Kraftwerksstruktur in den Nachbarstaaten, die Entwicklung der Netzinfrastruktur und die grenzüberschreitenden Netzkapazitäten sowie die Entwicklung des Stromverbrauchs (und dessen Struktur) von Bedeutung.

Die Effekte der hier beschriebenen Wechselwirkungen werden im Rahmen der vorliegenden Studie auf Basis der verwendeten Primärenergiefaktoren und CO₂-Faktoren für den Verdrängungsstrommix (vgl. Tabelle 25 und 26) sowie Annahmen zur Höhe der inländischen Bruttostromerzeugung bzw. zu den Nettoexporten von Deutschland in das benachbarte Ausland abgeschätzt.

Beitrag der Steuerungsziele im Falle einer Zielerreichung

Grundsätzlich stellt sich zunächst die Frage, ob das Erreichen aller sektoralen Steuerungsziele das Erreichen der Kernziele nach sich zieht. Dabei erscheint es sinnvoll, wenn mit den Steuerungszielen eine moderate Übererfüllung der Kernziele verbunden ist, um ein robustes Erreichen der Kernziele auch beim Nicht-Erreichen einzelner Steuerungsziele zu ermöglichen. Um dies beurteilen zu können, bedarf es weiterer Annahmen für die nicht von den Steuerungszielen erfassten Größen:

- Für beide Kernziele ist die Entwicklung des nicht unter Strom, Gebäude und Verkehr fallenden Endenergieverbrauchs von Bedeutung (vorwiegend Prozesswärme). Diesbezüglich wird mangels spezifischer Steuerungsziele von einer Verbrauchsentwicklung für Wärme insgesamt ausgegangen, welche dem Ziel im Gebäudebereich entspricht.
- Für den Primärenergieverbrauch spielt auch die Entwicklung des prozessbedingten, nicht-energetischen Verbrauchs fossiler Energieträger eine wichtige Rolle, für den grundsätzlich weniger Einsparmöglichkeiten bestehen. Setzt man diesbezüglich den Trend zwischen 2008 und 2016 bis 2020 fort, reduziert sich dieser um 6,5 % von 1011 PJ auf 945 PJ.
- Die Primärenergiefaktoren werden wie in Tabelle 25 angegeben gesetzt.
- Von zentraler Bedeutung für den Primärenergieverbrauch ist auch das Verhältnis von Bruttostromverbrauch zu Bruttostromerzeugung, weil bei Import oder Export ein entsprechender Saldo nur für den Endenergieanteil in die Bilanz eingeht. Diesbezüglich wird hier die Spannbreite betrachtet für den Fall, dass der Stromexport konstant bleibt, und für den Fall, dass sich die Stromerzeugung wie in der Referenz entwickelt.

Wenn ausgehend von diesen Annahmen für die den Steuerungszielen unterliegenden Größen ein Erreichen des jeweiligen Ziels angesetzt wird, so ergibt sich ein EE-Anteil am gesamten Bruttoendenergieverbrauch von 18,2 %, was im Wesentlichen mit dem Ziel von 18 % übereinstimmt. Es ist allerdings gegenüber Abweichungen bei einzelnen Steuerungszielen nur bedingt robust.

In Bezug auf die Reduktion des Primärenergieverbrauchs ergibt sich hingegen je nach Annahme in Bezug auf den Stromexport nur eine Reduktion um 15,0 bis 17,5 %, was deutlich unterhalb der durch das Kernziel vorgegebenen Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 20 % liegt. Dies ist nicht allzu überraschend,

insofern als die sektoralen Reduktionen des Endenergieverbrauchs zwischen 10 % und 20 % liegen. Demgegenüber steht jedoch noch die zusätzliche Primärenergieeinsparung durch die Substitution fossiler Stromerzeugung durch erneuerbare Quellen. Die weiteren Verbräuche werden nur mit dem Ziel zur Erhöhung der Endenergieproduktivität erfasst, welches aber im Wesentlichen über die sektoralen Verbrauchsziele erreicht werden kann. Für ein robustes Erreichen des Kernziels für den Primärenergieverbrauch bedürfte es also weiterer Steuerungsziele für den nicht-energetischen Primärenergieverbrauch und die nicht-erfassten Endenergieverbräuche, insbesondere Prozesswärme.

Im Folgenden wird diskutiert, inwieweit die ermittelten Instrumentenwirkungen zum Erreichen der Kernziele hinreichend sind. Dabei werden die in Kapitel 2 ermittelten Beiträge zu den Kernzielen nicht direkt übernommen, sondern um Wechselwirkungseffekte korrigiert. An erster Stelle zu nennen ist hier, dass die Beiträge der beiden Steuerungsziele für Strom um den Primärenergieverbrauch eines zusätzlichen Stromexports verringert werden müssen. Die Reduktion des Primärenergieverbrauchs fällt also geringer aus die Summe der in Kapitel 2 ermittelten Instrumentenwirkungen.

4.3.3 Beurteilung der Zielerreichung / Zielverfehlung auf Ebene der übergeordneten Ziele

Reduktion des Primärenergieverbrauchs

Der Primärenergieverbrauch ändert sich zwischen 2008 und 2020 im Wesentlichen durch folgende Faktoren:

- Änderungen des Endenergieverbrauchs in den Bereichen Strom, Gebäude, Verkehr, Prozesswärme und des nicht energetischen Primärenergieverbrauchs,
- die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien, primär bei der Stromerzeugung und eine Veränderung des konventionellen Kraftwerksparks sowie der jeweiligen Volllaststunden (wobei die beschriebenen Effekte am Strommarkt abgebildet werden) sowie
- die Entwicklung des Import-Export-Saldos bei der Stromerzeugung, welches wiederum von der Entwicklung der Verbräuche und des Kraftwerksparks im europäisch integrierten Strommarkt abhängt.

Die Wirkung der Änderungen des Endenergiebedarfs in den Bereichen Strom, Gebäude und Verkehr sowie die jeweilige Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien werden durch die Umrechnung der Instrumentenwirkungen in

Primärenergieeinsparungen erfasst. Dabei wurden ersichtliche Überschneidungen und Doppelzählungen herausgerechnet. Es ist jedoch zu beachten, dass die Abschätzung der Instrumentenwirkungen zum Teil aus unterschiedlichen Studien stammen und daher systemische Wechselwirkungen, wie sie insbesondere bei Optimierung der Stromerzeugung auftreten u.U. nicht vollständig erfasst sind.

Für die weiteren Faktoren werden die folgenden Setzungen vorgenommen: Für den nicht-energiebedingten Primärenergieverbrauch wurde angenommen, dass sich der Trend seit 2008 linear fortsetzt. Da daraus bis 2020 nur eine Reduktion um 6,5 % resultiert, bedeutet dies, dass der energetische Primärenergieverbrauch entsprechend stärker reduziert werden muss, um eine Erreichung des Primärenergiereduktionsziels insgesamt sicherzustellen.

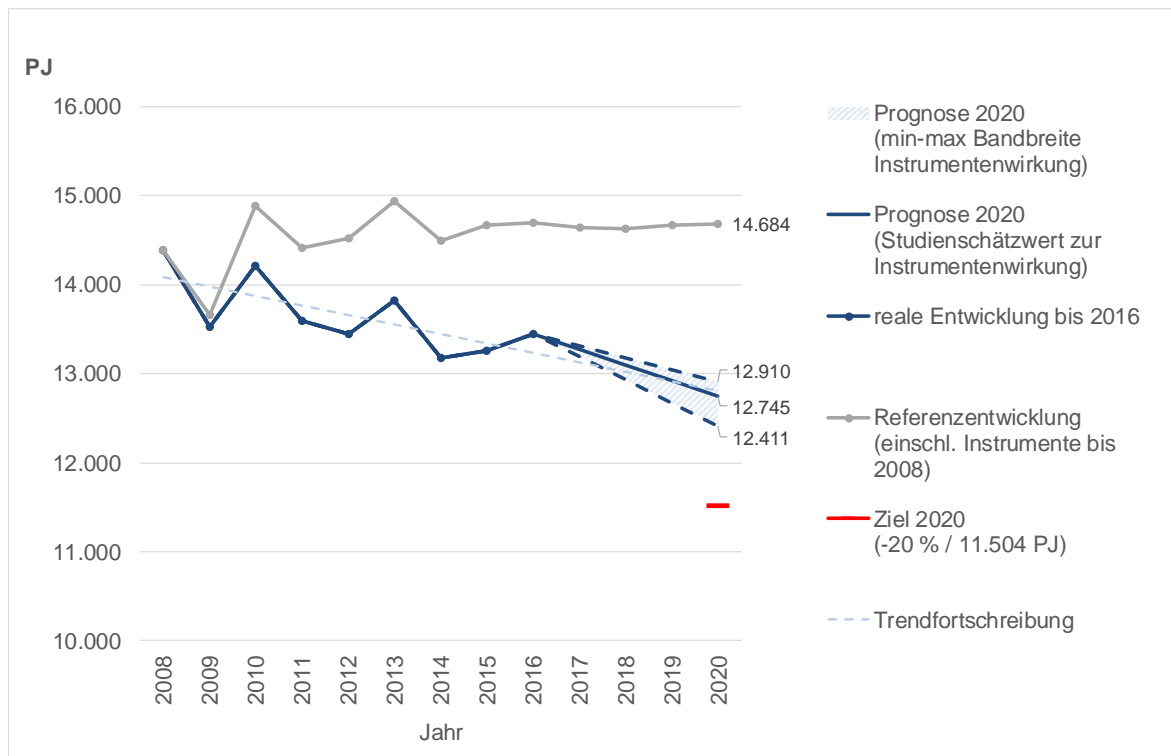
Eine Verschiebung innerhalb des fossilen Kraftwerksparks und bei den jeweiligen Volllaststunden wird bereits in der Referenzentwicklung und den daraus abgeleiteten Primärenergiefaktoren berücksichtigt. Da im Rahmen des Projekts keine explizite Modellierung des europäischen Strommarkts möglich ist, wird für die Entwicklung des Import-Export-Saldos bei der Stromerzeugung angenommen, dass die Bruttostromerzeugung bis 2020 auf dem Niveau des Jahres 2008 verbleibt. Diese Annahme ist an der Ist-Entwicklung seit 2008 und Ergebnissen zur Entwicklung der Stromerzeugung in Szenarien mit einer Modellierung des europäischen Kraftwerksparks angelehnt. Dabei wird abgebildet, dass auf Grund der Struktur des europäischen und speziell des deutschen Kraftwerksparks und der damit zusammenhängenden Preisstrukturen ein Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und eine Reduktion des Stromverbrauchs in Deutschland nur zum Teil zu einer Reduktion der konventionellen Stromerzeugung in Deutschland führen. Zum Teil resultiert auch eine Erhöhung des Stromexports aus Deutschland (vgl. auch Kapitel 4.3.2 und Box 2). Eine Abweichung hiervon wirkt sich stark auf die Reduktion des Primärenergieverbrauchs aus, weswegen unten weitere Betrachtungen dazu folgen.

In der Referenzentwicklung kommt es zu einer moderaten Steigerung des inländischen Primärenergieverbrauchs von 14.380 PJ in 2008 auf 14.684 PJ in 2020, welche aus dem Zusammenspiel von steigender Nachfrage und der zurückgehenden Nutzung von Kernenergie resultiert. Zur Erreichung des Ziels einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 20 % im Vergleich zu 2008 auf 11.504 PJ ist also eine zusätzliche Einsparung von 3.180 PJ notwendig.

Die sektoralen Primärenergieeinsparungen und der durch die sektorübergreifenden Instrumente gemäß den jeweils festgelegten Studienschätzwerten resultierende Entwicklung ergibt unter Berücksichtigung der sonstigen Effekte und Wechselwirkungen eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 11,4 % (auf 12.745

PJ im Jahr 2020) und lässt somit für 2020 eine deutliche Zielverfehlung erwarten (siehe Abbildung 22).

Abbildung 22: Projektion der sektoralen Primärenergieeinsparungen im Kernziel der Reduktion des Primärenergieverbrauchs



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung der Trendentwicklung der Reduktion des Primärenergieverbrauchs zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einer Reduktion um 11,0 %. Damit liegt die Trendentwicklung in der Nähe der auf Basis der Studienschätzwerte ermittelten Zielerreichung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die zusätzliche Wirkung von Instrumenten im Zeitraum 2016 bis 2020 durch das höhere Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum im Zeitraum bis 2020, welche jeweils in der Trendentwicklung nicht vollständig abgebildet werden, teilweise kompensiert wird. Wenn für die Instrumentenwirkung in den Sektoren jeweils die minimale Wirkung unterstellt wird, reduziert sich der Primärenergieverbrauch im Vergleich dazu um 10,2 %. Wenn in allen Sektoren die maximale Instrumentenwirkung realisiert wird, resultiert ein Primärenergieverbrauch von 12.417 PJ und eine Reduktion von 13,6%. Damit ist aus heutiger Perspektive selbst im optimistischen Fall einer sehr hohen Wirkung der Instrumente von einer deutlichen Zielverfehlung auszugehen.

Unter den getroffenen Annahmen fällt die Reduktion des Primärenergieverbrauchs etwas höher aus als im Projektionsbericht 2017. Dieser ermittelt eine Senkung von 12,2 % im Mit-

Maßnahmen-Szenario. Abweichungen resultieren hierbei zum einen aus den unter dem jeweiligen Steuerungsziel diskutierten Abweichungen bei der Entwicklung der Endenergieverbräuche. Weitere Abweichungen können sich zudem aus der oben beschriebenen Einschränkung bezüglich der Berücksichtigung von systemischen Wechselwirkungen in der Addition von Instrumentenwirkungen insbesondere bei der Stromerzeugung ergeben. Da diesbezüglich keine quantitative Abschätzung möglich ist, wird empfohlen davon auszugehen, dass sich die Reduktion des Primärenergieverbrauchs in der Spanne der Werte dieser Studie und des Projectionsberichts bewegt.

Dass der ermittelte Wert für die Reduktion des Primärenergieverbrauchs nicht noch weiter von der für den Fall eines Erreichens aller Steuerungsziele ermittelten unteren Grenze von 15 % abweicht, mag im Kontext der erwarteten Verfehlung der aller Effizienz-Steuerungsziele überraschend erscheinen. Der wesentliche Faktor dafür ist, dass die deutliche Übererfüllung des Ziels bei erneuerbarem Strom wegen des damit verbundenen starken Rückgangs des Primärenergieverbrauchs die zusätzliche Lücke teilweise kompensieren kann.

Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien

Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) ändert sich zwischen 2008 und 2020 im Wesentlichen durch folgende Faktoren:

- Ausbau der EE-Nutzung in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr sowie
- Änderungen des Endenergiebedarfs in den Bereichen Strom, Gebäude, Verkehr und Prozesswärme.

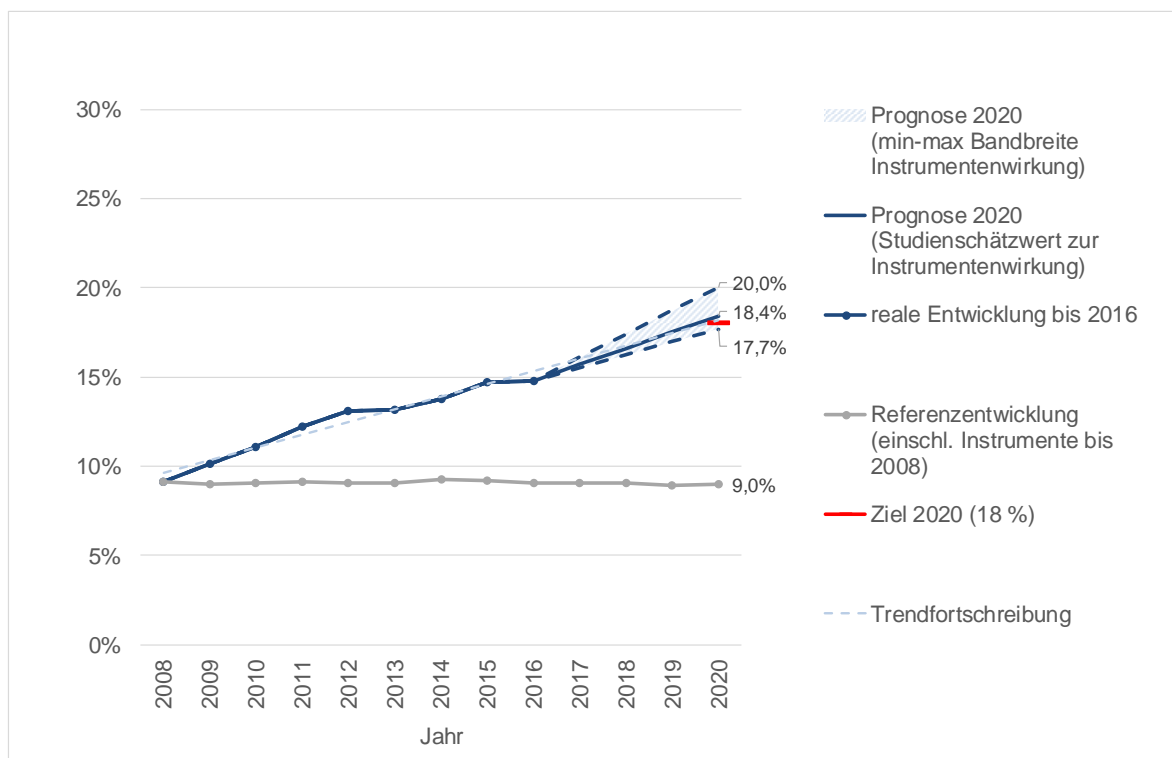
Insbesondere hängt die Abschätzung in Bezug auf die Zielerreichung vom in 2020 angesetzten Bruttoendenergieverbrauch ab. Für diesen wird analog zu den Steuerungszielen im Bereich der erneuerbaren Energien eine Entwicklung gemäß der um die abgeschätzten Instrumentenwirkungen korrigierten Referenzentwicklung angesetzt.

In der Referenzentwicklung steigt die Endenergiebereitstellung auf Basis erneuerbarer Energien zwischen 2008 und 2020 entsprechend der oben beschriebenen autonomen Entwicklung bei EE-Wärme auf 887 PJ an. Die Anpassung der Referenzentwicklung um die jeweiligen Studienschätzwerte der Instrumentenwirkungen ergibt eine Absenkung des Bruttoendenergieverbrauchs auf 8.971 PJ in 2020. Zur Erreichen des Ziels einer Erhöhung des Anteils erneuerbare Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 18 % bis

2020 ist also eine zusätzliche Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien von 728 PJ notwendig.

Die Summe der bestimmten Studienschätzwerte für die Instrumentenwirkungen führt zu einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 18,4 %, was einem Beitrag erneuerbarer Energien von 1.653 PJ entspricht. Dies deutet auf ein knappes Erreichen des Ziels in 2020 hin (siehe Abbildung 23).

Abbildung 23: Projektion der sektoralen Instrumentenwirkungen auf das Kernziel zum Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung der Trends des Anteils erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einem EE-Anteil von 18,2 %, was die erwartete Zielerreichung stützt. Selbst in dem Fall, dass in allen Sektoren nur der minimale Wert der ermittelten Instrumentenwirkungen angesetzt wird, erhöht sich der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 17,7 %. Auch hier sollte beachtet werden, dass wie oben diskutiert ein exaktes Erreichen aller Steuerungsziele ebenfalls zu einem Anteil von 18,2 % führen würde, jedoch der ermittelte Minimalwert für den Ausbau erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung bereits einer Übererfüllung des Steuerungsziels für den EE-Ausbau entspricht. Bei maximaler Instrumentenwirkung in den Sektoren ergibt sich ein Wert von 20,0 % im Jahr. Mit Blick auf die Spannbreiten ist demen-

sprechend eine Erreichung des Ziels von 18 % als realistisch anzusehen. In den Extremfällen einer Instrumentenwirkung am unteren Ende der Spannbreiten bei der Mehrzahl der Steuerungsziele kann aber ein Verfehlen auch des EE-Ziels nicht ausgeschlossen werden.

Reduktion der Treibhausgasemissionen

Die Bilanzierung von Treibhausgasen erfolgt international einheitlich nach der Logik der nationalen Inventare, welche auf dem Verursacherprinzip beruhen und daher alle im Inland entstehenden Treibhausgasemissionen umfassen. Die Änderung der Treibhausgasemissionen zwischen 2008 und 2020 wird im Wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- Änderungen der Endenergieverbräuche in den Bereichen Strom, Gebäude, Verkehr und Prozesswärme,
- Veränderungen der Emissionsintensitäten der Energieumwandlung durch die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien sowie Substitutionen zwischen den fossilen Energieträgern,
- die Entwicklung des Import-Export-Saldos bei der Stromerzeugung, welches wiederum von der Entwicklung der Verbräuche und des Kraftwerksparks im europäisch integrierten Strommarkt abhängt, und
- Änderungen der nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen, Abfallentsorgung und Landwirtschaft und der energiebedingten weiteren Treibhausgase.

Im der vorliegenden Studie ist eine detaillierte Betrachtung für die energiebedingten CO₂-Emissionen vorgesehen, nicht jedoch die Emissionen in weiteren Sektoren und von weiteren Treibhausgasen. In der Folge wird das politische Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 % bis 2020 daher auf diese Bereiche angewendet. Für die sonstigen Treibhausgasemissionen bedeutet dies, dass diese zumindest in gleichem Maße zu reduzieren sind, um das Ziel der Reduktion der Treibhausgasemissionen insgesamt zu erreichen. Der Projektionsbericht 2017 legt nahe, dass eine entsprechende Reduktion der nicht-energetischen CO₂-Emissionen und der Emission anderer Treibhausgase erreichbar ist. Im Gegensatz zur Methode der nationalen Inventare wird im Verkehrssektor der Endenergieverbrauch gemäß AGE-Logik berücksichtigt und beinhaltet insbesondere den internationalen Flugverkehr.

Eine wichtige Rolle spielt wiederum die Annahme zum Umfang des Exportsaldos bei der Stromerzeugung. Denn gemäß dem Verursacherprinzip der Inventarlogik sind die durch Stromexport entstehenden CO₂-Emissionen vollständig dem nationalen Inventar zuzurechnen. Wie beim Primärenergieverbrauch wird angenommen, dass die Bruttostromerzeugung bis 2020 auf dem Niveau des Jahres 2008 verbleibt und damit ein deutlicher Anstieg des Stromexportsaldos im Betrachtungszeitraum 2008 bis 2020 erfolgt (vgl. Kapitel 4.3.2 und Box 3).

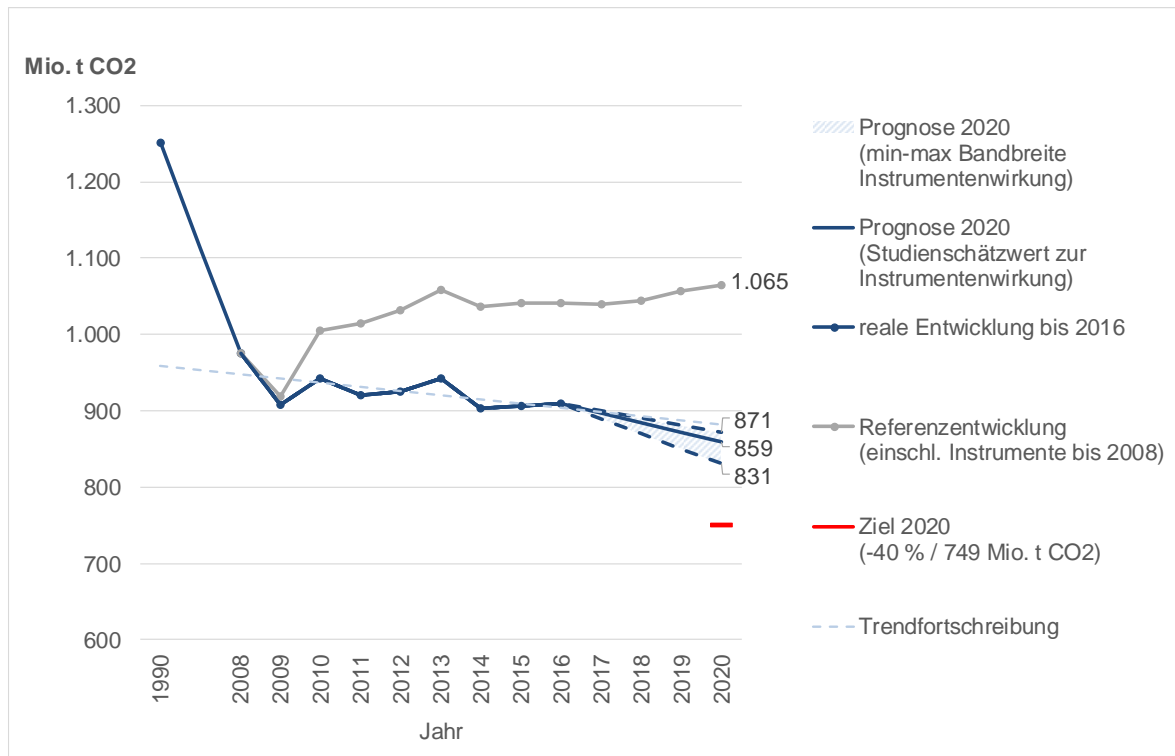
In der Referenzentwicklung kommt es zu einer Senkung der energiebedingten CO₂-Emissionen von 986 Mt CO₂ in 1990 auf 911 Mt CO₂ in 2020, welche sich vor allen Dingen durch deutlich zurückgegangene Emissionen bei der Stromerzeugung ergibt. Zum Erreichen des Ziels einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990 auf 592 Mt CO₂ ist also eine zusätzliche Einsparung von 319 Mt CO₂ notwendig.

Die Summe der sektoralen CO₂-Einsparungen gemäß den jeweils festgelegten Studienschätzwerten sowie der sonstigen übergreifenden Instrumente entspricht einer Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen um 28,5 %.

Im Vergleich zum Projektionsbericht 2017, wo die verbrennungsbedingten THG-Emissionen im MMS um 30,3 % zurückgehen, fällt die Reduktion der energiebedingten Emissionen unter den hier getroffenen Annahmen moderat geringer aus. Die Gründe für eine stärkere Reduktion sind ähnlich denen bereits bei der Reduktion des Primärenergieverbrauchs beschriebenen Unterschieden. Dass der Unterschied hingegen kleiner ausfällt als beim Primärenergieverbrauchsziel, ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sich der deutliche Unterschied bei der Reduktion des Stromverbrauchs weniger stark auswirkt, weil bei Treibhausgasemissionen auf Grund des Verursacherprinzips keine Korrektur um den Stromexport stattfindet.

Setzt man zur Berechnung der Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen (inkl. nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen und energiebedingte nicht-CO₂-Emissionen) die Entwicklung aus den (aktualisierten) Berechnungen im Projektionsbericht 2017 ([Bundesregierung 2017] und [Öko-Institut 2017]) an, so beträgt die Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 insgesamt 31,3 %. Dies entspricht einer Menge von 859 Mio. t CO₂ im Jahr 2020. Auf Basis der vorliegenden Rechnungen ist damit für 2020 eine Zielverfehlung von 111 Mio. t CO₂-Äquivalenten zu erwarten (siehe Abbildung 24).

Abbildung 24: Projektion der sektoralen CO₂-Einsparungen auf das politische Ziel der Reduktion der Treibhausgasemissionen*



Quelle: eigene Darstellung

Eine Fortschreibung der Reduktion der THG-Emissionen zwischen 2008 und 2016 führt für 2020 zu einer Reduktion von nur 29,7 %. Die Abweichung vom ermittelten Studienschätzwert ergibt sich aus den unter dem jeweiligen Steuerungsziel beschriebenen Abweichungen bei allen Steuerungszielen, wo insbesondere bei den Reduktionszielen Instrumentenwirkungen erst nach 2015 einsetzen.

Im MMS des Projektionsberichts 2017 wird eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 34,9 % projiziert. In der Aktualisierung der Rechnungen des Projektionsberichts unter veränderten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen [Öko-Institut 2017] resultiert im Vergleich dazu eine Reduktion zwischen 31,7 % und 32,5 %. Damit fällt in den vorliegenden Rechnungen die Reduktion etwas geringer aus als im Projektionsbericht 2017.

Unter Berücksichtigung der Spannbreiten der Instrumentenwirkungen in den Sektoren resultiert bei Annahme der minimalen Instrumentenwirkungen eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 30,3 % (entspricht 871 Mio. t CO₂ im Jahr 2020). Wenn die maximalen Instrumentenwirkungen für die Sektoren angesetzt werden ergibt sich eine Reduktion von 33,6 % (entspricht 831 Mio. t CO₂ im Jahr 2020). Damit ist auch im optimistischen

Fall einer deutlich höheren Wirkung der Instrumente aus heutiger Sicht von einer Zielverfehlung auszugehen.

An dieser Stelle sei abschließend nochmals darauf hingewiesen, dass zur Beurteilung der Zielerreichung stets der Dreiklang aus erstens der konservativen Schätzung über Trendfortschreibung, zweitens den szenariobasierten Rechnungen des Projektionsbereichs und drittens den hier ermittelten Bottom-Up-Abschätzungen über Instrumentenwirkungen betrachtet werden sollte. Darüber hinaus bieten die im Rahmen dieser Studie ermittelten sektoralen Spannweiten an Instrumentenwirkungen und damit verbundenen CO₂-Einsparungen eine Grundlage, um in den nächsten Arbeitsschritten längerfristige Kompensations- und Flexibilisierungsmöglichkeiten zum Schließen von Lücken bei der Zielerreichung bis 2030 zu identifizieren (siehe dazu Kapitel 4).

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse bezüglich des Erreichens der Kernziele und des übergeordneten politischen Ziels der Treibhausgasemissionen bis 2020 zusammenfassend dargestellt

*Tabelle 27: Entwicklung der für die Kernziele und das Treibhausgasziel relevanten Parameter bei Anlegen der Studienschätzwerte der Instrumentenwirkungen und Grad der Zielerreichung; * Werte bzgl. 1990 und Zielwert bzgl. der gesamten Treibhausgasemissionen*

Entwicklung mit Instrumentenwirkung (Studienschätzwerte)	Einheit	Basisjahr	2020	Ermittelter Wert für Zielgröße (Zielwert)
Bruttoendenergieverbrauch	PJ	9.456	8.971	kein Ziel definiert
davon erneuerbar	PJ	869	1'653	18,4 % (18 %)
Primärenergieverbrauch	PJ	14.380	12.745	-11,4 % (-20 %)
Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	Mt CO ₂	986	705	-28,5 % (kein Ziel definiert)
Treibhausgasemissionen insgesamt*	Mt CO ₂ e	1.251	859	-31,3 % (-40 %)

* Die Entwicklung aller weiteren THG-Emissionen wurde dem MMS des Projektionsberichts 2017 entnommen.

4.3.4 Betrachtung von weiteren Sensitivitäten für die Entwicklung bis 2020

In Kapitel 4.3 wurde die Wirkung der Maßnahmen im Rahmen der Zielarchitektur der Bundesregierung sowohl auf Ebene der Sektorziele, als auch auf der Ebene der übergeordneten Ziele quantifiziert und hinsichtlich der Erreichung der Ziele für das Jahr 2020 ausgewertet. Dabei wurden neben einer Abschätzung der aus heutiger Sicht realistischsten Wirkung insbesondere Unsicherheiten hinsichtlich der Wirkung der Instrumente aufgezeigt.

Neben diesen Unsicherheiten bestehen weitere wesentliche Unsicherheiten für die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele im Zeitraum bis 2020. Diese betreffen aus heutiger Perspektive insbesondere die wirtschaftliche und gesellschaftliche Rahmenentwicklung, die Entwicklung der Energiepreise, die CO₂-Preise sowie weitere Effekte am Strommarkt.

Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung

In den für die bisherigen Berechnungen herangezogenen Rahmendaten wird gemäß der zwischen BMUB und BMWi abgestimmten Aktualisierung der Rahmendaten von einem Wirtschaftswachstum von durchschnittlich 1,7 % p.a. und einem Anstieg der Bevölkerungszahl in Deutschland auf rund 83,5 Mio. im Jahr 2020 ausgegangen.

Aus heutiger Perspektive unterliegt die Wirtschaftsentwicklung bis 2020 einigen Unsicherheiten. Dies betrifft Deutschland, aber auch die EU insgesamt. Während vor kurzem noch von einem Wirtschaftswachstum von 1,3 % p.a. für Deutschland im Zeitraum 2015 bis 2020 ausgegangen wurde (Rahmendaten des EU Reference Scenario, E3M 2016), liegt die aktuelle Prognose im Rahmen der Herbstprojektion 2017 der Bundesregierung [BMWi 2017c] für die Jahre 2016 bis 2018 bei 1,9 bis 2,0 % p.a. Für die EU insgesamt geht die EU-Kommission in ihrer aktuellen Herbstprognose von einem jährlichen Wirtschaftswachstum von 2,3 % im Jahr 2017 und von 2,1 % im Jahr 2018 aus [EC 2017].

Aufgrund der hohen Zuwanderung und der Aufnahme von Asylbewerbern in den Jahren 2015 und 2016 sind auch die Abschätzung der Bevölkerungszahl für 2016 sowie die Prognosen bis 2020 noch mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Auf Basis der im Rahmen der Studie durchgeführten Berechnungen kann bei einem zusätzlichen jährlichen BIP-Wachstum von 0,1 % p.a. von 2016 bis 2020 ein zusätzlicher Endenergieverbrauch von rund 20 PJ und eine rund 0,2 % geringere Zielerreichung für das Treibhausgasziel im Jahr 2020 abgeschätzt werden. Bei einem deutlich höheren Wirtschaftswachstum von z.B. 2,2 % p.a. für 2017 bis 2020 in Deutschland folgt daraus ein zusätzlicher

Endenergieverbrauch von bis zu rund 100 PJ und ein Anstieg der Treibhausgasemissionen von rund 10 Mio. t CO₂ was zu einer zusätzlichen Zielverfehlung um etwa 0,8 %-Punkte führen würde. Bei einem geringeren Wirtschaftswachstum als angenommen (z.B. um rund 0,5 % p.a.) ist dementsprechend von um rund 10 Mio. t geringeren CO₂-Emissionen auszugehen.

Bei einem höheren Bevölkerungswachstum, welches im Jahr 2020 für eine zusätzliche Bevölkerungszahl von 1 Mio. Personen führt, wird ein zusätzlicher Endenergieverbrauch von rund 50 PJ EEV abgeschätzt. Damit ergeben sich zusätzliche Treibhausgasemissionen in der Höhe von rund 5 Mio. t CO₂, wodurch die Lücke zum Zielwert der Treibhausgasemissionen um etwa 0,4 %-Punkte ansteigen würde. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch das höhere Bevölkerungswachstum auch das Wirtschaftswachstum positiv beeinflusst wird.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die Abschätzungen stark davon abhängen, wie hoch die Energieintensität des zusätzlichen Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums angesetzt wird. Beispielsweise hat der Strukturwandel im Industrie-Sektor dazu geführt, dass sich die Energieintensität in diesem Sektor in den letzten Jahren deutlich abgesenkt hat. Wenn das zusätzliche Wirtschaftswachstum vor allem gering energieintensive Branchen betrifft werden die Effekte des zusätzlichen Wachstums dementsprechend gedämpft. In den hier durchgeführten Berechnungen wird die in den letzten Jahren zu beobachtende Entwicklung der durchschnittlichen Energieintensität (Endenergieverbrauch pro BIP bzw. pro Kopf) für den Zeitraum bis 2020 fortgeschrieben.

Entwicklung der Energie- und CO₂-Preise

Für das Jahr 2020 wird in den bisherigen Berechnungen von einem Anstieg der Ölpreise auf rund 70 USD/bbl ausgegangen. In den vergangenen Jahren seit 2015 kam es im Vergleich dazu zu einem deutlichen Rückgang der Ölpreise, insbesondere aufgrund angebotsseitiger Effekte. Die Entwicklung der Weltmarkt-Energiepreise bis 2020 unterliegt damit einer Reihe von Unsicherheiten. Ein hohes weltweites Wirtschaftswachstum würde eher für einen Aufschwung der Energiepreise bis 2020 sprechen. Die Entwicklung der Fördermengen sowohl konventioneller Art als auch im Bereich neuer, unkonventioneller Ölvorkommen ist jedoch ein weiterer Unsicherheitsfaktor, der durchaus zu einer Dämpfung des Anstiegs der Energiepreise führen kann. Der Ölpreis beeinflusst durch seine Entwicklung nicht nur den Verbrauch von Mineralölprodukten, sondern wirkt sich aufgrund der (teilweisen) indexierten Gaslieferverträge und Substitutionsmöglichkeiten auch auf die Preisentwicklung von Erdgas aus.

Falls der für die Jahre bis 2020 prognostizierte Anstieg der Weltmarkt-Energiepreise und insbesondere des Ölpreises weniger stark ausfällt, als angenommen, ist von einem zusätzlichen Energieverbrauch, insbesondere im Verkehrssektor und im Gebäudesektor auszugehen. Aus den bisherigen Berechnungen kann abgeschätzt werden, dass ein um 10 USD/bbl tieferer Ölpreis zu einem zusätzlichen Endenergieverbrauch von rund 60 PJ führt. Daraus ergeben sich Mehremissionen an CO₂ von rund 7 Mio. t und eine um rund 0,6 % geringere Zielerreichung. Bei einem um 10 USD/bbl höheren Ölpreis ist hingegen von einer um rund 0,6 % höheren Zielerreichung auszugehen.

Auch diese Abschätzung unterliegt selbstverständlich gewissen Unsicherheiten. Diese betreffen unter anderem die Preiselastizität Endverbraucher im Verkehrs- und Gebäudesektor. Zudem kann bei einer tieferen Entwicklung der Energiepreise der Fall eintreten, dass Endverbraucher ihre Ausgaben und Investitionen auf energieintensivere Güter verlagern, woraus ein langfristiger Effekt auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen resultiert. Dies spielt bis 2020 eine untergeordnete Rolle, ist aber für die langfristigen Ziele bis 2030 und darüber hinaus relevant.

Für den CO₂-Preis wird bis 2020 von einer nur moderaten Erhöhung auf 10 €/t ausgegangen, da nur ein leichter Rückgang der überschüssigen Emissionszertifikate zu erwarten ist. Bei einer dynamischen Wirtschaftsentwicklung im gesamten EU-Raum ist auch ein etwas höherer Anstieg des CO₂-Preises vorstellbar. Im Projektionsbericht wird bei einer Erhöhung des CO₂-Preises auf 15 €/t bis zum Jahr 2020 von einer Einsparung von 7 Mio. t CO₂ im Stromsektor ausgegangen. Dabei sind jedoch auch die weiteren Entwicklungen der Energiepreise von zentraler Bedeutung. Bei einem weiteren Anstieg des Steinkohle-Preises und einem gleichzeitig tiefen Gaspreis könnten weitere Einsparungen im Stromsektor resultieren (siehe unten).

Effekte am Strommarkt

In den bisherigen Berechnungen wird angenommen, dass aufgrund der Wirkung der Instrumente zur Senkung des Stromverbrauchs und zum Ausbau erneuerbarer Energien am Strommarkt primär Stromerzeugung aus Gaskraftwerken und Steinkohlekraftwerken verdrängt wird (vgl. Box 3). Dies wird über den angenommenen CO₂-Emissionsfaktor und den Primärenergiefaktor des Verdrängungsstrommixes abgeschätzt.

Bei einem höheren CO₂- und Steinkohle-Preis sowie einem gleichzeitig geringen Gaspreis könnten diese Effekte stärker als angenommen die Volllaststunden der Steinkohle-Kraftwerke betreffen. Umgekehrt wären bei einer gegenteiligen Entwicklung die Volllaststunden von Gaskraftwerken noch stärker als bisher betroffen. Darüber hinaus kann der Fall eintreten, dass Kraftwerksbetreiber

aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen die Stilllegung von Kraftwerken anstreben und somit Emissionen aus der Stromerzeugung noch deutlicher reduziert werden. Bis zum Jahr 2020 sinkt beispielsweise die Kapazität von Steinkohle-Kraftwerken aufgrund endgültiger und angekündigter sowie vorläufiger Stilllegungen voraussichtlich um rund 6,2 GW (vgl. [Öko-Institut 2017]).

Mit der im Rahmen der Berechnungen angesetzten Methodik wird angenommen, dass vor allem Steinkohle-Kraftwerke und Gaskraftwerke gleichmäßig durch erneuerbare Energien verdrängt werden. Falls Steinkohle-Kraftwerke am Strommarkt stärker als hier angenommen verdrängt werden und die Stilllegungen höher ausfallen, als in der verwendeten Methodik abgeschätzt, ist von einer höheren Zielerreichung in Bezug auf die Treibhausgas- und Primärenergieziele auszugehen. Wenn 20 TWh Stromerzeugung aus Steinkohle-Kraftwerken durch Gaskraftwerke substituiert werden, ist von einem Rückgang der CO₂-Emissionen um rund 10 Mio. t CO₂ auszugehen.

Dabei spielt durch die Integration der Strommärkte auch die Entwicklung der Kraftwerksstruktur in den europäischen Nachbarländern eine wesentliche Rolle. Geht man abweichend von den Annahmen einer konstanten Stromerzeugungsmenge und steigenden Nettoexporten davon aus, dass die Reduktion des Bruttostromverbrauchs in vollem Umfang zu einer Reduktion der fossilen Stromerzeugung führen würde, würde dies (je nach Emissionsintensität der Stromexporte) zu einer Reduktion der gesamten THG-Emissionen um rund 30 bis 50 Mio. t CO₂ führen. Dies ist gleichzusetzen mit einer um 2,5 bis 4 % höheren Zielerreichung. Dabei besteht eine wesentliche Unsicherheit wiederum in der Höhe der Energie- und CO₂-Preise und der Frage, welche Kraftwerke verdrängt werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die derzeitige Entwicklung der CO₂- und Energiepreise keine grundlegenden Änderungen der Preisstrukturen im Strommarkt (im Hinblick auf die Exportbilanz) erwarten lässt und somit mit Blick auf das Jahr 2020 kein umfangreicher Rückgang der Nettoexporte in Deutschland erwartet werden kann. Bei einem eher moderaten Rückgang der Nettoexporte im Vergleich zu den bisherigen Rechnungen wäre z.B. bei einem Nettoexport, der im Gegensatz zu den Annahmen in den Berechnungen auf dem Niveau im Jahr 2016 verharret, eine Reduktion der CO₂-Emissionen im Jahr 2020 von rund 10 bis 15 Mio. t CO₂ zu verzeichnen.

Synthese

Die Gesamtbetrachtung der über die Wirkung der Instrumente hinausgehenden Unsicherheiten zeigt eine zusätzliche Spannbreite von höheren bzw. tieferen CO₂-Emissionen in der Größenordnung von rund minus 40 bis plus 35 Mio. t CO₂.

- Im Falle eines höheren Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum für den Zeitraum bis 2020 sowie nur moderat steigende Energiepreise und hohen Nettoexporten werden Mehremissionen von rund 25 bis 35 Mio. t CO₂ abgeschätzt.

Diese ergeben sich aus einer Reihe von Rahmenentwicklungen, die aus heutiger Sicht als im Zeitraum bis 2020 möglich eingeschätzt werden können: dies umfasst einen hohen Wachstumspfad der Wirtschaft (2,2 % BIP-Wachstum p.a.) und eine Bevölkerungszahl von mehr als 84 Mio. im Jahr 2020 (plus rund 15 bis 20 Mio. t), tiefen Energiepreisen (plus 5 bis 10 Mio. t) und weiteren Nettoexporten bzw. geringer Stromerzeugung aus Gaskraftwerken im Vergleich zu den bisherigen Berechnungen (plus 5 Mio. t).

- Ein moderateres Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum unterhalb der bisherigen Berechnungen, sowie hohe Energiepreise und ein stärker als bisher angenommen steigender CO₂-Preis gemeinsam mit steigenden Steinkohle-Preisen und einem geringeren Stromexport lässt aus heutiger Sicht geringere Emissionen in der Größenordnung von rund 20 bis 40 Mio. t CO₂ erwarten.

Diese ergeben sich aus mehreren Rahmenentwicklungen: einem geringeren Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung in Deutschland von rund 1,5 % BIP-Wachstum p.a. und einer Bevölkerungszahl von rund 83 Mio. im Jahr 2020 (rund minus 5 bis 10 Mio. t) und gleichzeitig höheren Energiepreisen (minus 5 bis 10 Mio. t) sowie der sinkenden Auslastung von Kohlekraftwerken im Vergleich zu Gaskraftwerken und geringeren Nettoexporten am Strommarkt (minus 15 bis 20 Mio. t).

5 Untersuchung einer Flexibilisierung der Steuerungsziele im Hinblick auf 2030

5.1 Einleitung und Vorgehensweise

In der Struktur der Zielarchitektur der Bundesregierung werden Ziele für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr definiert, deren Erreichung Grundlage für die Zielerreichung in den übergeordneten Zielen zu Treibhausgasemissionen, zum Primärenergieverbrauch und zum Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch ist. Für das Jahr 2020 wurden im Energiekonzept der Bundesregierung eine Reihe von spezifischen, quantitativen Sektorzielen definiert. Bei der weiteren mittel- bis langfristigen Ausgestaltung der Zielarchitektur stellt sich die Frage, ob und falls ja in welcher Höhe, Sektorziele für weitere Zeitpunkte festgelegt werden. Dabei besteht ein gewisser Spielraum, da unterschiedlich hohe Zielsetzungen in den Sektoren die Erreichung der übergeordneten Ziele ermöglichen kann.

Die Ziele in den Sektoren können grundsätzlich intrasektoral und intersektoral flexibilisiert werden:

- Im Rahmen einer intrasektoralen Flexibilisierung wird innerhalb der Sektoren die Gewichtung der Ziele zu Energieeffizienz und zum sektoralen Anteil erneuerbarer Energien verändert. Beispielsweise können die Ziele zu den Anteilen erneuerbarer Energien abgeschwächt werden, wenn die Energieeffizienz-Ziele verschärft werden, und umgekehrt.
- Im Rahmen einer intersektoralen Flexibilisierung werden die Ziele zwischen den Sektoren unterschiedlich gewichtet. Beispielsweise kann der Stromsektor ambitioniertere Ziele im Vergleich zu den anderen Sektoren erhalten. Eine verstärkte Sektorkopplung kann zudem einen zusätzlichen Beitrag zur Zielerreichung leisten.

Die Analyse der Flexibilisierung der Sektorziele soll die grundsätzliche Bewertung einer Reihe möglicher Zielsysteme in unterschiedlicher quantitativer Ausgestaltung ermöglichen. Dabei werden als Rahmenbedingung die übergeordneten Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs und zur Steigerung der Anteile erneuerbarer Energien angestrebt. Für eine Bewertung der verschiedenen Zielvorgaben kann eine Reihe von Kriterien herangezogen werden. In der vorliegenden Studie werden die Kriterien Kosteneffizienz und Systemintegration als Leitkriterien der Zielarchitektur der Bundesregierung berücksichtigt. Zudem werden weitere Nebenkriterien definiert, die in die Analysen mit einfließen. Die Analyse der Nebenkriterien wird

mehrheitlich qualitativ durchgeführt. Für die Leitkriterien werden so weit möglich auch quantitative Aussagen angestrebt.

Zu diesem Zweck wurden im Rahmen der Analysen die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Definition der Bewertungskriterien: Die Kriterien zur Bewertung der unterschiedlichen Ausgestaltung der Sektorziele wurden in einem ersten Schritt im Detail definiert und abgegrenzt, um eine eindeutige Grundlage für die folgenden Analysen zu schaffen.
- Identifikation von Flexibilisierungsoptionen: In diesem Schritt wurde eine Reihe von quantitativen Ausprägungen der Sektorziele identifiziert. Dabei werden quantitative Zielsetzungen angestrebt, die zwar aus heutiger Perspektive als möglich eingeschätzt werden, aber auch die Grenzen der zukünftigen Ausgestaltung ausloten, um einen umfassenden Raum an Flexibilisierungsoptionen analysieren zu können. Die Identifizierung der Bandbreiten für die Sektorziele erfolgte auf Basis aktueller Studien und Szenarienrechnungen (siehe Kapitel 5.2).
- Überprüfung der Zielerreichung: Daraufhin wurde in den verschiedenen Flexibilisierungsoptionen die Zielerreichung für die übergeordneten Ziele berechnet. Die Sektorziele wurden daraufhin weiter angepasst, falls eine Abweichung von den übergeordneten Zielen vorliegt. Dabei wurde das Prinzip der Priorisierung Efficiency first – Ausbau direkter erneuerbarer Energien – Sektorkopplung berücksichtigt [BMWi 2016e]. Ergebnis dieses iterativen Vorgehens war die abschließende Festlegung einer Reihe von Flexibilisierungsoptionen mit quantitativen Sektorzielen, die im nächsten Schritt bewertet werden (siehe insbesondere Kapitel 5.2.7).
- Bewertung der Flexibilisierungsoptionen: Zuletzt erfolgte eine Bewertung der Flexibilisierungsoptionen anhand mehrerer Kriterien. Dies umfasst eine mehrheitlich quantitative Bewertung anhand der Leitkriterien Kosteneffizienz und Systemintegration sowie eine mehrheitlich qualitative Bewertung anhand von weiteren Nebenkriterien. Die berücksichtigten Nebenkriterien umfassen die Kriterien Akzeptanz, Langfristigkeit und Restriktionen (siehe Kapitel 5.3 bis 5.5).

In den Analysen im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde der Betrachtungszeitraum auf die Entwicklung bis zum Jahr 2030 ausgeweitet. In den bisherigen Arbeitspaketen wurden im Vergleich dazu vor allem die energie- und klimapolitischen Ziele und die Beiträge der Instrumente zur Erreichung der Ziele im Hinblick auf das Jahr 2020 analysiert. Aufgrund des kurzen Zeitraums bis 2020 und der

damit beschränkten Möglichkeiten zur Flexibilisierung der Ziele für das Jahr 2020 erscheint eine Analyse flexibilisierter Ziele vor allem für den Zeitraum post-2020 relevant. Das Jahr 2030 wurde aus mehreren Gründen ausgewählt:

- Es existieren für dieses Stichjahr eine Reihe von Zwischenzielen auf nationaler und europäischer Ebene (z.B. die sektorspezifischen Ziele des Klimaschutzplans).
- Der Zeitraum bis 2030 scheint aus politischer Perspektive nah genug, um Ziele auf die Sektorebene herunterzubrechen (vgl. den Zeitraum 2010-2020 im Rahmen der Ziele des Energiekonzepts).
- Zudem ist bis zum Jahr 2030 noch kein Energiesystem zu erwarten, das im Vergleich zu heute eine grundsätzlich andere Charakteristik aufweist (wie es zum Beispiel bei einer Ausweitung des Betrachtungszeitraums bis 2050 der Fall wäre).

Damit besteht bis 2030 zwar Flexibilität in der Ausgestaltung der quantitativen Zielwerte des Zielsystems, es muss aber nicht von einer aus heutiger Sicht komplett „neuen Welt“ von Instrumenten, Maßnahmen und Technologien in den verschiedenen Sektoren ausgegangen werden, was die konkrete Festlegung von Sektorzielen deutlich erschweren würde.

5.2 Charakteristika der Flexibilisierungsoptionen

Einen Rahmen für die Flexibilisierung der energiepolitischen Ziele geben die Zielarchitektur und das Energiekonzept der Bundesregierung vor. Für das Jahr 2030 werden auf dieser Basis Sektorziele definiert – falls diese noch nicht vorliegen wie z.B. im Stromsektor. Die Festlegung der im Folgenden diskutierten Bandbreiten für die verschiedenen Sektorziele orientiert sich an aktuellen Studien und Szenarien, die das Jahr 2030 umfassen. Dabei werden insbesondere die Arbeiten zu den Langfristszenarien LFS ([Fraunhofer ISI, Consentec & IFEU 2018] im Auftrag des BMWi, in Arbeit), zum Energiewendeszenario EWS ([Prognos & gws 2018] im Auftrag des BMWi, in Arbeit) und die Einschätzungen der Expertenkommission in der Stellungnahme zum 5. Monitoringbericht berücksichtigt. Bei den Ergebnissen aus den Szenariestudien handelt es sich, falls noch keine Veröffentlichung erfolgt ist, um den Arbeitsstand von Januar 2018.

Die im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Ziele für das Jahr 2030 dienen als Leitplanken für die Flexibilisierungsoptionen. Dabei sind die folgenden Zielvorgaben zu berücksichtigen:

- Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % im Vergleich zu 1990,
- Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch von 30 %,
- Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von mindestens 50 % (wobei aktuell noch höhere Zielsetzungen in Diskussion sind).

Weiterhin lassen sich unter der Annahme einer linearen Fortführung für die Reduktion des Primärenergieverbrauchs und des Bruttostromverbrauchs aus den Zielwerten für 2020 und 2050 mögliche Zielwerte für 2030 ableiten:

- Senkung des Primärenergieverbrauchs um mindestens 30 % im Vergleich zu 2008,
- Senkung des Bruttostromverbrauchs um mindestens 15 % im Vergleich zu 2008,
- Senkung des Endenergieverbrauchs im Verkehr um mindestens 20 % im Vergleich zu 2005.

Aufgrund der Formulierung des Ziels des Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor wird das Sektorziel im Folgenden nur nach oben (> 50 %) flexibilisiert. Für die anderen (übergeordneten) Ziele wird eine Zielerreichung angestrebt und bei Zielverfehlung eine Korrektur der einzelnen Sektorziele durchgeführt.

Daneben existieren mit den Zielen des Klimaschutzplans 2050 weitere Zielvorgaben für das Jahr 2030. Diese sind als THG-Zielvorgaben für verschiedene Sektoren definiert. Für den Bereich der Energieversorgung sind folgende Ziele relevant:

- Senkung der Treibhausgasemissionen in der Energiewirtschaft (ohne Industriekraftwerke) um 62 bis 61 % ggü. 1990,
- Senkung der Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich um 67 bis 66 % ggü. 1990,
- Senkung der Treibhausgasemissionen im Verkehrsbereich um 42 bis 40 % ggü. 1990,

- Senkung der Treibhausgasemissionen in der Industrie (inkl. Prozessemissionen und Industriekraftwerke) um 51 bis 49 % ggü. 1990.

Durch die unterschiedliche sektorale Struktur im Energiekonzept und im Klimaschutzplan sind die Zielvorgaben nur zum Teil direkt vergleichbar. Insbesondere können die Emissionseinsparungen in der Energiewirtschaft, in den Gebäuden und in der Industrie in unterschiedlicher Weise auf die Energieträger Strom und Wärme verteilt werden. Der Klimaschutzplan wird jedoch im Rahmen der Möglichkeiten für die durchgeführten Analysen mitberücksichtigt. Da der Klimaschutzplan wie das Energiekonzept der Bundesregierung eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 anstrebt, sind die unterschiedlichen Vorgaben zumindest auf Ebene der übergeordneten Treibhausgasziele konsistent.

Im Folgenden werden Bandbreiten der Sektorziele auf Basis vorhandener Studien und Szenarien diskutiert. Diese geben den quantitativen Rahmen für die Flexibilisierung der Sektorziele in den folgenden Analysen vor.

5.2.1 Strom

Für die Reduktion des Bruttostromverbrauchs (gegenüber 2008) kann auf Basis der vorliegenden aktuellen Studien und Szenarierechnungen von einer Bandbreite der Ziele von -10 % bis -15 % im Vergleich zu 2008 ausgegangen werden. Im EWS zeigt sich eine Reduktion des gesamten Stromverbrauchs um 10 % während im Basisszenario der LFS eine Reduktion um 15 % erreicht wird. Der interpolierte Wert des Energiekonzepts liegt im Vergleich dazu bei -15 %.

Das Ausmaß der Senkung des gesamten Stromverbrauchs ist dabei von den Annahmen zur Durchdringung von Sektorkopplung, die zusätzlichen Stromverbrauch verursacht, abhängig (wobei insbesondere für Elektromobilität, Wärmepumpen und Power-to-Heat bis 2030 relevante zusätzliche Verbräuche erwartet werden). Beispielsweise spricht sich die Expertenkommission für die Beibehaltung des 2020er Ziels (-10%) für den gesamten Stromverbrauch inklusive neuer Verbraucher aus, um den Bedarf neuer Verbraucher zu berücksichtigen. Da die Sektorkopplungsoptionen im Folgenden nachgelagert betrachtet werden, wird die Bandbreite der Senkung des Stromverbrauchs zunächst ohne neue Stromverbraucher festgesetzt. Für den Bruttostromverbrauch ohne neue Verbraucher wird eine entsprechend nach oben verschobene Bandbreite von -15 % bis -20 % festgelegt. In Kombination mit den untenstehenden Festlegungen für den Umfang der Sektorkopplung entspricht dies einer Bandbreite von ca. -10 % bis -17 % für den Bruttostromverbrauch inklusive neuer Verbraucher.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch liegt in allen Szenarien deutlich über 50 %. Während der Anteil erneuerbarer Energien im Basisszenario der LFS bis 2030 auf 57 % ansteigt, beträgt der Anteil im EWS rund 60 %. Die Expertenkommission schlägt als Ziel für das Jahr 2030 ebenfalls einen Anteil von 60 % vor. Im Rahmen der aktuellen Sondierungsgespräche wird auch eine Erhöhung auf 65 % diskutiert. Das Energiekonzept geht im Vergleich dazu von einem Anteil von genau 50 % aus. Insgesamt kann aus den vorliegenden Zahlen eine Bandbreite von rund 50 % bis 65 % abgeleitet werden. Falls eine Zielerreichung für die übergeordneten Ziele auf Basis der sonstigen Ziele jedoch nicht gewährleistet werden kann, wird dieses Ziel in Einzelfällen weiter angepasst. Diese Zielsetzung spiegelt auch die für 2020 erwartbare Erfüllung des Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor wider.

5.2.2 Wärme

In der Zielarchitektur bezieht sich das Effizienzziel für Wärme ausschließlich auf den Gebäudebereich und beinhaltet zudem bestimmte Gebäudestromverbraucher. Dies ist in Bezug auf eine Effizienzstrategie für Gebäude sinnvoll. Für die Analyse der aggregierten Wirkungen der sektoralen Ziele auf die übergeordneten Ziele ist dies jedoch nicht zielführend, weil zum einen eine Doppelzählung beim Stromverbrauch erfolgt und zum anderen der Prozesswärmeverbrauch der Industrie nicht adressiert wird. Für letztere müssen in einer Gesamtbetrachtung dann Zusatzannahmen getroffen werden. Deshalb schlägt auch die Expertenkommission in der Stellungnahme zum 5. Monitoringbericht vor, das Effizienzziel im Jahr 2030 auf den Bedarf an Wärme insgesamt auszudehnen. Aus den genannten Gründen wird dieser Ansatz auch hier verfolgt und die Bandbreite an Zielvorgaben für den gesamten Endenergieverbrauch an Wärme definiert. Weiterhin erfolgt hier zunächst eine Betrachtung abzüglich der strombasierten Wärmebereitstellung, welche unten unter Sektorkopplung Strom-Wärme separat adressiert wird.

Für die Reduktion des Wärmeverbrauchs (ohne Stromverbraucher) wird auf Basis der bestehenden Studien bis zum Jahr eine Bandbreite der Zielvorgabe von -20 % bis -35 % im Vergleich zu 2008 festgelegt. Die LFS und das EWS liegen dabei in einer ähnlichen Größenordnung mit einer Reduktion um rund 30 %. Die Energieeffizienzstrategie Gebäude kommt nur für den Gebäudebereich inklusive strombasierter Wärmebereitstellung auf einen Zielkorridor von -21 bis -30 %. Der etwas breiter gewählte Zielkorridor dient dabei zur Auslotung möglicher Grenzen von Zielsetzungen.

Für den Anteil erneuerbarer Energien im Wärmesektor wird vorgeschlagen, wie dies in der bisherigen Zieldefinition bereits der Fall

ist, die Sektorkopplung auszuklammern. Damit wird für das Ziel im Wärmesektor nur der Anteil der direkten Nutzung erneuerbarer Energien berücksichtigt. Während die Expertenkommission von einem Anteil von 30 % im Jahr 2030 ausgeht, liegen die Werte im Basisszenario der LFS bei 18 % und im EWS bei 22 % (jeweils inkl. Wärmepumpen). Nur für den Gebäudebereich erstreckt sich der Korridor in der Energieeffizienzstrategie Gebäude von 24 % bis 32 %. Auf Basis dieser Zahlen wird eine Bandbreite von 15 % bis 30% festgelegt, wobei berücksichtigt wird, dass die Nutzung von erneuerbarer Wärme in der Industrie in den Szenarien wegen der wenigen Optionen für Hochtemperatur-Wärme geringer ist als im Gebäudebereich.

5.2.3 Verkehr

Für die Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor wird auf Basis vorliegender Studien von einer Bandbreite der Zielerreichung (ohne Sektorkopplung) von -10 % bis -35 % ausgegangen. Die realisierten Verbräuche in den verschiedenen Literaturquellen unterscheiden sich relativ stark. Während im EWS nur eine Reduktion von -14 % (inkl. Sektorkopplung) erreicht wird, geht das Basisszenario der LFS von einer Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor von -24 % (inkl. Sektorkopplung) aus. Der Zielvorschlag der Expertenkommission liegt mit -35 % noch deutlich höher. Der interpolierte Wert für das Energiekonzept läge bei ca. -20 %. Die untere Grenze der Bandbreite von -10 % entspricht dabei einer Beibehaltung des Ziels für 2020, das aus heutiger Sicht deutlich verfehlt wird.

Für den Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor spielt die Durchdringung von Biokraftstoffen und die indirekte Nutzung erneuerbarer Energien durch Elektrofahrzeuge eine entscheidende Rolle. Die Expertenkommission schlägt als Ziel für 2030 eine Erhöhung des Anteils auf 12 % vor, wobei die Mehrfachanrechnung für bestimmte Energieträger entfallen und beim Einsatz von Strom nur der regenerative Anteil berücksichtigt werden soll. Für das Ziel des Anteils erneuerbarer Energien im Verkehrssektor wird im Rahmen der hier durchgeführten Analysen wie für erneuerbare Wärme die Sektorkopplung zunächst ausgeklammert und dann nachgelagert betrachtet. Damit wird für die Zielvorgabe nur der Anteil der direkten Nutzung erneuerbarer Energien berücksichtigt. Als Bandbreite wird auf Basis der vorliegenden Studien eine Zielvorgabe von 10 % bis 20 % festgelegt. Die Werte für das EWS (18 % ohne Sektorkopplung) und für das Basisszenario der LFS (15 % ohne Sektorkopplung) liegen dabei in einer vergleichbaren Größenordnung. Die untere Grenze von 10 % entspricht in etwa dem Wert der Expertenkommission ohne erneuerbaren Strom, bei Annahme von 6 Mio. Elektrofahrzeugen im Jahr 2030.

5.2.4 Sektorkopplung Strom-Wärme

Sektorkopplung im Wärmebereich ist in weiten Teilen schon heute Realität. Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen in Haushalten sowie Elektrodenkessel in Industrie und Gewerbe decken wesentliche Anteile des Wärmebedarfs ab. Der Kältemarkt ist sogar größtenteils strombasiert. Bei einer weiteren Dekarbonisierung des Energiesystems kann die Strom-Wärme-Kopplung eine deutlich höhere Bedeutung bekommen.⁷ Dies gilt insbesondere auch aufgrund der Restriktionen, die für nicht-fossile Alternativen zu Strom bestehen (z.B. Potenzialgrenzen für Biomasse, Saisonalität von Solarthermie). Im Segment der Hochtemperatur-Prozesswärme sind zudem aufgrund der Temperaturanforderungen wenige Alternativen zur strombasierten Bereitstellung vorhanden.

Als mögliche Sektorkopplungstechnologien existieren mit Strom betriebene Wärmepumpen sowie sonstige direktelektrische Wärmeerzeuger. Langfristig besteht zusätzlich die Option, Strom über die Herstellung synthetischer Brennstoffe (Power-to-Gas, Power-to-Liquid) zu nutzen. Aufgrund der geringen Effizienz der notwendigen Umwandlungsschritte und der relativ hohen Kosten der notwendigen Technologien wird unterstellt, dass diese indirekte Form der Sektorkopplung zumindest für den Zeitraum bis 2030 von untergeordneter Relevanz ist. Dies spiegelt sich auch in den herangezogenen Szenarien wider.

Aktuelle Szenarien gehen von einem zum Teil deutlich steigenden Stromverbrauch im Wärmemarkt bis 2030 aus:

- In den LFS wird im Basisszenario bis 2030 von einer strombasierten Bereitstellung durch Wärmepumpen mit 64 PJ ausgegangen. Zudem enthält das Szenario einen sonstigen direkten Strom-Einsatz im Wärmesektor und eine strombasierte Bereitstellung von Industrie-Prozesswärme von jeweils rund 1 PJ.
- Im EWS wird bis 2030 von einer Durchdringung von Wärmepumpen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in den privaten Haushalten und im GHD-Sektor von rund 100 PJ ausgegangen. Daneben enthält das Szenario einen sonstigen direkten Strom-Einsatz im Wärmesektor von rund 15 PJ.

⁷ Neben dem direkten Stromeinsatz im Wärmemarkt fungieren KWK-Anlagen als wichtiges Bindeglied zwischen den beiden Märkten. Der Fokus der nachfolgenden Analysen liegt jedoch auf dem Verbrauch von Strom im Wärmemarkt.

Für das Jahr 2050 weitet sich die Bandbreite des Stromverbrauchs für Wärmeanwendungen in einer Reihe von aktuell vorliegenden Studien sogar auf ca. 110 PJ bis 1.200 PJ [AEE 2016]⁸. Die Expertenkommission gibt keine Zielwerte für den Umfang an Sektorkopplung in 2030 an, sondern regt eine Auswertung der sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur Flexibilisierung an.

Für das Jahr 2030 wird auf Basis der vorliegenden Studien eine Bandbreite der Elektrifizierung des Wärmesektors von 40 PJ bis 100 PJ angenommen. Dabei lotet die untere Bandbreite den Fall aus, dass ein Ausbau strombasierter Wärme zugunsten von anderen Optionen zurückgestellt wird. Im Hinblick auf 2030 wird aufgrund der bereits aktuell zu beobachtenden dynamischen Entwicklung des Wärmepumpen-Markts im Gebäude-Bereich der Fokus auf diese Technologien gelegt. Aufgrund langer Investitionszyklen und Investitionshemmnissen im Industrie-Sektor wird der Stromeinsatz für Prozesswärme nur in geringerem Ausmaß berücksichtigt.

Die Sektorkopplung im Wärmebereich hat direkte und indirekte Auswirkungen auf die Steuerungsziele. Wie viel Strom für die Wärmeerzeugung bei einer umfassenden Durchdringung von Sektorkopplung benötigt wird, hängt zunächst von der Entwicklung des Wärmebedarfs ab. Die gewählten Bandbreiten für die Senkung des Endenergieverbrauchs beinhalten aus Gründen der methodischen Vorgehensweise keine (neuen) Stromverbraucher. Für die politische Festlegung von Steuerungszielen für die Senkung des Endenergieverbrauchs im Wärme- und Verkehrssektor sollten neue Stromverbraucher jedoch berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere bei einer starken Durchdringung von Sektorkopplung.

Die unterschiedlichen Sektorkopplungstechnologien haben unterschiedlich starke Effekte auf den Stromverbrauch. Wärmepumpen stellen mit einer Einheit Strom je nach Temperaturniveau der Anwendung und der Wärmequelle etwa die zwei- bis fünffache Wärmemenge bereit wie ein gleich groß dimensionierter direktelektrischer Kessel. Zudem arbeiten Wärmepumpen näherungsweise um den Faktor der Jahresarbeitszahl effizienter als Gas-Brennkessel.

Bei einem ambitionierten Ausbau von Wärmepumpen ist noch bis 2020 aufgrund der hohen CO₂-Intensität der Stromerzeugung kein Beitrag zum Klimaschutz zu erwarten. In weiterer Folge werden je nach Höhe der CO₂-Intensität der Stromerzeugung sowie der Flexibilität im Betrieb deutliche CO₂-Minderungseffekte erreicht [vgl. ISI, DLR, IFAM 2014]. Damit ist die Synchronisierung des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Ausbau der Sektorkopplung im

⁸ Die Studienergebnisse sind allerdings nur beschränkt vergleichbar, da in manchen Studien nur Teilausschnitte des Wärme- und Kältemarktes (z.B. Fokus auf Raumwärme) modelliert wurden.

Wärmesektor, insbesondere bei einer starken Durchdringung von Sektorkopplung, von entscheidender Bedeutung.

5.2.5 Sektorkopplung Strom-Verkehr

Elektrofahrzeuge besitzen aufgrund des rund dreimal höheren Wirkungsgrades von Elektromotoren Effizienzvorteile gegenüber konventionellen Benzin- und Dieselmotoren. Damit besteht das Potenzial, die Emissionen von CO₂ (und sonstigen Schadstoffen) im Verkehrssektor durch höhere Anteile von Elektrofahrzeugen zu reduzieren. Voraussetzung dafür sind entsprechend geringe CO₂-Emissionen der Stromerzeugung.

Der Energieträgereinsatz in Deutschland ist gegenwärtig je nach Verkehrszweig sehr unterschiedlich. Auch das Potenzial zum Einsatz alternativer Energieträger ist maßgeblich vom Verkehrszweig abhängig.

- Aufgrund des hohen Energieverbrauchs beim motorisierten Individualverkehr (Pkw und motorisierte Zweiräder) und des Potenzials der Elektrifizierung liegt im Folgenden der Fokus auf diesen Einsatzmöglichkeiten.
- Beim Schienenverkehr ist darüber hinaus ein weiterer Ausbau elektrifizierter Strecken möglich (ca. 60% der Strecken sind heute elektrifiziert, was jedoch einem weit höheren Anteil der gefahrenen Streckenkilometer entspricht). Während der Personenfernverkehr nahezu vollständig elektrifiziert ist, können die Anteile im Nah- und Güterverkehr erhöht werden.
- Bei den Verkehrsträgern Luft und Wasser besteht ein Potenzial zum Einsatz von biogenen oder synthetischen (strombasierten) Kraftstoffen, jedoch sind, insbesondere für den Zeitraum bis 2030, keine Nutzungsmöglichkeiten von Strom mit relevanten Anteilen absehbar.

Im Jahr 2020 sollen eine Million und bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge im deutschen Pkw-Bestand gemeldet sein, so die ursprünglichen Ziele der Bundesregierung. Anfang 2017 waren in Deutschland 34 Tsd. Pkw mit reinem Elektroantrieb zugelassen. Hinzu kommen Hybridfahrzeuge, welche von außen beladen werden können (Plug-In-Hybride) und gemäß Ziel der Bundesregierung auch zu Elektrofahrzeugen gezählt werden, mit einem Bestand von rund 21 Tsd. Fahrzeugen [KBA 2016, FZ13].

Aktuelle Szenarienrechnungen zeigen unterschiedliche Durchdringungsraten von Elektrofahrzeugen bis 2030:

- Im Basisszenario des LFS beträgt der Endenergieverbrauch durch Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr 44 PJ im Jahr 2030. Hinzu kommt ein Stromverbrauch für Schienenverkehr und Güterverkehr von 52 PJ.
- Im EWS beträgt der Stromverbrauch für Elektromobilität im Jahr 2030 40 PJ. Hinzu kommt ein Verbrauch im Schienenverkehr und Güterverkehr von rund 43 PJ.

Die Expertenkommission gibt auch für den Verkehrsbereich keine Zielwerte für den Umfang an Sektorkopplung im Jahr 2030 an. Würde die komplette Pkw-Fahrleistung (rund 625 Mrd. Fahrzeugkilometer) mit batterieelektrischen Fahrzeugen geleistet, würde der Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen auf rund 450 PJ ansteigen, was mehr als 20% des heutigen Stromverbrauchs ausmacht.

Alternativ zum direkten Einsatz von Strom in Elektro-Pkw (oder auch Oberleitungs-Lkw), kann wie bereits erwähnt langfristig auch die indirekte Nutzung von Strom für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe relevant werden. Gegenwärtig wird die Nutzung dieser Kraftstoffe als weitere Möglichkeit zur (bilanziell) kohlenstofffreien Bereitstellung von Energie im Verkehrssektor diskutiert. Jedoch gilt für alle strombasierten Kraftstoffe, dass ihre Herstellung und Nutzung mit hohen Energieverlusten verbunden sind und hohe Kosten aufweist. Daher verfügt der direkte Einsatz von Strom zumindest im Zeitraum bis 2030 über deutliche Vorteile.

Für das Jahr 2030 wird zur Auslotung der Grenzen von Sektorkopplung über die vorliegenden Szenarien hinaus eine Bandbreite der Elektrifizierung des Verkehrssektors von 25 PJ bis 90 PJ angenommen (exklusive des Schienenverkehrs). Im Hinblick auf 2030 wird aufgrund der Restriktionen der notwendigen Infrastruktur für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs (Oberleitungs-Lkws) und einer weiteren Elektrifizierung des heute bestehenden Schienenverkehrs der Schwerpunkt der Entwicklung im Bereich von Elektrofahrzeugen im motorisierten Individualverkehr unterstellt. Die obere Bandbreite spiegelt die Möglichkeit einer ambitionierten Elektrifizierung des Verkehrssektors wider. Die hohe Elektrifizierung wird insbesondere herangezogen, um eine geringe Reduktion des Verbrauchs im Verkehrssektor (die auch bisher zu beobachten ist) zu kompensieren.

Eine verstärkte Elektrifizierung des Verkehrs kann nur parallel zu einem hohen Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung erfolgen. Ansonsten sind die Wirkungsgradverluste im Stromsektor und die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung zu hoch und kompensieren die Wirkungsgradgewinne des Elektromotors gegenüber fossiler Verbrennungsmotoren. Wird ein aktueller Strommix für Deutschland mit durchschnittlich ca. 500g CO₂/kWh angesetzt, sind die Emissionen des Elektro-Pkw vergleichbar mit herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Damit spielt die

Synchronisierung der Durchdringung von Elektro-Pkw mit dem Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor eine entscheidende Rolle.

Eine Erreichung des Reduktionsziels für den Bruttostromverbrauch (wie derzeit in der Zielarchitektur verankert) ist bei einer umfassenden Elektrifizierung des Verkehrs in Frage gestellt. Deshalb wird im vorliegenden Vorschlag zu den Sektorzielen im Jahr 2030 ein Ziel für den Stromverbrauch angestrebt, das die neuen Stromverbraucher nicht umfasst (vgl. die Ausführungen für den Wärmesektor). Darüber hinaus kann mit einem hohen Anteil von Elektrofahrzeugen der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor aufgrund der Effizienzvorteile des Elektromotors deutlich gesenkt werden.

In der Festlegung der Bandbreiten für die Flexibilisierung der Sektorziele werden aus Vereinfachungsgründen Ziele zur Senkung des Endenergieverbrauchs ohne neue Stromverbraucher definiert. Für die Festlegung von Sektorzielen ist jedoch eine Zieldefinition anzustreben, die neue Stromverbraucher mitberücksichtigt. Dies ist vor allem bei einer hohen Durchdringung von Elektromobilität relevant.

5.2.6 Beschreibung der ausgewählten Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030

Auf Basis der in Kapitel 5.2.1 bis 5.2.5 beschriebenen mittel- bis langfristigen Entwicklungstrends und der Prämisse einer Analyse von intersektoralen und intrasektoralen Flexibilisierung der Sektorziele werden Flexibilisierungsoptionen für die Sektorziele identifiziert. Dabei werden die Erkenntnisse zur Zielerreichung im Jahr 2020 aus Kapitel 4 berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere die dynamische Entwicklung der erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmesektor bis 2020. Aus heutiger Perspektive ist zudem davon auszugehen, dass der Stromsektor in jedem Fall in der Transformation des Energiesystems für eine verstärkte Sektorkopplung eine wichtige Rolle spielt. Daher wird in den intersektoralen Flexibilisierungsoptionen die Unterstützung durch eine Kopplung der Sektoren Strom-Wärme und Strom-Verkehr unterstellt.

Die Flexibilisierungsoptionen besitzen im Hinblick auf die Sektorziele die folgenden grundlegenden Charakteristika:

- Referenz: die Referenz-Variante ist am Energiekonzept 2010 angelehnt, wobei in der Referenz der Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor nach oben hin angepasst wird. Zudem wird die aktuelle Energieeffizienzstrategie Gebäude in der Festlegung der Ziele mitberücksichtigt.
- Flex 1 (EE hoch): In allen Sektoren werden hohe Anteile erneuerbarer Energien angestrebt. Die Effizienzziele sind

hingegen tief gesetzt (womit die Erreichung des übergeordneten Ziels zur Senkung des Primärenergieverbrauchs nur schwer erreichbar ist). Für die Sektorkopplung wird nur eine geringe Durchdringung angesetzt.

- Flex 2 (Effizienz hoch): In allen Sektoren wird nur eine geringe Durchdringung erneuerbarer Energien angestrebt (womit das übergeordnete Ziel des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch nur schwer erreichbar ist). Die Effizienzziele sind hingegen hoch gesetzt. Für die Sektorkopplung wird nur eine geringe Durchdringung angesetzt.
- Flex 3 (Fokus Strom): Der Fokus der energiepolitischen Zielsetzungen liegt auf dem Stromsektor, wobei ein hoher Ausbau erneuerbarer Energien und gleichzeitig eine hohe Effizienz im Stromverbrauch angestrebt wird. Dabei erfolgt eine Unterstützung des Stromsektors durch moderate Effizienz- und EE-Ziele in den weiteren Sektoren. Die Sektorkopplung im Wärme- und Verkehrssektor ist jeweils ebenfalls moderat.
- Flex 4 (Fokus Strom+): Der Fokus der energiepolitischen Zielsetzungen liegt noch stärker als in Flex 3 auf dem Stromsektor. In den anderen Sektoren werden nur geringe Zielsetzungen angestrebt. Für die Sektorkopplung wird hingegen jeweils eine hohe Durchdringung unterstellt, um die hohen Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor in den anderen Sektoren nutzbar zu machen.
- Flex 5 (Fokus Wärme/Strom): Bei Strom und Wärme werden sowohl hohe Verbrauchsreduktionen als auch eine hohe Durchdringung von erneuerbaren Energien angestrebt, wobei die Kopplung zwischen beiden Sektoren gering ist. Für den Verkehrssektor werden nur geringe sektorspezifische Ziele angestrebt. Dies wird durch eine hohe Sektorkopplung von Strom zu Verkehr kompensiert.
- Flex 6 (Fokus Verkehr/Strom): Bei Strom und Verkehr werden sowohl hohe Verbrauchsreduktionen als auch eine hohe Durchdringung von erneuerbaren Energien angestrebt, wobei die Kopplung zwischen beiden Sektoren gering ist. Für den Wärmesektor werden nur geringe sektorspezifische Ziele angestrebt. Dies wird durch eine hohe Sektorkopplung von Strom zu Wärme kompensiert.

Abbildung 25 veranschaulicht die grundsätzlichen Ausprägungen der Flexibilisierungsoptionen. Neben den beschriebenen Optionen werden zwei weitere Ausprägungen der Zielsysteme mitberücksichtigt: Die ursprünglichen Ziele des Energiekonzepts (d.h. die Basis für die dargestellte Referenzentwicklung) werden

nachrichtlich zum Vergleich mitgeführt, aber nicht im Detail analysiert. Dasselbe gilt für die Empfehlungen der Expertenkommission zu den energiepolitischen Zielen für das Jahr 2030.

Abbildung 25: Charakteristika der Optionen für die Flexibilisierung der sektoralen Ziele im Jahr 2030

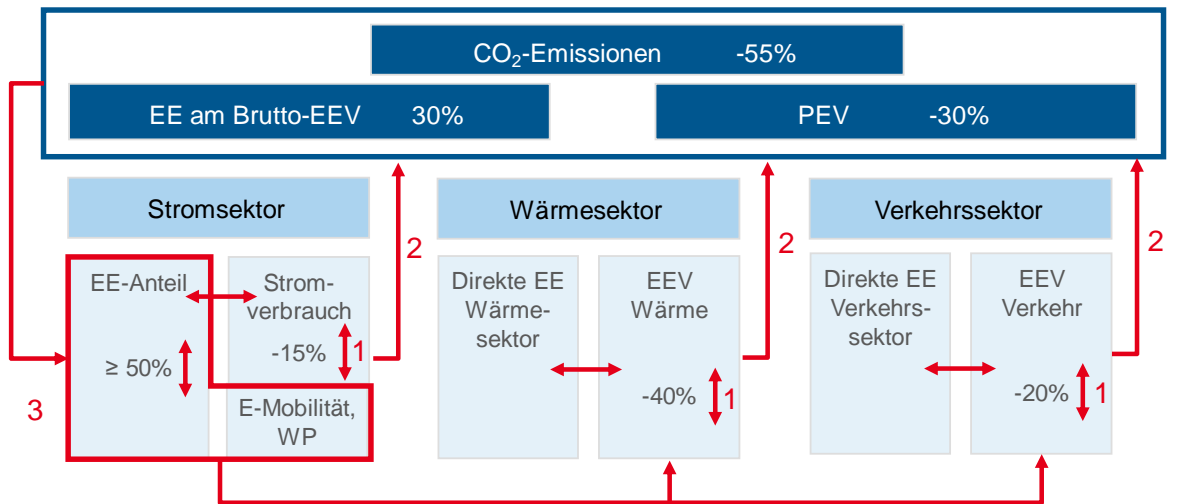
Bezeichnung Flexibilisierungsoption	Ausprägungen							
	Eff Strom	EE Strom	Eff Wärme	Direkt-EE Wärme	Eff Verkehr	Direkt-EE Verkehr	SK Verkehr	SK Wärme
Referenz*	tief	hoch	moderat	moderat	moderat	tief	moderat	moderat
Flex 1: EE hoch	tief	hoch	tief	moderat	tief	hoch	tief	tief
Flex 2: Eff hoch	hoch	tief	hoch	hoch	hoch	tief	tief	tief
Flex 3: Fokus Strom	hoch	hoch	moderat	moderat	moderat	tief	moderat	moderat
Flex 4: Fokus Strom+	hoch	hoch	tief	moderat	tief	tief	hoch	hoch
Flex 5: Fokus Wärme/Strom	tief	hoch	hoch	hoch	tief	tief	hoch	tief
Flex 6: Fokus Verkehr/Strom	tief	hoch	tief	tief	hoch	hoch	tief	hoch
		variabel					variabel	variabel

*Referenz: Referenzwerte auf Basis des Energiekonzepts 2010 für 2030 unter Berücksichtigung neuer strategischer Zielsetzungen (z.B. Effizienzstrategie Gebäude und EEG)

Quelle: eigene Darstellung

In einem weiteren Schritt werden quantitative Vorgaben für die Sektorziele in den identifizierten Flexibilisierungsoptionen gesetzt. Darauf aufbauend wird die Zielerreichung in den übergeordneten Zielen (Treibhausgasemissionen, Anteil erneuerbarer Energien, Primärenergieverbrauch) überprüft. Dabei wird als Rahmen für die Anpassung der Sektorziele der sogenannte Dreiklang der Energiewende (Efficiency first – Direkte Nutzung erneuerbarer Energien – Sektorkopplung) herangezogen [BMWi 2016e]. Abbildung 26 fasst die Vorgehensweise bei der Berechnung der Zielerreichung für die Flexibilisierungsoptionen zusammen.

Abbildung 26: Vorgehen zur quantitativen Bestimmung der Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030



Quelle: eigene Darstellung

Wie Abbildung 26 zeigt, wird für die Festlegung der Sektorziele in drei Schritten vorgegangen:

- Zuerst werden die Ziele für Energieeffizienz und für die direkte Nutzung erneuerbarer Energien gemäß den identifizierten Bandbreiten und der grundlegenden Charakteristika der Flexibilisierungsoptionen in Abbildung 25 festgelegt.
- In einem zweiten Schritt wird die Zielerreichung für die übergeordneten Ziele unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 identifizierten Wechselwirkungen zwischen den Sektoren überprüft. Für die übergeordneten Ziele erfolgt eine Abschätzung der Wirkungen im Stromsektor. Die dafür verwendeten Primärenergiefaktoren und CO₂-Faktoren entsprechen den Werten in Tabelle 25 und 26 und berücksichtigen Unsicherheiten der Wirkung am Strommarkt (vgl. Box 3). Dazu werden Ausgangswerte für die Sektorkopplung und für die Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor gesetzt.
- Bei einer relevanten Unterschreitung der angestrebten übergeordneten Ziele werden in einem weiteren Schritt das Ausmaß an Sektorkopplung und die Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor weiter angepasst, bis die angestrebte Zielerreichung in den übergeordneten Zielen gewährleistet ist.

Um die Rolle der Sektorziele für die übergeordneten Ziele transparent darzustellen, werden im Rahmen der hier durchgeführten Analysen keine weiteren Vorgaben im Bereich des

Umwandlungssektors (z.B. eine wesentliche Erhöhung der CO₂-Preise) unterstellt. Das übergeordnete Ziel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (minus 55 % im Vergleich zu 1990) wäre in diesem Fall jedoch nur mit Sektorzielen möglich, die deutlich außerhalb der aus aktuellen Szenarienstudien resultierenden Spannbreiten liegen (vgl. Kapitel 5.2.7). Daher wird das angestrebte Ziel bzw. die Lücke zum Ziel auf rund 5 % gesetzt, um die Flexibilisierungsoptionen vergleichbar zu machen (vgl. auch Kapitel 5.2.7).

Ergebnis des Vorgehens ist die Bestimmung quantitativer Sektorziele, die eine Erreichung der angestrebten übergeordneten Ziele ermöglichen (wobei wie angesprochen zusätzlich eine Schließung der Lücke beim Treibhausgasziel durch Maßnahmen im Umwandlungssektor notwendig ist). Damit werden mehrere Zielsysteme identifiziert, die hinsichtlich der übergeordneten Zielerreichung vergleichbar sind, sich jedoch in der quantitativen Ausprägung der Sektorziele unterscheiden.

5.2.7 Zielerreichung im Rahmen der Flexibilisierungsoptionen

Tabelle 28 zeigt das Ergebnis der quantitativen Ziele für die verschiedenen Sektorziele in den Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030.

Tabelle 28: Flexibilisierungsoptionen der Sektorziele für 2030

Bezeichnung Flexibilisierungsoption	Ausprägungen							
	Eff Strom	EE Strom	Eff Wärme	Direkt-EE Wärme	Eff Verkehr	Direkt-EE Verkehr	SK Verkehr	SK Wärme
E-Konzept 2050 BReg	-15%	50%	-30%	25%	-20%	12%	n/a	n/a
Referenz	-15%	60%	-30%	25%	-20%	10%	50 PJ	70 PJ
Flex 1: EE hoch	-15%	65%	-20%	30%	-10%	20%	25 PJ	40 PJ
Flex 2: Eff hoch	-20%	51%	-35%	25%	-35%	10%	25 PJ	40 PJ
Flex 3: Fokus Strom	-20%	60%	-30%	25%	-20%	10%	60 PJ	70 PJ
Flex 4: Fokus Strom+	-20%	73%	-25%	15%	-10%	10%	85 PJ	90 PJ
Flex 5: Fokus Wärme/Strom	-15%	58%	-35%	30%	-10%	10%	90 PJ	40 PJ
Flex 6: Fokus Verkehr/Strom	-15%	64%	-20%	15%	-35%	20%	25 PJ	100 PJ
Vgl. Expertenkommission*	-10%	60%	-30%	30%	-35%	12%	n/a	n/a

* Werte der Expertenkommission schließen abweichend von den anderen Zeilen neue Stromverbraucher mit ein, Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 28 zeigt, dass für die Zielerreichung in den übergeordneten Zielen bei den gesetzten Sektorzielen teilweise eine deutliche Erhöhung der Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor (EE

Strom) und eine Anpassung der Sektorkopplung (SK Verkehr und SK Wärme) notwendig ist. Die Anteile erneuerbarer Energien liegen in allen Flexibilisierungsoptionen deutlich über den 50%, die im Energiekonzept als untere Grenze für den Zielwert vorgegeben werden. Wenn die Ziele über eine ambitionierte Durchdringung von Sektorkopplung erreicht werden sollen, liegen die Werte mit 100 PJ im Wärmesektor bzw. 90 PJ im Verkehrssektor auf einem aus heutiger Sicht sehr ambitionierten Niveau.

Tabelle 29 zeigt die Zielerreichung für die übergeordneten Ziele in den verschiedenen Flexibilisierungsoptionen.

Tabelle 29: Zielerreichung für die übergeordneten Ziele in den Flexibilisierungsoptionen für das Jahr 2030

Übergeordnete Ziele		Ausprägungen							
		E-Konzept BReg	Ref	Flex 1	Flex 2	Flex 3	Flex 4	Flex 5	Flex 6
Kernziele	PEV	28.2%	30.3%	25.0%	34.6%	29.9%	28.9%	30.7%	29.9%
	EE-Anteil am BEEV	28.7%	32.6%	36.9%	29.6%	31.5%	30.6%	32.6%	31.8%
Politisches Ziel	THG-Emissionen (auf Basis der Sektorziele)	44.2%	50.3%	50.1%	50.3%	50.0%	49.7%	49.8%	50.0%
	THG-Emissionen (Zielwerte)	-55%	-55%	-55%	-55%	-55%	-55%	-55%	-55%

Quelle: eigene Darstellung

Mit den gesetzten Sektorzielen in den verschiedenen Flexibilisierungsoptionen wird zwar das Primärenergieziel und das Ziel zum Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch (mehrheitlich) erreicht. Das übergeordnete Ziel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (minus 55 % im Vergleich zu 1990) wird jedoch (ohne weitere Maßnahmen im Umwandlungssektor) in allen Flexibilisierungsoptionen mit den getroffenen Annahmen und Setzungen zum Verdrängungsstrommix um rund 5 % verfehlt. Wie in Kapitel 5.2.6 dargestellt dient die Festlegung der Lücke von 5 % vor allem dazu, die verschiedenen Flexibilisierungsoptionen vergleichbar zu machen.

Eine Schließung der Lücke muss durch weitere Maßnahmen im Umwandlungssektor (bzw. durch eine Verstärkung bestehender Maßnahmen) sichergestellt werden. Diese Notwendigkeit zeigt sich auch in der aktuellen Diskussion zur Zielerreichung im Jahr 2020 (vgl. Kapitel 4.3). Ein erheblicher Teil der verbleibenden Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 stammt aus der fossilen Stromerzeugung. Diese wird je nach Entwicklung der Energie- und

CO₂-Preise nur begrenzt durch die Sektorziele und sektorale Maßnahmen im Stromsektor beeinflusst. Für die hier dargestellten Flexibilisierungsoptionen wird bis zum Jahr 2030 nur eine moderate Erhöhung des CO₂-Preises angenommen⁹, die insbesondere nicht ausreicht, damit Braunkohlekraftwerke in relevantem Ausmaß marktgetrieben außer Betrieb genommen werden.

Dadurch wird deutlich, dass die Erreichung der definierten Sektorziele durch eine Reihe von sektorspezifischen Instrumenten und Maßnahmen nicht ausreicht, um das übergeordnete Treibhausgasziel zu erreichen. Vielmehr braucht es darüber hinaus weitere übergeordnete Instrumente, welche den Umwandlungssektor und insbesondere den Stromsektor adressieren. Nur dann kann der notwendige Beitrag aus dem Umwandlungssektor realisiert werden, um das Treibhausgasziel zu erreichen.

Insgesamt ergeben sich für die verschiedenen Flexibilisierungsoptionen die folgenden Ausprägungen:

- Referenz: die Abweichung einzelner Sektorziele von den im Energiekonzept formulierten Zielen zeigt, dass einzelne Anpassungen notwendig sind, damit aus heutiger Sicht durch die Zielsetzungen im Energiekonzept eine Anstrengung der übergeordneten Ziele möglich ist. Dies betrifft insbesondere den Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor, der auf über 60 % gesetzt wird. In diesem Ziel wurde jedoch bereits im Energiekonzept der Bundesregierung, mit der Zielvorgabe, Anteile von mindestens 50 % erneuerbare Energien anzustreben, eine gewisse Flexibilität geschaffen. Durch moderate Sektorkopplung in der Referenz (50 PJ im Verkehrssektor und 70 PJ im Wärmesektor) werden die hohen Anteile erneuerbarer Energien auch für die anderen Sektoren nutzbar.
- Flex 1 (EE hoch): bei wenig ambitionierten Zielen für Energieeffizienz ist ein sehr hoher Ausbau erneuerbarer Energien notwendig. Der Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor liegt im Jahr 2030 bei 65 %, während die Anteile des direkten Einsatzes erneuerbarer Energien im Wärme- bzw. Verkehrssektor bei 30 % bzw. 20 % liegen, was aus heutiger Perspektive sehr hohe Zielwerte sind. Die Mengen erneuerbarer Energien sind aufgrund der anteiligen Formulierung der Ziele absolut gesehen beträchtlich.
- Flex 2 (Effizienz hoch): wenig ambitionierte Ziele für die Anteile erneuerbarer Energien haben sehr hohe Energieeffizienz-Ziele zur Folge. Für die Erreichung der Ziele ist eine

⁹ Im EWS [Prognos & GWS 2018] wird im Vergleich dazu ein Anstieg des CO₂-Preises vom heutigen Niveau auf 10 €/EUA in 2020 und 35 €/EUA in 2030 angenommen. Ein deutlicher Rückgang der Stromerzeugung aus Braunkohlekraftwerken ist bei diesen Preisen (in Abhängigkeit von der Entwicklung der weiteren Energiepreise) nicht zu erwarten.

Absenkung des Endenergieverbrauchs im Wärme- und Verkehrssektor von jeweils 35 % ggü. dem Referenzjahr notwendig, was nach heutigem Stand als sehr ambitioniert anzusehen ist.

- Flex 3 (Fokus Strom): wenn der Fokus vor allem auf den Stromsektor, verbunden mit einer verstärkten Sektorkopplung, gelegt wird, können die Ziele in den sonstigen Sektoren tiefer ausfallen. Durch die Unterstützung des Stromsektors mit moderaten Zielen für Effizienz und die Nutzung direkter erneuerbarer Energien im Wärme- und Verkehrssektor ist der Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor zwar ambitioniert, mit 63 % aber nur geringfügig höher als in der Referenz.
- Flex 4 (Fokus Strom+): wenn der Fokus noch stärker auf den Stromsektor und eine verstärkte Sektorkopplung gelegt wird, ist hingegen ein massiver Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung (auf 73 % des Bruttostromverbrauchs) bis 2030 notwendig. Zudem sind sehr hohe Durchdringungsraten für Sektorkopplung notwendig, um die erneuerbaren Energien aus dem Stromsektor in den anderen Sektoren nutzbar zu machen.
- Flex 5 (Fokus Wärme/Strom): wird für die sektorspezifischen Ziele vor allem auf den Wärmesektor fokussiert, sind die notwendigen Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor mit 58 % vergleichbar mit der Referenz. Durch die tiefen Ziele für Effizienz und erneuerbare Energien im Verkehrssektor ist jedoch eine sehr ambitionierte Durchdringung von Sektorkopplung im Verkehrssektor (90 PJ) notwendig, um die übergeordneten Ziele zu erreichen.
- Flex 6 (Fokus Verkehr/Strom): wird für die sektorspezifischen Ziele vor allem auf den Verkehrssektor fokussiert, sind die notwendigen Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor mit 64 % etwas höher als in der Referenz. Durch die tiefen Ziele für Effizienz und erneuerbare Energien im Wärmesektor ist jedoch eine ambitionierte Durchdringung von Sektorkopplung im Wärmesektor (100 PJ) notwendig, um die übergeordneten Ziele zu erreichen.

5.3 Bewertung der Ziele nach dem Kriterium Kosteneffizienz

Für eine Bewertung nach dem Kriterium der Kosteneffizienz stellt sich zunächst die Frage, wie eine Bewertung auf Zielebene aussehen kann. Dabei gilt es zu beachten, dass die langfristigen Kernziele und insbesondere das politische Ziel einer Treibhausgasreduktion um 80 bis 95 % bis 2050 nur zu erreichen sind, wenn das gesamte Energiesystem weitestgehend dekarbonisiert wird. Die volkswirtschaftlichen Kosten sollten dabei durch Wahl der kosteneffizientesten Optionen innerhalb jedes Sektors möglichst geringgehalten werden. Hier spielt das Verhältnis zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Reduktion des Endenergieverbrauchs eine wesentliche Rolle. Dabei sind zumindest bis ca. 2030 Spielräume für Gewichtsverlagerungen zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energien und Effizienzsteigerungen gegeben (vgl. [Wachsmuth et al. 2015]). Eine sektorübergreifende Betrachtung sollte wegen der notwendigen Dekarbonisierung aller Sektoren unter dem Gesichtspunkt einer kosteneffizienten Systemintegration erfolgen. (vgl. dazu auch Kapitel 5.4).

5.3.1 Methodik

Der Begriff „Kosteneffizienz“ wird in verschiedenen Zusammenhängen unterschiedlich gebraucht, so dass es vor einer Beschreibung der Methodik einer begrifflichen Klarstellung bedarf.

In einigen Evaluationen von Politikinstrumenten erfolgen Kostenbetrachtungen auf Basis der jeweiligen Administrations- und Programmkosten und eines abgeleiteten Förderhebels, welcher das Verhältnis der ausgelösten Investitionen zu den Programmkosten beschreibt. Diese Kostenkonzepte sind für bestimmte Typen von Instrumenten wie ordnungsrechtliche Instrumente nur sehr bedingt relevant. Außerdem hängen sie von der konkreten Ausgestaltung der Instrumente ab. Insofern sind sie für die vorgesehene Bewertung der ausgewählten Flexibilisierungsoptionen für die Steuerungsziele im Jahr 2030 weniger geeignet. Die Ergebnisse vorliegender Evaluationen zu Programm- und Administrationskosten werden nachrichtlich in Anhang 3 dargestellt.

Im Klimaschutzkontext ist der Begriff der Kosteneffizienz hingegen eng verbunden mit den spezifischen Vermeidungskosten für Treibhausgasemissionen. Diese werden per Definition als das Verhältnis von annuitätischen Differenzkosten im Energiesystem (oder einem Teil davon, wie z.B. einem Sektor) zwischen einer Option zur Vermeidung von Treibhausgasen und einer zugehörigen Referenzentwicklung/-technologie zu den jeweiligen Treibhausgaseinsparungen bestimmt. Diese Differenzkosten enthalten dabei sowohl die Differenz der annuisierten Investitionen zwischen der umgesetzten Klimaschutzoption und der Referenzentwicklung als auch

die Differenz der Betriebs- und Wartungskosten inklusive der Kosten des jeweiligen Energiebedarfs. In diesem Zusammenhang ist zu unterscheiden zwischen einer volkswirtschaftlichen und einer einzelwirtschaftlichen Perspektive, was sich zum einen in der für die Investitionsvolumina anzusetzenden Diskontraten und Abschreibungszeiträume ausdrückt und zum anderen darin, ob die relevanten Steuern und Abgaben berücksichtigt werden.

Aus dem Blickwinkel der Politik ist zunächst die volkswirtschaftliche Perspektive die relevantere, um möglichst kosteneffiziente Klimaschutzoption zu identifizieren. Die einzelwirtschaftliche Perspektive ist nachgelagert von Bedeutung, um zu prüfen unter welcher Setzung von Rahmenbedingungen einzelwirtschaftliche Akteure die volkswirtschaftlich kosteneffizienten Optionen ergreifen. Die Vermeidungskosten umfassen allerdings nur die marginalen Kosten, die direkt bei den jeweiligen Akteuren entstehen. Sich daraus ergebende nachgelagerte gesamtwirtschaftliche Effekte beispielsweise auf Arbeitsplätze und BIP-Entwicklung erfordern eine umfassende Analyse der Auswirkungen unter Einbezug der wirtschaftlichen Gesamtzusammenhänge, was im Rahmen der hier durchgeführten Analysen nicht vorgesehen ist.

Dieses Konzept von marginaler volkswirtschaftlicher Kosteneffizienz lässt sich sowohl auf einzelne Maßnahmen und Instrumente als auch aggregiert auf alle mit der Anpassung eines Steuerungsziels verbundenen Maßnahmen anwenden. Es ist daher grundsätzlich geeignet, um als Kriterium für die Bewertung der Flexibilisierungsoptionen zu dienen. Zu beachten ist hierbei, dass die Bestimmung der Differenzkosten komplex und auch stark von der jeweils gewählten Referenzentwicklung abhängig ist. Im Rahmen dieses Arbeitspakets ist nur ein Rückgriff auf schon vorhandene Abschätzungen der Differenzkosten möglich. Beim Heranziehen von Differenzkosten aus verschiedenen Quellen ist eine sorgsame Betrachtung der jeweiligen Annahmen notwendig. Auch liegen nicht für alle ausgewählten Flexibilisierungsoptionen entsprechende Szenarien vor. Daher können die vorliegenden Studien nur qualitativ auf die skizzierten Flexibilisierungsoptionen bezogen werden.

Im Folgenden wird in vier Schritten vorgegangen:

1. Zunächst werden instrumentenspezifische Ergebnisse zu Vermeidungskosten und/oder Differenzkosten aus bestehenden Evaluationen und Wirkungsabschätzungen ex-post und bis zum Jahr 2020 zusammengetragen.
2. Daran anschließend werden aus Vergleichen bestehender Szenarien ex-ante-Abschätzungen der sektorspezifischen Differenzkosten im Jahr 2030 entnommen.

3. Im dritten Schritt werden daraus Schlussfolgerungen in Bezug auf die Kostenwirkungen der Spannbreiten der Steuerungsziele gezogen.
4. Im letzten Schritt erfolgt dann auf Basis dieser Auswertung eine qualitative Bewertung der ausgewählten Flexibilisierungsoptionen für die Steuerungsziele im Jahr 2030 bezüglich des Kriteriums Kosteneffizienz.

5.3.2 Vorhandene Ergebnisse zur Kosteneffizienz bestehender Instrumente

5.3.2.1 Steigerung der Energieeffizienz

In Bezug auf die Steuerungsziele zur Reduktion der Endenergieverbräuche stellt sich die Datenlage für eine Betrachtung der Differenzkosten für das Energiesystem divers dar. Während die Differenzkosten des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 in der Studie „Wirtschaftliche Bewertung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020“ [PwC 2016] umfangreich untersucht worden sind, sind Informationen zu den weiteren Instrumenten nur in begrenztem Maße verfügbar. Insbesondere liegen für die Ökodesign-Richtlinie, die Energieeinsparverordnung und die CO₂-Strategie PKW, welche aktuell zentrale Instrumente für die Reduktion der Endenergieverbräuche sind, bisher keine Studien zu Differenzkosten vor. Deswegen sind diesbezüglich hier auch keine Aussagen zu den Differenzkosten im Energiesystem und den volkswirtschaftlichen Vermeidungskosten möglich.

In der Studie „Wirtschaftliche Bewertung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020“ [PwC 2016] wurde von moderat steigenden Energiepreisen ausgegangen und eine Diskontrate von 1,5 % angesetzt, was einer an die aktuellen Zinsraten angepassten volkswirtschaftlichen Perspektive entspricht¹⁰. Aggregiert man die dortigen Ergebnisse zu volkswirtschaftlichen Differenzkosten für die energiebezogenen Handlungsfelder des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 (AKP 2020), ergibt sich Folgendes:

- Das Handlungsfeld „Klimaschutz in der Stromerzeugung“ umfasst sowohl die KWKG-Novelle und die Sicherheitsbereitschaft von Braunkohlekraftwerken als auch das mit den 1. Juli-Beschlüssen verabschiedete Energieeffizienzpaket. Aggregiert ergeben sich dafür über die Lebensdauer der Maßnahmen negative Differenzkosten von 41,6 Mrd. EUR und spezifische Einsparungen in Höhe von -113 EUR pro t CO₂-Äquivalent. Dabei entstammen Einsparungen jedoch ausschließlich aus dem Energieeffizienzpaket, während die

¹⁰ In der Studie wurde auch eine Sensitivitätsanalyse für den Fall einer höheren Diskontrate von 3 % durchgeführt. In diesem Fall reduziert sich der Betrag der negativen volkswirtschaftlichen Differenzkosten um ca. ein Drittel.

KWKG-Novelle positive Differenzkosten in Höhe von 8,2 Mrd. EUR aufweist. Auch weisen die Maßnahmen lange Abschreibungszeiträume auf, so dass die Kosteneinsparungen erst längerfristig realisiert werden.

- Das Handlungsfeld „Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (ohne Gebäude und Verkehr)“ umfasst Energieeffizienzinstrumente, die primär auf den Stromverbrauch wirken, darunter die KfW-Energieeffizienzprogramme, die EU Labelling Top- Runner-Initiative und die Energieaudits für Nicht-KMU. Diese weisen mit 51,6 Mrd. EUR an negativen Differenzkosten bis 2020 absolut gesehen die größten Einsparungen auf und mit -186 EUR pro t CO₂-Äquivalent auch hohe spezifische Einsparungen.
- Das Handlungsfeld „Strategie Klimafreundliches Bauen und Wohnen“ enthält vorwiegend Gebäudeeffizienzmaßnahmen mit Fokus auf Wärme, insbesondere die KfW-Gebäudeprogramme, aber mit dem Marktanreizprogramm (MAP) auch ein Instrument mit Fokus auf EE-Wärme. Diese haben aggregiert gesehen mit 6,1 Mrd. EUR an negativen Differenzkosten bis 2020 und mit -38 EUR pro t CO₂-Äquivalent jeweils die geringsten Einsparwirkungen der AKP-Instrumente auf. Der EE-Wärme-Ausbau über das MAP hat hier mit -99 pro t CO₂-Äquivalent relativ gesehen geringere Vermeidungskosten. Zudem haben die zugehörigen Maßnahmen die längsten Abschreibungszeiträume, weswegen Kosteneinsparungen nur sehr langfristig wirksam werden.
- Das Handlungsfeld „Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr“ beinhaltet in erster Linie Effizienzmaßnahmen mit Fokus auf den Treibstoffverbrauch, darunter die Staffelung der Lkw-Maut und die Stärkung von Schienengüterverkehr und ÖPNV, aber mit der Förderung elektrischer und weiterer alternativer Antriebe auch Instrumente, die zusätzlich den EE-Anteil im Verkehr erhöhen. Auch wenn die negativen Differenzkosten mit 37,1 Mrd. EUR bis 2020 absolut gesehen geringer sind als in anderen Handlungsfeldern, sind die spezifischen Einsparungen mit -435 EUR pro t CO₂-Äquivalent bei weitem am höchsten. Die Instrumente zur Förderung elektrischer Antriebe schneiden dabei mit spezifischen Einsparungen von -388 EUR pro t CO₂-Äquivalent unterdurchschnittlich ab.

Die Ergebnisse der Studie „Wirtschaftliche Bewertung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020“ [PwC 2016] und die daraus abgeleiteten Werte sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Tabelle 30: Volkswirtschaftliche Differenz- und Vermeidungskosten der energiebezogenen Handlungsfelder des Aktionsprogramms Klimaschutz

Handlungsfeld	Eingesparte Energiekosten bis 2020 in Mrd. €	Eingesp. Energiekosten über Lebensdauer in Mrd. €	Differenzkosten über Lebensdauer in Mrd. €	Vwl. Vermeidungskosten CO₂ in € / tCO _{2e}
Klimaschutz in der Stromerzeugung	6,6	57,5	-41,3	-113
Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (ohne Geb. & Verkehr)	15,8	79,2	-51,6	-186
Strategie „Klimafreundl. Bauen und Wohnen“ (inkl. NAPE Geb.)	4,8	62,3	-6,1	-35
Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr (inkl. NAPE Verkehr)	13,2	57,1	-37,1	-435

Quelle: PwC 2016 und darauf basierende eigene Berechnungen

5.3.2.2 Ausbau der erneuerbaren Energien

Für den Ausbau erneuerbarer Energien (Strom, Wärme und Biokraftstoffe) sind annuitätische Differenzkosten (Investitionen und ggf. Betriebskosten sowie Brennstoffeinsparungen) für den Zeitraum 2008 bis 2014 in den jährlich erscheinenden Monitoringberichten zu den Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien enthalten [Fraunhofer ISI et al. 2015]. In [Fraunhofer ISI et al. 2011] wurde zudem die Entwicklung der Differenzkosten für Strom und Wärme auch prospektiv für 2020 untersucht. Darin wird von moderat ansteigenden Brennstoffpreisen und Abschreibungen von Investitionen in EE-Anlagen über Zeiträume von 20 Jahren mit einer einheitlichen Zinsrate von 6 % ausgegangen. Letztere dient der Vereinheitlichung unterschiedlicher Zinssätze aus Gründen der Vergleichbarkeit. Dabei ist der Unterschied zu den unter 5.3.2.1 genannten Annahmen zu den Zinssätzen zu berücksichtigen.

Für den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien insgesamt (der in der jüngeren Vergangenheit im Wesentlichen deckungsgleich mit dem EEG-geförderten Ausbau ist) entsprechen die Differenzkosten der Differenz zwischen den Gesteungskosten des zugebauten EE-Strommixes zu den Gesteungskosten des konventionellen Strommixes. Nach [Fraunhofer ISI et al. 2015] sind diese Differenzkosten seit 2008 von 5,3 Mrd. Euro auf 12,2 Mrd. Euro im Jahr 2014 gestiegen. Daraus ergeben sich durchschnittliche Vermeidungskosten von 112,1 Euro pro CO₂-Äquivalent. Hier wurde der Mittelwert von 2012 bis 2014 betrachtet, um den Einfluss von Schwankungen bei Brennstoffpreisen und der Erzeugung von Wind- und PV-Strom zu verringern. Nicht berücksichtigt sind hier die zusätzlichen Kosten der Systemintegration, wie z.B. Regel-/Ausgleichsenergiekosten der

Übertragungsnetzbetreiber und Netzanschlusskosten. In der Summe beliefen sich diese nach [Fraunhofer ISI et al. 2015] im Jahr 2014 auf 920 Mio. Euro. In der prospektiven Untersuchung in [Fraunhofer ISI et al. 2011] wurden 225 TWh EE-Stromerzeugung im Jahr 2020 angesetzt, was nah an der aktuellen Mittelfristprognose der Übertragungsnetzbetreiber für 2020 ist. Die angesetzten Lernkurven für die Kostenentwicklung sind ebenfalls im Vergleich zur realen Entwicklung plausibel. Die Differenzkosten fallen dort bis zum Jahr 2020 auf ca. 8 Mrd. Euro. Daraus ergeben sich deutlich fallende Vermeidungskosten von im Durchschnitt 50,8 Euro pro CO₂-Äquivalent.

Für den Ausbau erneuerbarer Wärme insgesamt (autonom und instrumentengetrieben) haben sich die annuitätische Differenzkosten seit 2008 von 780 Mio. Euro auf 2.200 Mio. Euro im Jahr 2014 erhöht. Im weniger von den jährlichen Schwankungen der Verbräuche und Brennstoffpreise abhängenden Mittel von 2012 bis 2014 ergeben sich daraus Vermeidungskosten 37,5 Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent. Nach [Fraunhofer ISI et al. 2011] fallen die Differenzkosten 2020 auf ca. 1,68 Mrd. Euro. Daraus ergibt sich ein moderates Absinken der Vermeidungskosten auf im Durchschnitt 29,3 Euro pro CO₂-Äquivalent.

In Bezug auf die Beimischung von Biokraftstoffen haben sich die annuitätischen Differenzkosten im Zeitraum 2012 bis 2014 laut [Fraunhofer ISI et al. 2015] von 1,3 Milliarden EUR auf 0,9 Mrd. Euro reduziert. Im Mittel von 2012 bis 2014 ergeben sich daraus Zusatzkosten von 9,6 Euro pro Gigajoule substituierter fossiler Endenergie bzw. Vermeidungskosten von 115 Euro pro CO₂-Äquivalent. Zur Kostenentwicklung bis 2020 liegen keine Informationen vor. Auf Grund der Kosten für die Herstellung von Biokraftstoffen ist selbst bei einer Zunahme des Ölpreises mittelfristig nur mit einem leichten Rückgang der volkswirtschaftlichen Vermeidungskosten bei der Biokraftstoffbeimischung zu rechnen.

Tabelle 31: Ergebnisse zu Differenzkosten und abgeleiteten Größen für den Ausbau erneuerbarer Energien (Quelle: ISI et al. 2015 und darauf basierende eigene Berechnungen).

Steuerungsziel	Bezugszeitraum	Volkswirtschaftl. Differenzkosten ggü. 2008 in Mio. € / a	Volkswirtschaftl. Vermeidungskosten CO ₂ in € / tCO ₂ e	Quelle
EE-Strom	Mittelwert 2012 – 2014	11.300	112,1	Fraunhofer ISI et al. 2015 & eigene Berechnungen
EE-Strom	2020	8.000	50,8	Fraunhofer ISI et al. 2011 & eigene Berechnungen
EE-Wärme (ohne Strom)	Mittelwert 2012 – 2014	1.900	43,7	Fraunhofer ISI et al. 2015 & eigene Berechnungen
EE-Wärme (nur Gebäude)	2020	1.680	29,3	Fraunhofer ISI et al. 2011 & eigene Berechnungen
EE-Verkehr (ohne Strom)	Mittelwert 2012 – 2014	1.100	115,3	Fraunhofer ISI et al. 2015 & eigene Berechnungen

Fazit zur Kosteneffizienz bestehender Instrumente

Insgesamt stellt sich die Datenverfügbarkeit zur Bewertung des Kriteriums der Kosteneffizienz für bestehende Instrumente als äußerst divers und lückenhaft dar. Erstens gibt es auf Seiten der Ziele der Endenergieverbrauchsreduktion keine Gesamtbetrachtung, wie sie für die EE-Ziele durch die Monitoringberichte zu den Kosten und Nutzen des Ausbaus der erneuerbaren Energien gegeben ist. Zweitens gibt es für die zentralen Standardisierungs- und Labelling-Instrumente wie die Ökodesign-Richtlinie, die Energieeinsparverordnung EnEV und die CO₂-Strategie für Pkw keine ausreichenden Informationen zu den Differenzkosten. Drittens gestaltet es sich dort, wo relevante Evaluationen verfügbar sind, schwierig diese vergleichbar zu machen, weil zum Teil nur auf die einzelwirtschaftliche Perspektive oder die Kosten der Förderung abgezielt wird und verschiedene Rahmendaten zugrunde liegen.

Die Ergebnisse der Studie „Wirtschaftliche Bewertung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020“ (PwC 2016) lassen jedoch den Schluss zu, dass bestehende Potenziale zur Reduktion der Endenergieverbräuche im Wärme-, Verkehrs- und Stromsektor aus der volkswirtschaftlichen Perspektive sehr tiefe Vermeidungskosten aufweisen. Bis 2020 können jedoch in einigen Bereich, insbesondere bei der Gebäudeeffizienz nur geringe Energiekosteneinsparungen erzielt werden. Diesbezüglich dienen die Instrumente dazu,

die Kosteneinsparungen von der gesamtwirtschaftlichen Ebene auf die einzelwirtschaftliche Ebene zu übertragen und/oder die teilweise hohen Investitionsrisiken abzufedern. Grundsätzlich kann sich die Adressierung mit Instrumenten aber nicht auf Optionen mit negativen Vermeidungskosten beschränken.

Demgegenüber stehen beim Ausbau der erneuerbaren Energien positive Vermeidungskosten und damit verbunden steigende Differenzkosten. Dieser Anstieg verlangsamt sich allerdings aktuell. Es ist davon auszugehen, dass das Maximum jeweils noch vor 2020 erreicht wird und insbesondere bei EE-Strom die durchschnittlichen Vermeidungskosten langfristig deutlich zurückgehen. Zudem ist zu beachten, dass in den hier zu Grunde liegenden Studien kürze Abschreibungszeiträume und höhere Zinsraten angesetzt wurden als in [PwC 2016] für den Effizienzbereich, was zum Teil den realen Investitionsbedingungen entspricht, zum Teil auch methodisch begründet ist. Nichtsdestotrotz ist nicht zu erwarten, dass die Angleichung der Annahmen die Lücke zwischen den Differenzkosten in beiden Bereichen komplett ausgleicht.

Eine vergleichende Betrachtung des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Wärme- und Verkehrsbereichs auf Basis der vorhandenen Quelle, welcher in beiden Bereichen bisher primär auf biogenen Brenn-/Treibstoffen basiert, führt einerseits auf geringere THG-Vermeidungskosten im Wärmebereich, zeigt aber andererseits, dass sich die Differenz in den letzten Jahren deutlich verringert hat. Für die Entwicklung in den kommenden Jahren ist ein wesentlicher Einflussfaktor, wie sich die fossilen Brennstoffpreise zukünftig entwickeln.

5.3.3 Vorliegende Ex-ante-Abschätzungen zur Kosteneffizienz von Zielerreichungsszenarien bis 2030

Zur Beurteilung des Kriteriums Kosteneffizienz in Bezug auf die ausgewählten Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele im Jahr 2030 müssen zusätzlich Ex-ante-Kostenabschätzungen aus längerfristig ausgerichteten Szenariestudien herangezogen werden. Die dafür verfügbaren Quellen sind begrenzt und es stellt sich wiederum das Problem der Vergleichbarkeit verschiedener Studien auf Grund der Annahme unterschiedlicher Diskontraten und Abschreibungszeiträume.

Aus diesem Grund wird im Folgenden primär auf die Abschätzungen von Kosten in der Studie „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ [BMWi 2017] zurückgegriffen. Dort werden die volkswirtschaftlichen Differenzkosten zwischen dem sogenannten Basisszenario, welches bis 2050 das Ziel einer Reduktion der THG-Emissionen um 80 % ggü. 1990 erreicht, und einem Referenzszenario mit einer Reduktion der THG-

Emissionen bis 2050 um nur 54 % bestimmt. Dabei wird aus Gründen der Vergleichbarkeit sektorübergreifend ein einheitlicher Diskontsatz von 7 % angesetzt. Die Abschreibungszeiträume variieren nach Sektoren und Technologien. Die Annahmen zu den fossilen Energiepreisen folgen den PRIMES-Projektionen für die EU, was insbesondere einen moderaten Anstieg des Rohölpreises bis zum Jahr 2030 beinhaltet. Die Ergebnisse Differenz der Kosten zwischen *Basis-* und *Referenzszenario* aus [BMWi 2017] sind in Tabelle 32 zusammengefasst.

Tabelle 32: Differenz der Kosten zwischen Basis- und Referenzszenario aus der Studie „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ in Mio. EUR

	Sektor	Bereich	2020	2030	2040	2050
Differenz Fixkosten (Investition, Wartung und Instandhaltung)	GHD	Prozesse	663	1.826	2.106	2.412
		Gebäude	76	-2	139	1.221
	Haushalte	Gebäude	801	2.785	7.782	14.083
		Geräte	1.807	2.833	4.135	5.395
	Verkehr		334	5.137	8.066	3.050
	Industrie		343	781	1.320	1.374
	Summe		4.024	13.360	23.548	27.535
Differenz Energieträgerkosten	GHD	Prozesse	-201	-734	-825	-1.046
		Gebäude	168	1	-617	-833
	Haushalte	Gebäude	77	-119	-1.721	-2.428
		Geräte	455	-227	-154	-280
	Verkehr		-1.573	-5.585	-8.131	-9.828
	Industrie		76	-706	327	1.931
	Summe		-997	-7.369	-11.121	-12.485
Differenz Gesamt	GHD	Prozesse	462	1.092	1.281	1.365
		Gebäude	245	-1	-478	388
	Haushalte	Gebäude	878	2.665	6.061	11.654
		Geräte	2.263	2.606	3.981	5.115
	Verkehr		-1.239	-448	-65	-6.778
	Industrie		420	75	1.647	3.305
	Summe		3.027	5.991	12.427	15.050

Quelle: Tabelle 86 in [BMWi 2017]

Die sektorspezifischen Ergebnisse werden für das Jahr 2030 in der Folge detailliert diskutiert. Diesbezüglich ist zu beachten, dass die eingesparten Energiekosten auf einem szenarioendogenen Strompreis basieren. Insbesondere werden Kostenreduktionen durch Energieeinsparungen im Basisszenario durch den dort auf Grund des stärkeren Ausbaus erneuerbarer Energien höheren

Strompreis gedämpft. Dies ist für den angestrebten Vergleich der Flexibilisierungsoptionen in den meisten Fällen nicht sinnvoll, weil beispielsweise unterschiedliche Effizienzziele unter der Annahme eines fixen Anteils erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung verglichen werden sollen. Daher werden hier die Unterschiede in den Strombezugskosten zur besseren Vergleichbarkeit wo nötig herausgerechnet.

Weiterhin wird zusätzlich, wo möglich und dies hilfreich erscheint, auf weitere Studien Bezug genommen. Insbesondere wird die Studie zur Energieeffizienzstrategie Gebäude [Prognos et al. 2015] berücksichtigt¹¹. Diese weist ähnliche Annahmen in Bezug auf Energiepreise, Abschreibungsdauern und Zinssätze wie die Langfristszenarien auf. So liegt in beiden der Ölpreis im Jahr 2030 bei ca. 120 Dollar pro Barrel (in Preisbasis 2010 bzw. 2011) und die angesetzte Zinsrate bei 7 %. Daher sind die Ergebnisse beider Studien zu Differenzkosten im Jahr 2030 zumindest näherungsweise vergleichbar. Ein wichtiger Unterschied besteht darin, dass in den Langfristszenarien die Biomasseverfügbarkeit insgesamt begrenzt wurde und im Gebäudebereich wegen der Bedarfe in anderen Sektoren nur in deutlich geringerem Umfang zur Verfügung steht.

Stromsektor

Die Differenz der jahresbezogenen Kosten des deutschen Stromsystems zwischen Basis- und Referenzszenario in der Studie „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ liegen 2030 bei ca. 3,5 Mrd. EUR. Diese spiegeln eine Steigerung der Reduktion des Bruttostromverbrauchs ggü. 2008 von 11 % auf 20 % (bei Herausrechnung der neuen Stromverbraucher) sowie eine Steigerung des EE-Strom-Anteils von 36 % auf 57 % wider. Dabei sinken die Kosten der fossilen Stromerzeugung um 400 Mio. EUR. Auf die zusätzliche erneuerbare Stromerzeugung entfallen 7,9 Mrd. EUR zusätzliche Kosten sowie 1,3 Mrd. auf den zusätzlichen Stromnetzausbau. Dem steht jedoch eine Senkung der Differenzkosten um 5,3 Mrd. EUR durch die Zunahme des Stromexports entgegen. Die spezifischen Kosten der Stromsystems sind im Basisszenario um 18,9 EUR/MWh höher als im Referenzszenario. Diese Differenz steigt nach 2030 nur noch geringfügig auf 21,4 EUR/MWh an und fällt in der Folge moderat.

Haushaltsgeräte und GHD-Prozessenergie

Die Differenzkosten zwischen Basis- und Referenzszenario für Haushaltsgeräte (ohne Heizung und Warmwasser) belaufen sich

¹¹Mit der Studie „Klimapfade für Deutschland“ von [BCG & Prognos 2018] liegt aktuell eine weitere Studie vor, die eine ex-ante Abschätzung der Vermeidungskosten von energie- und klimapolitischen Maßnahmen beinhaltet. Die Daten aus der Studie konnten nicht mehr direkt in die hier vorliegenden Analysen einfließen. Allerdings erfolgte ein Vergleich der Daten aus der hier vorliegenden Studie mit diesen Ergebnissen, um die hier durchgeführten Analysen abzusichern.

im Jahr 2030 auf 2,6 Mrd. EUR. Dadurch wird eine zusätzliche Reduktion des Bruttostromverbrauchs um 16,8 TWh erreicht (minus 2,6 % ggü. 2008). Die Mehrkosten ergeben sich aus 2,8 Mrd. EUR Mehrinvestitionen und Einsparungen bei Energieträgern von ca. 0,2 Mrd. EUR. Diese Einsparungen beinhalten die erhöhten spezifischen Kosten für den Strombezug im Basisszenario (s.o.). Geht man stattdessen auch für die Referenz vom Stromsystem des Basisszenarios aus, kommen weitere 2,0 Mrd. EUR an Einsparungen hinzu, wodurch jedoch in der Summe weiterhin 0,6 Mrd. EUR an Differenzkosten bestehen bleiben.

Bei der Prozessenergie im GHD-Sektor stehen zusätzlichen Investitionen im Basisszenario in Höhe von 2,9 Mrd. EUR Energiekosteneinsparungen von ca. 0,7 Mrd. EUR gegenüber. Dabei entfällt dies in beiden Fällen fast ausschließlich auf Strom. Wiederum erhöhen sich die Energiekosteneinsparungen unter Annahme des Stromsystems des Basisszenarios auch für die Referenz um 2,3 Mrd. EUR, wodurch in der Summe nur 0,1 Mrd. EUR an Differenzkosten verbleiben.

Industrie

Die Differenzkosten zwischen Basis- und Referenzszenario bei der Industrie sind im Jahr 2030 insgesamt mit 75 Mio. EUR moderat. Dabei stehen zusätzliche Fixkosten von 784 Mio. EUR Einsparungen bei Energieträgern von 709 Mio. EUR gegenüber. Diese Einsparungen beinhalten erhöhte Kosten für den Strombezug im Basisszenario in Höhe von ca. 870 Mio. EUR (s.o.). Die eingesparten Brennstoffkosten belaufen sich demnach auf ca. 1,6 Mrd. EUR, während nur ungefähr 0,5 Mrd. EUR der zusätzlichen Fixkosten auf Wärmeeffizienzmaßnahmen entfallen. Dies belegt, dass Wärmeeffizienzmaßnahmen in der Industrie im Durchschnitt zu einer deutlichen Reduktion der Kosten führen.

Betrachtet man nur die Stromanwendungen, addieren sich zu ca. 0,3 Mrd. EUR an zusätzlichen Fixkosten erhöhte Kosten für den Strombezug im Basisszenario in Höhe von ca. 870 Mio. EUR (s.o.). Geht man stattdessen auch für die Referenz vom Stromsystem des Basisszenarios aus, werden aus den zusätzlichen Kosten für den Strombezug Einsparungen in Höhe von ca. 3,1 Mrd. EUR, wodurch in der Summe auch hier die Einsparungen die Kosten um 2,8 Mrd. EUR deutlich überwiegen.

Gebäude

Die Differenzkosten zwischen Basis- und Referenzszenario im Gebäudebereich (ohne Raumwärme der Industrie) belaufen sich im Jahr 2030 auf ca. 2,7 Mrd. EUR. Dabei reduzieren sich die zusätzlichen Fixkosten von 2,8 Mrd. EUR nur um 0,1 Mrd. EUR

eingesparte Energiekosten, weil diese durch zusätzliche Kosten für den Strombezug gedämpft werden (s.o.). Werden alternativ auch für das Referenzszenario die Strombezugskosten des Basisszenarios angesetzt, erhöhen sich die Energiekosteneinsparungen um 0,7 Mrd. EUR, womit volkswirtschaftliche Differenzkosten von 2,0 Mrd. EUR verbleiben.

Da aus den Abschätzungen in den Langfristszenarien noch keine Rückschlüsse auf das Verhältnis der Beiträge von Energieeffizienz und dem Ausbau erneuerbarer Wärme möglich sind, wird hierfür auf Energieeffizienzstrategie Gebäude Bezug genommen. In dieser liegen die Kosten im Zielszenario Effizienz (Verbrauchsreduktion 30%, EE-Wärme-Anteil 24 % im Jahr 2030) um 3,7 Mrd. EUR über denen des dortigen Referenzszenarios, im Zielszenario Erneuerbare (Verbrauchsreduktion 21 %, EE-Wärme-Anteil 32 % im Jahr 2030) 1,4 Mrd. EUR unter denen des Referenzszenarios. Eine wichtige Rolle spielt dabei, dass bis 2030 von einem moderat steigenden Rohölpreis ausgegangen wird, wodurch die Nutzung von biogenen Brennstoffen mittelfristig kostensenkend wirkt.

Verkehrssektor

Die Differenzkosten zwischen Basis- und Referenzszenario im Verkehrsbereich liegen im Jahr 2030 bei ca. -450 Mio. EUR. Dahinter steht eine Steigerung der Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr von 8 % auf 24 % und eine Erhöhung des Anteils direkter erneuerbarer Energien von 12 % auf 15 %, wobei die absolute Zunahme hier mit 7 PJ gering ist. Dabei stehen 5,14 Mrd. EUR höhere Fixkosten 5,59 Mrd. EUR geringeren Energiekosten gegenüber. Geht man wiederum auch für die Referenz vom Stromsystem des Basisszenarios aus, steigen die Einsparungen um ca. 350 Mio. EUR an, woraus sich in Summe ca. -800 Mio. EUR an Differenzkosten ergeben.

Die höheren Fixkosten entstammen primär dem Umbau der Infrastruktur und dem Pkw-Bereich, insbesondere dem Ausbau der E-Mobilität, welche sogar durch geringere Aufwendungen für Lkws abgemildert werden. Die Einsparungen bei Energieträgern hingegen stammen aus dem gesamten Straßenverkehr, während im Schienenverkehr auf Grund erhöhter Aktivitätsniveaus auch zusätzliche Energiekosten anfallen. Bis 2040 steigen die zusätzlichen Fixkosten und die eingesparten Energiekosten weiter an, wobei sich die Differenz auf 65 Mio. EUR verringert. Anschließend gehen den Mehrinvestitionen deutlich zurück, so dass die eingesparten Energiekosten überwiegen. Auf Grund der Kosten für die Herstellung von Biokraftstoffen ist selbst bei einer Zunahme der Ölpreise längerfristig eher mit moderat positiven Differenzkosten bei direkten EE im Verkehrsbereich zu rechnen.

5.3.4 Implikationen für die Kosteneffizienz der Steuerungsziele bis 2030

Vor einer Bewertung der Flexibilisierungsoptionen für die Steuerungsziele im Jahr 2030 in Bezug auf das Kriterium Kosteneffizienz werden aus den in den vorangegangenen Unterkapiteln zusammengestellten Abschätzungen zur Entwicklung der Differenzkosten Schlussfolgerungen für die Flexibilisierungsoptionen gezogen. Da wie bereits dargelegt die Kostenwirkungen mit Unsicherheiten behaftet und insbesondere von der konkreten Ausgestaltung der Zielerreichung abhängig sind, erfolgt dabei eine qualitative Bewertung von stark / moderat kostenhemmend über geringfügig bis moderat / stark kostentreibend, welche auch die Unsicherheiten in der Bewertung widerspiegeln soll.

Für die Stromerzeugung wird bei der Betrachtung der Flexibilisierungsoptionen für die Energiewende-Ziele in Jahr 2030 davon ausgegangen, dass es mit einer weiteren Steigerung der Menge an erneuerbaren Energien sowohl zu zusätzlichem Stromexport als auch zu einer weiteren Verdrängung von fossiler Stromerzeugung kommt. Da die im weiteren Verlauf des Basisszenarios auftretenden Kostensenkungen bei der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien nur zum Teil schon bis zum Jahr 2030 realisiert werden können ist davon auszugehen, dass eine Erhöhung des Ziels zum Ausbau erneuerbaren Energien mit einer weiteren Erhöhung der Kosten des Stromsystems einhergeht. Im Fall einer starken Reduktion der Volllaststunden der thermischen Kraftwerken können die Kostensteigerungen sehr hoch ausfallen, umso mehr weil zusätzlicher Netzausbau nötig werden würde. Ein geringerer Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien als im Basisszenario ließe hingegen einen moderaten Rückgang der Differenzkosten erwarten, weil geringere Fixkosten für den Ausbau erneuerbarer Energien anfallen, diese aber durch geringere Einsparungen bei der fossilen Erzeugung gedämpft werden.

In Bezug auf den Stromverbrauch ist von den diskutierten Ergebnissen der Langfristszenarien derjenige Fall der relevantere, in welchem für den Strombezug stets von den spezifischen Kosten des Basisszenarios ausgegangen wird, da der Anteil erneuerbarer Energien in allen betrachteten Flexibilitätsoptionen deutlich über dem des Referenzszenarios liegt. Zudem hängen die Auswirkungen einer höheren oder niedrigeren Reduktion des Stromverbrauchs als im Basisszenario (ca. 15 % inkl. der neuen Stromverbraucher) auf Grund der je nach Endverbrauchern unterschiedlichen volkswirtschaftlichen Differenzkosten davon ab, wie sich die Einsparungen auf die Endverbraucher verteilen. Insgesamt ist bei festem EE-Anteil und einer Reduktion des Stromverbrauchs am oberen Ende der Spannweite (20 %) tendenziell von einer moderaten Kostensenkung auszugehen, weil bei uniformer Anwendung des Ziels die Einsparungen in der Industrie die zusätzlichen Kosten bei Geräten übersteigen. Umgekehrt wäre bei einer Reduktion

am unteren Ende Spannweite (15 %) hingegen von einer moderaten Kostensteigerung auszugehen.

In Bezug auf die wärmebezogenen Steuerungsziele ist mit Blick auf die quantitativen Informationen bei einem festen Reduktionsniveau für den Endenergieverbrauch und einem Anteil erneuerbarer Energien am unteren Ende der Spannweite (15 %) im Vergleich zur Referenz eher mit einer moderaten Kostensteigerung zu rechnen, bei einem Anteil erneuerbarer Energien am oberen Ende der Spannweite (30 %) mit einer moderaten Kostensenkung. Die Auswirkungen einer höheren oder niedrigeren Reduktion des Wärmeverbrauchs als im Basisszenario (mit 28 % vergleichbar zum Ziel von 30 % in der Referenzentwicklung) hängen auf Grund der je nach Endverbrauchern unterschiedlichen Differenzkosten wiederum von der Verteilung der Einsparungen auf die Endverbraucher ab. Insgesamt ist bei festem Anteil erneuerbarer Energien und einer Reduktion des Wärmeverbrauchs nur am unteren Ende der Spannweite (20 %) tendenziell von einer moderaten Kostensenkung auszugehen, weil die Kosteneinsparungen bei Gebäuden die in der Industrie bei uniformer Anwendung des Ziels auf die Verbraucher überwiegen. Umgekehrt ist bei festem EE-Anteil und einer Reduktion des Wärmeverbrauchs am oberen Ende der Spannweite (35 %) von einer moderaten, jedoch wegen der geringeren Differenz zum Referenzwert geringeren Kostensteigerung auszugehen. Bei einer Erhöhung des Zielwerts der Sektorkopplung Strom-Wärme ist von einer moderaten Kostensteigerung auszugehen, weil die Kosten für den Bezug des höherwertigen Energieträgers Strom die sonstigen Kosteneinsparungen überwiegen. Entsprechend ist bei einer Verringerung des Zielwerts von einer moderaten Kostensenkung auszugehen.

Für den Verkehrsbereich ist auf Basis der Ergebnisse der Langfristszenarien bei einem festen Reduktionsniveau für den Endenergieverbrauch und einem Anteil direkter erneuerbarer Energien am unteren Ende der Spannweite (10 %) im Vergleich zur Referenz eher mit einer moderaten Kostensenkung zu rechnen, bei EE-Anteil am oberen Ende der Spannweite (20 %) mit einer moderaten Kostensteigerung. Bei festem Anteil erneuerbarer Energien und einer Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr am unteren Ende der Spannweite (10 %) ist wegen der hohen Einsparpotenziale und der deutlichen Differenz zum Referenzwert von einer relativ starken Kostensteigerung auszugehen. Umgekehrt ist bei festem Anteil erneuerbarer Energien und einer Reduktion des Endenergieverbrauchs im Verkehr am oberen Ende der Spannweite (35 %) von einer starken Kostensenkung auszugehen. Bei einer Erhöhung des Zielwerts der Sektorkopplung Strom-Verkehr ist wie bei Wärme von einer moderaten Kostensteigerung auszugehen. Hier sind zwar wegen Effizienzgewinnen Einsparungen bei Energiekosten realisierbar, aber zugleich fallen höhere Fixkosten für Infrastruktur und bis 2030 voraussichtlich auch für Fahrzeuge

an. Umgekehrt ist bei einer Verringerung des Zielwerts wiederum von einer moderaten Kostensenkung auszugehen.

Eine Zusammenfassung der getroffenen Einschätzungen in Bezug auf die Auswirkungen einer Variation der Steuerungsziele ist in Tabelle 33 gegeben. Diese Einschätzungen dienen im Folgenden als Grundlage zur Einordnung der Flexibilisierungsoptionen für die Steuerungsziele in Bezug auf das Kriterium Kosteneffizienz.

Tabelle 33: Übersicht über die Auswirkungen einer Verschiebung der Steuerungsziele auf das Kriterium Kosteneffizienz; ++/+ : stark/ moderat kostenhemmend; -- / - : stark/ moderat kostentreibend; 0 geringfügig.

Steuerungsziel	Zielwert Referenz	Zielwert niedrig	Veränderung Differenzkosten	Zielwert hoch	Veränderung Differenzkosten
Bruttostromverbrauch (ohne neue Verbraucher)	-15 %	- 15 %	-- (Industrie) + (PHH-Geräte)	- 20 %	++ (Industrie) - (PHH-Geräte)
Anteil EE-Strom	60 %	50 %	++	73 %	-
EEV Wärme (ohne Sektorkopplung)	- 30 %	- 20 %	- (Industrie), ++ (Gebäude)	- 35 %	+ (Industrie), - (Gebäude)
Anteil direkte EE-Wärme	25 %	15 %	-	30 %	+
EEV Verkehr (ohne Sektorkopplung)	- 20 %	- 10 %	--	- 35 %	++
Anteil direkte EE-Verkehr	12 %	10 %	+	20 %	-
Sektorkopplung Wärme	70 PJ	40 PJ	+	100 PJ	-
Sektorkopplung Verkehr	50 PJ	25 PJ	+	90 PJ	-

5.3.5 Bewertung der Flexibilisierungsoptionen nach dem Kriterium Kosteneffizienz

Im Folgenden werden die Flexibilisierungsoptionen auf Basis der Diskussion der Auswirkungen von Zielanpassungen auf das dargestellte Kriterium der Kosteneffizienz hin eingeordnet. Da die Zielwerte der Referenzoption zumindest grob mit den im Basisszenario der Langfristszenarien erreichten Zielgrößen übereinstimmen, lassen die Ergebnisse der Langfristszenarien zu Differenzkosten insgesamt erwarten, dass die Realisierung der Referenzoption bis 2030 kostentreibend wirkt und daher aus dem Blickwinkel der Kosteneffizienz zu zusätzlichen Herausforderungen führen wird. Die

Auswirkungen der Flexibilisierungsoptionen auf das Kriterium Kosteneffizienz lassen sich dann im Vergleich zur Referenzoption wie folgt bewerten:

- **Flex 1 (EE hoch):** Bei einem Fokus auf den Ausbau erneuerbarer Energien und einer nur geringen Reduktion der Endenergieverbräuche wäre im Stromsektor tendenziell mit Kostensteigerungen zu rechnen. Zum einen kann dies dazu führen, dass Einsparpotenziale durch Effizienzsteigerungen vor allem in der Industrie nicht genutzt werden. Zum anderen lassen die vorliegenden Studien erwarten, dass ein höherer Anteil an EE-Strom wegen positiver Differenzkosten und zusätzlicher Netzausbaukosten kostentreibend wirkt. Der EE-Anteil von 65 % wäre jedoch im Vergleich zur Referenz moderat höher, die Kostensteigerungen sollten damit hier nur moderat ausfallen. Da sich die Zielwerte im Gebäudebereich bei der Referenzoption am Zielszenario „Effizienz“ der Gebäudeeffizienzstrategie orientieren und die Ziele der Flex 1 mit 20 % Verbrauchsreduktion und 30 % EE-Anteil vergleichbar zum Zielszenario Erneuerbare sind, wäre eine Reduktion der Kosten entsprechend des Ergebnisses der Gebäudeeffizienzstrategie erwartbar. Im Verkehrssektor könnte vor allen Dingen das mit 10 % im Vergleich zur Referenz deutlich geringere Effizienzziel stark negative Auswirkungen auf die volkswirtschaftliche Kosteneffizienz haben. Der Verzicht auf umfangreiche Sektorkopplung würde sich hingegen eher positiv auf die Kosteneffizienz auswirken. Insgesamt gleichen sich kostenreduzierende und -steigernde Faktoren in der Option „Flex 1“ aus, so dass nur eine geringfügige Änderung bezüglich des Kriteriums Kosteneffizienz im Vergleich zur Referenz zu erwarten ist.
- **Flex 2 (Effizienz hoch):** Bei einem Fokus auf die Reduktion der Endenergieverbräuche und einem nur geringen Ausbau erneuerbarer Energien würden sich die Auswirkungen auf das Kriterium Kosteneffizienz im Wesentlichen gegensätzlich zu denen der Option Flex 1 gestalten. So wäre im Stromsektor auf Grund des geringeren EE-Ziels und der angestrebten Nutzung kosteneffizienter Effizienzpotenziale sowie im Verkehrssektor vor allem auf Grund des Effizienzfokus mit Kosteneinsparungen zu rechnen. Im Wärmesektor würde hingegen die hohe Sanierungsrate im Gebäudebereich zu tendenziell höheren Kosten führen, wobei diese wegen des mit 35 % im Vergleich zur Referenz nur leicht höheren Zielwerts als eher moderat anzusehen sind. Der Verzicht auf umfangreiche Sektorkopplung kann sich zudem wie in der Flex 1 positiv auf die Kosten auswirken. Alles in allem würden die kostenreduzierenden Faktoren in der Flex 2 tendenziell überwiegen, weswegen insgesamt

von geringeren Gesamtkosten als in der Referenz auszugehen ist.

- Flex 3 (Fokus Strom): Bei einem Fokus auf den Stromsektor und gleichzeitig moderaten Zielen in den anderen Sektoren decken sich die Zielwerte im Verkehrssektor, bei EE-Wärme und bei der Sektorkopplung im Wesentlichen mit der Referenzoption, wodurch hier nur geringfügige Auswirkungen auf das Kriterium Kosteneffizienz entstünden. Zudem könnte ein relativ gesehen hoher Zielwert von 20 % bei der Reduktion des Stromverbrauchs eine Nutzung der kostenreduzierenden Effizienzpotenziale speziell in der Industrie unterstützen. Im Wärmesektor wären durch eine etwas weniger ambitionierte Zielsetzung in den Effizienzzielen etwas geringere Kosten realisierbar. Für den Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor wäre damit nur eine moderate Änderung im Vergleich zur Referenz notwendig, die Kosten würden daher im Vergleich zur Referenz nur geringfügig steigen. Insgesamt wären daher in der Option Flex 3 eher kostendämpfende Faktoren vorhanden, so dass insgesamt von vergleichbaren bis leicht geringeren Herausforderungen als in der Referenz auszugehen ist.
- Flex 4 (Fokus Strom+): Bei einem starken Fokus auf den Stromsektor und einer starken Nutzung von Strom auch für Wärme und Verkehr, ansonsten hingegen wenig ambitionierten Zielen im Wärme- und Verkehrssektor, würden sich die Auswirkungen auf das Kriterium Kosteneffizienz deutlich anders gestalten als bei dem moderaten Fokus auf Strom in der Option Flex 3. So könnten zwar im Verkehrssektor durch die geringe Nutzung von direkten EE und im Wärmesektor durch das im Vergleich zur Referenz mit minus 20 % wesentlich weniger ambitionierte Effizienzziel Kosteneinsparungen realisiert werden. Diese würden aber durch deutliche Kostensteigerungen durch die geringe Nutzung von direkter EE-Wärme und stärker noch durch das mit -10 % sehr geringe Effizienzziel im Verkehrsbereich kompensiert. Weiter ergäben sich Kostensteigerungen auf Grund der deutlich verstärkten Stromnutzung im Wärme- und Verkehrsbereich und insbesondere aus dem im Vergleich zur Referenz sehr hohen Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor von 73 %. Denn dieser EE-Anteil würde neben den Kosten des EE-Ausbaus an sich mit zusätzlichen Infrastrukturkosten einhergehen. Insgesamt führt daher die Wirkung der Option Flex 4 in Bezug auf das Kriterium Kosteneffizienz zu wesentlich größeren Herausforderungen als in der Referenz.
- Flex 5 (Fokus Wärme/Strom): Bei ambitionierten Zielen im Wärme- und Stromsektor und – abgesehen von einer starken Stromnutzung – geringen Ambitionen im

Verkehrssektor ergeben sich insgesamt nur leicht kosten-treibende Auswirkungen bezüglich des Kriteriums Kosteneffizienz. Im Verkehrssektor überwiegen die nicht genutzten Kosteneinsparungen durch Effizienzsteigerungen (auf Grund des mit -10 % im Vergleich zur Referenz sehr wenig ambitionierten Effizienzziels) und den Kosten einer zusätzlichen Stromnutzung die Einsparungen durch eine geringe Nutzung von direkten EE deutlich. Daneben haben die hohen Ziele im Wärmesektor gegenläufige Kosteneffekte, die insgesamt als eher gering zu erwarten sind, und die Zielwerte im Stromsektor unterscheiden sich nur geringfügig von der Referenz. Moderat kostenhemmend wirkt sich noch die geringe Sektorkopplung zwischen Strom und Wärme aus. In der Summe sind somit bezüglich des Kriteriums Kosteneffizienz gleichbleibende bis leicht höhere Wirkungen auf die Gesamtkosten als in der Referenz zu erwarten.

- Flex 6 (Fokus Verkehr/Strom): Im Gegensatz zur Flex 5 überwiegen bei ambitionierten Zielen im Verkehrs- und Stromsektor und geringen Ambitionen im Wärmesektor – abgesehen von einer starken Stromnutzung – die kostendämpfenden Faktoren leicht. So käme es hier im Verkehrsbereich in der Summe trotz des höheren Anteils direkter EE durch die geringe Sektorkopplung und vor allem die ambitionierten Effizienzanstrengungen voraussichtlich zu einer deutlichen Kostensenkung. Im Wärmebereich würden Kosteneinsparungen durch geringere Sanierungsraten Kostensteigerungen auf Grund der stärkeren Nutzung von Strom anstelle direkter EE kompensieren, während im Strombereich die Zielwerte wiederum etwas höher als in der Referenz sind. Insgesamt ist daher in Bezug auf das Kriterium Kosteneffizienz von gleichbleibenden bis leicht geringeren Gesamtkosten als in der Referenz auszugehen.

Eine Übersicht über die Auswirkungen der Flexibilisierungsoptionen auf das Kriterium Kosteneffizienz ist Tabelle 34 zu entnehmen. Insgesamt gesehen scheint es aus Sicht des Kriteriums Kosteneffizienz vorteilhaft, bei der Flexibilisierung der Ziele die Einsparpotenziale bei hoher Effizienz im Verkehr und der Industrie zu realisieren. Bei einer Erreichung der übergeordneten Ziele durch einen sehr starken Fokus auf den Stromsektor und den Ausbau der Sektorkopplung ist von Kostensteigerungen auszugehen. Ein moderater Fokus auf Strom kann sich hingegen sogar leicht kostenhemmend auswirken.

Tabelle 34: Auswirkungen der Flexibilisierungsoptionen auf das Kriterium Kosteneffizienz (relativ zur Referenz); ++/+: stark/moderat kostenhemmend; -- /- stark/moderat kostentreibend; 0 geringfügig.

Auswirkungen auf das Kriterium Kosteneffizienz (relativ zur Referenz)	Eff Strom	EE Strom	Eff Wärme	Direkt-EE Wärme	Eff Verkehr	Direkt-EE Verkehr	SK Verkehr	SK Wärme	Gesamtbewertung
Referenz	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex 1: EE hoch	-	-	++	+	--	-	+	+	0
Flex 2: Eff hoch	+	+	-	-	++	+	+	+	+
Flex 3: Fokus Strom	+	-	+	0	0	0	-	-	0
Flex 4: Fokus Strom+	+	--	++	-	--	+	-	-	-
Flex 5: Fokus Wärme/Strom	0	0	-	+	--	+	-	+	0
Flex 6: Fokus Verkehr/Strom	0	0	++	-	++	-	+	-	0

5.3.6 Sonstige Kostenaspekte

In der in dieser Studie gewählten Abgrenzung der Differenzkosten werden wie erläutert Kosten für Investitionen, Wartung und Betrieb sowie den Energiebedarf abgebildet. Nicht betrachtet werden dagegen die folgenden Aspekte:

- Transaktionskosten sowie weitere Kosten für die Implementierung der Politiken.
- Kostenspezifische Effekte aus volkswirtschaftlicher Sicht, wie z. B. die Änderungen der Außenhandelsbilanz, Arbeitsplatzeffekte und Verteilungseffekte.
- Neben-Nutzen bzw. -Kosten die mit der Energiewende in Zusammenhang stehen, wie beispielsweise die Erhöhung des Immobilienwerts durch verstärkte Gebäudesanierung oder erhöhte Komfortniveaus nach thermischer Sanierung der Gebäudehülle.

Die mit der Energiewende verbundenen Maßnahmen und Instrumente entfalten direkte, indirekte und induzierte makroökonomische Effekte (vgl. [Breitschopf et al. 2013]). Direkte und indirekte Effekte wirken sich in den verschiedenen Wirtschaftszweigen in Form von veränderter Produktion und Wertschöpfung aus. Daraus resultieren wiederum Änderungen in der Beschäftigung. Induzierte Effekte resultieren aus der volkswirtschaftlichen Kreislauflogik, veränderte Wertschöpfung und Einkommen beeinflussen das Nachfrageniveau. Die Quantifizierung der genannten makroökonomischen Wirkungen erfolgt durch makroökonomische Modelle, welche die genannten Wirkungszusammenhänge abbilden. Bruttoeffekte bezeichnen die direkten und indirekten positiven Effekte der Klimaschutzmaßnahmen, etwa die Beschäftigten, die direkt und indirekt dem Ausbau der Erneuerbaren Energien zugerechnet werden können oder der energetischen Sanierung von Gebäuden. Nettoeffekte bilden hingegen sowohl positive wie auch negative direkte, indirekte und induzierte Effekte ab.

Das BMUB hat in der Studie „Klimaschutzszenario 2050, 2. Modellierungsrunde“ ein Szenario mit 80% THG-Einsparungsziel in 2050 bezüglich der damit verbundenen volkswirtschaftlichen Effekte untersuchen lassen [Öko-Institut e.V. & Fraunhofer ISI 2015]. Eine Umsetzung von nötigen Klimaschutzmaßnahmen zur Erreichung des 80% THG-Einsparungsziel in 2050 in Deutschland bringt nach diesen Analysen deutlich positive gesamtökonomische Nettoeffekte mit sich. In 2050 liegt das BIP in einem solchen Szenario um 4.4 % (etwa 150 Mrd. Euro) höher als im Referenzfall ohne weitere Maßnahmen nach 2010. Auch die Beschäftigung liegt mit etwa 500.000 Beschäftigten um 1.3 % höher. Die positiven Effekte stellen sich bereits im Hinblick auf 2030 ein. Bis 2030 weist das untersuchte Szenario bei einer Minderung der Treibhausgasemissionen um 55 % einen Anstieg des BIP um insgesamt 2,7 % gegenüber einem Szenario ohne weitere Maßnahmen ab 2010 aus. Im Bereich der Beschäftigung liegen die Effekte 2030 sogar leicht über denen in 2050 mit einem mehr an Beschäftigten von etwa 600.000 oder 1,9 %.

Im Rahmen des Projekts „Makroökonomische Effekte der Energiewende“ ist zudem ein Vergleich des Kontrafaktischen Szenarios, welche ab dem Jahr 2000 eine hypothetische Welt ohne Energiewende, mit einem Energiewendeszenario im Hinblick auf die sich ergebenden volkswirtschaftlichen Effekte geplant. Die Ergebnisse dieser Studie werden im Jahr 2018 erwartet. Auch in der Studie „Klimapfade für Deutschland“ [BCG & Prognos 2018] zeigen die Ergebnisse zu den ökonomischen Auswirkungen der Zielszenarien von -80 % bzw. -95 % an THG-Emissionen bis 2050 neutrale bis leicht positive Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland.

Mit Änderungen in den Kosten des Energiesystems sind stets auch Verteilungseffekte verbunden. Höhere Kosten können für bestimmte Endverbrauchergruppen deutliche Mehrbelastungen

darstellen. Dies gilt insbesondere dann, wenn es für diese Endverbraucher keine oder nur beschränkte Möglichkeiten gibt, die Kosten weiterzugeben (z.B. über höhere Preise an die Kunden bestimmter Unternehmen) oder den damit verbundenen Energieverbrauch zu reduzieren. Bestehende Regelungen zur Verteilung der Kosten (z.B. die Ausnahmeregelungen des EEG oder die Finanzierung der Netzinfrastruktur) können diese Effekte verstärken. Dabei sind insbesondere höhere Belastungen für strukturschwache Regionen und Bevölkerungsgruppen mit niedrigem Einkommen kritisch zu bewerten. Diese Effekte sind ggf. durch weitere Maßnahmen zu adressieren (ein Beispiel dafür stellt der aktuelle Vorschlag zum Mieterstromgesetz dar).

Zudem sind geringe volkswirtschaftliche Differenzkosten nicht zwingend mit geringen einzelwirtschaftlichen Kosten von Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien oder zur Steigerung der Energieeffizienz verbunden. Damit kann die Attraktivität solcher Maßnahmen aus einzelwirtschaftlicher Sicht sinken. Dies kann auf Anforderungen an die Rentabilität und die Amortisation von Investitionen (z.B. im Industriesektor) zurückzuführen sein. Wesentliche Gründe können aber auch fehlende Informationen über den eigenen Energieverbrauch (insbesondere bei kleineren Unternehmen und privaten Haushalten) und geringe Kosten- bzw. Einkommenseffekte durch die Reduktion des Energieverbrauchs sein. Andererseits können die Anreize für bestimmte Maßnahmen aus einzelwirtschaftlicher Sicht auch höher sein, da der volkswirtschaftliche Kostenbegriff nur einen Teil der einzelwirtschaftlichen Kosten umfasst (z.B. Steuern und sonstige Abgaben), welche zusätzliche Anreize induzieren können. Darüber hinaus können in bestimmten Konstellationen, z.B. bei Vorherrschen eines Nutzer-Investor-Dilemmas, Investitionen in Effizienzsteigerungen deutlich gehemmt werden.

Eine Abschätzung der volkswirtschaftlichen Differenzkosten ist zudem insbesondere in langfristiger Perspektive mit wesentlichen Unsicherheitsfaktoren verbunden. Dies betrifft unter anderem technologiespezifische Lernkurven, die Entwicklung der Brennstoffpreise und das erwartete Zinsniveau. So hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass erneuerbare Energien im Bereich der Stromerzeugung die Lernkurven deutlich schneller durchlaufen haben als erwartet. Auch sind mittlerweile deutlich geringere Kosten am Ende der Lernkurve absehbar als noch vor einigen Jahren erwartet (vgl. [Agora 2017]).

5.3.7 Zwischenfazit

Auf Basis der durchgeführten Analysen können für das Kriterium Kosteneffizienz die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Ergebnisse zeigen, dass Potenziale zur Realisierung einer kosteneffizienten Transformation des Energiesystems vor allem bei Effizienzsteigerungen vorhanden sind. Dies gilt insbesondere für den Verkehrssektor und den Stromverbrauch. Auch im Wärmesektor ist dies teilweise der Fall, im Bereich der Energieversorgung von Gebäuden wirken Effizienzmaßnahmen bis 2030 jedoch eher kostentreibend. Sinkende Gesamtkosten im Gebäudebereich können eher längerfristig realisiert werden.
- Der Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor führt bis 2030 tendenziell zu höheren Gesamtkosten, insbesondere bei einem ambitionierten Ausbau und aufgrund des daraus entstehenden zusätzlichen Infrastrukturbedarfs. Auch eine stärkere Durchdringung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor ist tendenziell mit steigenden Gesamtkosten verbunden. Eine deutliche Zunahme von Sektorkopplung wirkt sich im Hinblick auf 2030 ebenfalls tendenziell kostentreibend aus.
- Daraus kann abgeleitet werden, dass Optionen zur Flexibilisierung der Sektorziele mit Fokus auf Effizienz in der Summe eher geringe Gesamtkosten bewirken. Dies ist insbesondere in Flex 2, aber auch in Flex 3 der Fall. Ein sehr starker Fokus auf den Stromsektor, insbesondere bei umfangreichem EE-Ausbau (z.B. in Flex 4), geht hingegen tendenziell mit hohen Gesamtkosten einher. Ein moderater Fokus auf den Stromsektor mit Unterstützung durch andere Sektoren reduziert jedoch die Kostenwirkungen wiederum (vgl. Flex 3).
- Bei dieser Bewertung muss berücksichtigt werden, dass auch im Hinblick auf 2030 wesentliche Unsicherheiten über die Entwicklung der angenommenen Rahmenbedingungen für spezifische Kostenentwicklung bestehen. Beispielsweise sind im Bereich der Lernkurven von Technologien zur erneuerbaren Stromerzeugung weitere Reduktionen möglich. Dies gilt auch für Batteriespeicher, die in Elektrofahrzeugen und für die Flexibilität des Stromsystems eine wesentliche Rolle spielen. Eine weitere entscheidende Rolle spielen in dieser Bewertung Unsicherheiten in der Entwicklung der Brennstoffpreise.
- Auch gilt es zu beachten, dass volkswirtschaftliche Kosteneffizienz nicht zwingend darauf hindeutet, dass Maßnahmen auch aus einzelwirtschaftlicher Sicht kurzfristig realisiert werden (z.B. im Industrie-Sektor). Zudem ist volkswirtschaftliche Kosteneffizienz nicht zwingend mit geringen volkswirtschaftlichen Kosten auf makroökonomischer Ebene oder positiven wirtschaftlichen Effekten verbunden. Um eine Bewertung verschiedener Ausprägungen des

Energiesystems im Hinblick auf diese Kriterien durchzuführen ist eine Analyse der gesamtwirtschaftlichen Zusammenhänge notwendig und es sind Verteilungseffekte durch die sich ergebenden Kostenbelastungen mitberücksichtigen.

Schließlich sollte Kosteneffizienz nicht isoliert betrachtet werden, sondern im Kontext der weiteren im Folgenden untersuchten Kriterien bewertet werden. So ist beispielsweise das Erreichen der energiepolitischen Ziele im Gebäudebereich aufgrund der Langlebigkeit von Gebäuden langfristig in Frage gestellt, wenn nicht frühzeitig mit der Sanierung des Gebäudebestands begonnen wird.

5.4 Bewertung der Ziele nach dem Kriterium Systemintegration

5.4.1 Begriffsdefinition und Abgrenzung der Analysen

Unter Systemintegration wird nach bisherigen Definitionen insbesondere die Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien in das Energiesystem verstanden. Von besonderer Bedeutung ist die Integration erneuerbarer Energien im Stromsystem. Im Stromsektor sind die Ziele für die angestrebten Anteile erneuerbarer Stromerzeugung mit mehr als 35 % im Jahr 2020 und mehr als 50 % im Jahr 2030 hoch. Dies stellt aufgrund der Erzeugungscharakteristika von Wind und Photovoltaik eine besondere Herausforderung für die Stromversorgung dar. Mit steigenden Anteilen erneuerbarer Energien ist in den kommenden Jahren von wesentlich höheren Herausforderungen bei der Systemintegration auszugehen.

Im Folgenden wird die Frage der Systemintegration um die Analyse der Effekte neuer Stromverbraucher (unter Berücksichtigung der Entwicklung der konventionellen Stromverbraucher) erweitert. Die Substitution fossiler Energieträgern durch Strom im Endenergieverbrauch (Sektorkopplung) kann erstens Energieeffizienzvorteile bieten und zweitens bei entsprechend hohen Anteilen erneuerbarer Energien im Stromsystem zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Energiesystem beitragen.

Bei einer umfassenden Sektorkopplung kann jedoch erwartet werden, dass weitere Herausforderungen für die Systemintegration entstehen. Die Stromnachfrage neuer Stromverbraucher muss durch die verfügbaren Erzeugungskapazitäten unter Berücksichtigung der Flexibilität im System und der verfügbaren Netzinfrastruktur gedeckt werden. Unter Umständen steigt die Verbraucherlast zu Spitzenlastzeiten, wodurch zusätzliche Anforderungen an das Ausmaß der gesicherten Leistung entstehen. Daher werden die Herausforderungen der Integration steigender Anteile erneuerbarer Energien und neuer Stromverbraucher im vorliegenden Bericht in einer integrierten Betrachtung behandelt.

Im Folgenden werden die verschiedenen Optionen der Ausgestaltung der Sektorziele für das Jahr 2030 hinsichtlich ihrer Herausforderungen im Hinblick auf die Systemintegration analysiert. Die Analysen werden inhaltlich in die beiden Bereiche a) Stromerzeugung und Stromverbrauch sowie b) Netzaspekte unterteilt. Die hierbei verwendete Methodik zur quantitativen Analyse in Bereich a) wird vorab beschrieben. Für die Analyse der Netzaspekte wird ein in weiten Teilen qualitativer Ansatz auf Basis vorhandener Studien verfolgt, der die beiden Teilbereiche Übertragungsnetze und Verteilnetze im Detail behandelt.

Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Sektorkopplung für die Systemintegration

Ein verstärkter Ausbau erneuerbarer Energien ist in Deutschland insbesondere durch Wind- und Photovoltaik-Anlagen möglich. Diese Anlagen weisen eine hohe Volatilität in ihren Einspeiseprofilen auf und besitzen zudem klare regionale Schwerpunkte der Erzeugung. Damit steigen die Anforderungen der Systemintegration sowohl hinsichtlich der Erzeugungs- und Speicherkapazitäten als auch netzseitig.

Im Jahr 2015 waren in Deutschland Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung mit einer Gesamtleistung von mehr als 97 GW installiert [BMW 2016c]. Bereits in der Vergangenheit stieg damit die Volatilität der Stromerzeugung deutlich an. Die maximale Erzeugung aus Photovoltaik-Anlagen betrug im Jahr 2014 mehr als 24 GW bei maximalen positiven bzw. negativen Leistungsgradienten von plus 8 GW/h bzw. minus 7 GW/h. Die maximalen Einspeisegradien für Windkraftanlagen lagen im Vergleich dazu bei plus 6,5 GW/h bzw. minus 8 GW/h [Fraunhofer ISE, 2015]. Für die Zukunft ist aufgrund des Ausbaus erneuerbarer Energien von steigenden absoluten Erzeugungsspitzen und Leistungsgradienten zu rechnen. Damit steigen die Herausforderungen der Systemintegration bzw. die Flexibilitätsanforderungen für das Stromsystem. Darüber hinaus muss die Netzinfrastruktur fähig sein, regional ungleich verteilte erneuerbare Einspeisung hoher Volatilität integrieren zu können.

Neben der Höhe des zusätzlichen jährlichen Stromverbrauchs durch neue Sektorkopplungstechnologien ist für deren Integration in das Energiesystem vor allem der zeitliche Verlauf des Stromverbrauchs entscheidend. Hier stellt sich die Frage, inwieweit durch den zusätzlichen Stromverbrauch im Wärme- und Verkehrssektor der notwendige Kapazitäts- und Flexibilitätsbedarf erhöht wird und in welchem Maße die Sektorkopplungstechnologien selbst flexibel eingesetzt werden können.

- Der Strombedarf von Wärmepumpen für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser konzentriert sich auf die kalten Wintermonate¹². Dabei ist zu beachten, dass die Jahresspitzenlast der Stromversorgung ebenfalls im Winter liegt. Bereits heute liegt die installierte elektrische Leistung von Wärmepumpen bei ca. 2,5 GW [BWP 2015]. Bis zum Jahr 2030 wird sich die Anschlussleistung bei verstärkter Sektorkopplung deutlich erhöhen. Dabei ist von einer

¹² Die nachfolgende Analyse fokussiert auf die „neuen“ Stromverbraucher Wärmepumpen sowie direktelektrische Prozesswärmeerzeuger mit einer Versorgungsaufgabe. Aufgrund der saisonal schwankenden Stromnachfrage dieser Technologien sind Fragen in Bezug auf deren Systemintegration relevanter als bei „Power-to-heat“-Anlagen, deren Aufgabe primär die Bereitstellung kurzfristiger nachfrageseitiger Flexibilität ist und die sich somit bereits gut in das Stromsystem integrieren. Bei Wärmepumpen liegt der Schwerpunkt der Analysen auf der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, welche heute und in kurz- bis mittelfristiger Perspektive das primäre Einsatzfeld von Wärmepumpen darstellt.

hohen Gleichzeitigkeit der Nutzung auszugehen. Der Bedarf von Prozesswärme unterliegt im Gegensatz zum Raumwärmebedarf deutlich geringeren saisonalen Schwankungen und ist insbesondere von den geleisteten Arbeitsstunden im produzierenden Gewerbe abhängig.

- Aufgrund der Nutzungscharakteristika von Pkw und der damit verbundenen möglichen Ladezeiten für Elektrofahrzeuge ist zu erwarten, dass der zusätzliche Stromverbrauch bei einer starken Durchdringung von Elektromobilität zumindest teilweise in für das Stromsystem kritischen Zeitpunkten auftritt. Fahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs sind vor allem untertags in Betrieb, wodurch die Ladezeiten vor allem in die Abendstunden bzw. in die Nachtstunden fallen. Somit ist zum Teil mit einer Verstärkung der schon bestehenden Laststruktur (Abend- und Winterspitze) zu rechnen. Dies wird dadurch verstärkt, dass Elektrofahrzeuge aufgrund des hohen Anteils des Stromverbrauchs für die Beheizung des Fahrzeug-Innenraums und der sinkenden Effizienz der Batterien bei tiefen Temperaturen einen höheren Stromverbrauch im Winterhalbjahr aufweisen.

Ein weiterer relevanter Parameter ist aus heutiger Sicht zudem die regionale Verteilung von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen und die daraus folgenden Anforderungen an die Stromnetzinfrastruktur.

5.4.2 Kriterium Systemintegration: Stromerzeugung und -verbrauch

Methodik

Für eine allgemeine Bewertung der Herausforderungen der Systemintegration in der Stromversorgung wird eine Methodik herangezogen, welche eine Analyse der sich ergebenden Residuallast (stündliche Stromnachfrage minus Einspeisung erneuerbarer Energien) umfasst. Damit werden Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Entwicklung der Stromnachfrage (u.a. durch neue Sektorkopplungstechnologien) in einer integrierten Betrachtung analysiert. Netzaspekte, insbesondere Auswirkungen auf die Netzinfrastruktur, die sich aufgrund der regionalen Verteilung neuer Stromverbraucher und der Einspeisung erneuerbarer Energien ergeben, werden dabei vorerst ausgeklammert und in Kapitel 5.4.3 mehrheitlich qualitativ diskutiert.

Die Residuallast wird dabei nach folgenden Kriterien analysiert:

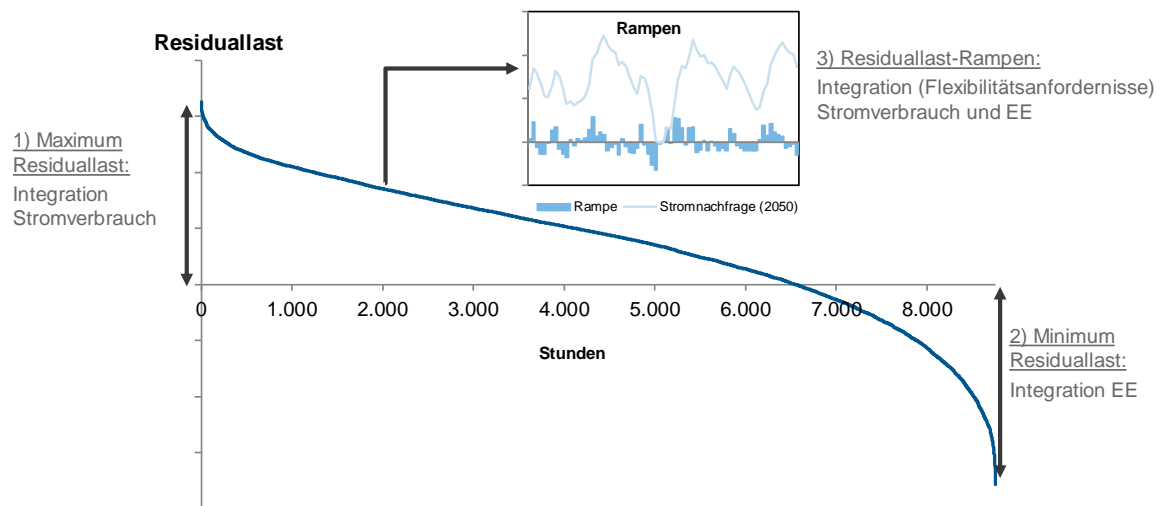
- Maximum: das Maximum der Residuallast stellt jene Stromnachfrage pro Stunde dar, die nach Berücksichtigung der

erneuerbaren Einspeisung noch gedeckt werden muss. Neue Stromverbraucher (z.B. im Wärme- und Verkehrssektor) führen tendenziell zu einer Erhöhung des Maximums der Residuallast (insbesondere bei inflexiblem Einsatz). Ein höheres Maximum der Residuallast führt zu größeren Herausforderungen bei der Integration des Stromverbrauchs und für die Bereitstellung von gesicherter Leistung.

- Minimum: das Minimum der Residuallast stellt jene Stromerzeugung dar, die bei Berücksichtigung der (inflexiblen) Stromnachfrage nicht integriert werden kann. Höhere Anteile erneuerbarer Energien sorgen aufgrund der Gleichzeitigkeit der Einspeisung tendenziell für eine zusätzliche Absenkung des Minimums der Residuallast. Ein tieferes Minimum der Residuallast sorgt tendenziell für größere Herausforderungen bei der umfassenden Integration erneuerbarer Energien.
- Residuallast-Rampen: Die Veränderung der Residuallast über einen bestimmten Zeitraum (z.B. eine oder mehrere aufeinander folgende Stunden) stellt die Volatilität dar, die durch die vorhandene Flexibilität im Stromsystem bedient werden muss. Rampen können positiv (steigende Stromnachfrage bzw. sinkende Einspeisung erneuerbarer Energien) und negativ (sinkende Stromnachfrage bzw. steigende Einspeisung erneuerbarer Energien) sein.

Abbildung 27 zeigt eine Übersicht über die ausgewählten Kriterien und den Analyseansatz mit einer schematischen Darstellung der Residuallast für ein Jahr. Die Analysen werden mit der zeitlichen Auflösung von einer Stunde durchgeführt. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass durch die gewählten Kriterien nur ein Teil der Herausforderungen adressiert wird. Beispielsweise stellen die Extremwerte (Minimum, Maximum) nur einen Aspekt der Systemintegration dar. Eine hohe Residuallast über einen längeren Zeitraum (z.B. über mehrere Tage) kann je nach Verfügbarkeit flexibler Erzeugungskapazitäten ebenfalls ein relevantes Kriterium darstellen. Aus Gründen einer kompakten Analyse werden solche Kriterien nicht mitbetrachtet. Die damit erhaltenen Ergebnisse sollen eine grobe Einordnung und einen Vergleich der Herausforderungen für unterschiedliche Ausprägungen des Stromsystems in den unterschiedlichen Flexibilisierungsoptionen erlauben.

Abbildung 27: Methodischer Ansatz quantitativer Analysen zum Kriterium „Systemintegration“



Quelle: eigene Darstellung

Die Analysen werden für die Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele im Jahr 2030 durchgeführt. Basis für die Residuallast ist ein Gesamt-Lastprofil, das alle relevanten Anwendungen und Sektoren abbildet (inkl. Netzverluste, ausgenommen der neuen Stromverbraucher). Zudem wird ein vorhandenes Einspeiseprofil erneuerbarer Energien berücksichtigt. Dabei werden Stromverbrauchsprofile bzw. Einspeiseprofile erneuerbarer Energien verwendet, welche im Rahmen der Szenarienrechnungen der Studie „Makroökonomische Effekte der Energiewende“ [Prognos et al. 2018] berechnet wurden.

Die Profile für die neuen Stromverbraucher im Wärmesektor werden auf Basis von verfügbaren Wärmelastprofilen bestimmt. Dabei wird die Temperaturabhängigkeit von Wärmepumpen unter Berücksichtigung tagesscharfer Temperaturprofile mit einbezogen. Zudem wird eine abnehmende Effizienz bei sehr tiefen Temperaturen unterstellt. Da die Arbeitszahl von Wärmepumpen von der Temperatur der Wärmequelle und von der benötigten Vorlauftemperatur des Heizsystems abhängt, verändert sie sich im Jahresverlauf. Daher spielt die genutzte Wärmequelle eine entscheidende Rolle. Luft/Wasser-Wärmepumpen arbeiten im Allgemeinen in den kältesten Monaten des Jahres am ineffizientesten. Monoenergetische Systeme, bei denen an sehr kalten Tagen die Wärmebereitstellung durch einen Heizstab unterstützt wird, weisen bei tiefen Temperaturen ebenfalls einen deutlich niedrigeren Wirkungsgrad auf. Für den neuen Stromverbrauch im Bereich der Prozesswärme wird das Profil vereinfacht auf Basis bekannter Volllaststunden im Industriesektor erstellt.

Für den Verkehrssektor werden auf Basis von Nutzungscharakteristika für Pkw mögliche Ladeprofile entwickelt. Da Elektrofahrzeuge nur beladen werden können, wenn sie nicht fahren, ist bei Elektro-Fahrzeugen der ruhende Verkehr (Parkzeit) der für das Stromsystem zentrale Parameter. Parkzeiten können vereinfacht als Inverse der Verkehrsnachfrage verstanden werden. In dieser Betrachtung haben die Fahrzeuge zwei Zustände: fahren und stehen. Da Informationen über die tageszeitliche Pkw-Nutzung vorhanden sind, kann hieraus auch die tageszeitliche Parkzeit abgeleitet werden. Aus der Erhebung „Mobilität in Deutschland“ lässt sich näherungsweise ableiten, wann wie viele Fahrzeuge unterwegs sind, bzw. sich im ruhenden Verkehr befinden [infas & DLR 2008]. Daraus wird unter Berücksichtigung der Ladeleistung und des Nutzerverhaltens abgeleitet, wie hoch der Stromverbrauch pro Stunde ist. Die Temperaturabhängigkeit des Stromverbrauchs für Elektrofahrzeuge (Beheizung und geringe Effizienz der Batterie im Winter bzw. Klimatisierung im Sommer) wird in den angewendeten Stromverbrauchsprofilen mit abgebildet. Der Stromverbrauch liegt dadurch für einzelne Tage im Winter um bis zu 50-60 % und im Sommer um bis zu 20 % höher als in der Übergangszeit mit mittleren Temperaturen.

Als Witterungsjahr wird generell das Jahr 2012 verwendet. In einem ersten Schritt werden neue Stromverbraucher als inflexible Stromverbraucher dargestellt, welche ausschließlich auf Basis ihrer Nutzungscharakteristika bzw. bekannter Wärmeprofile abgebildet werden. In einem weiteren Schritt werden die neuen Stromverbraucher als (unter Berücksichtigung ihrer technischen und nutzungsbedingten Rahmenbedingungen) exemplarisch als flexible Verbraucher betrachtet. Dafür sind jedoch in Zukunft verstärkte Maßnahmen notwendig, welche eine Flexibilisierung des Stromverbrauchs dieser Anwendungen ermöglichen.

Bewertung der Flexibilisierungsoptionen nach dem Kriterium der Systemintegration

Die Analysen zum Kriterium Systemintegration werden für die in Kapitel 5.2.6 definierten Flexibilisierungsoptionen durchgeführt.

Tabelle 35 zeigt die grundsätzlichen Effekte der festgelegten Steuerungsziele auf das Stromsystem.

Tabelle 35 Wesentliche Kenngrößen des Stromsystems für die unterschiedlichen Steuerungsziele im Jahr 2030

Charakteristika	Einheit	Ref	Flex 1	Flex 2	Flex 3	Flex 4	Flex 5	Flex 6
Stromverbrauch inkl. SK	TWh	528.97	512.93	483.87	502.83	515.96	531.89	530.43
Maximum EE-Einspeisung	GW	110.55	123.19	93.05	110.55	130.29	107.77	113.34
Minimum EE-Einspeisung	GW	3.52	3.75	3.22	3.52	3.88	3.46	3.57
Stromnachfrage WP	TWh	20.42	11.67	11.67	20.42	26.25	11.67	29.17
Spitzenlast WP	GW	12.42	7.10	7.10	12.42	15.97	7.10	17.74
Stromnachfrage Emob	TWh	14.58	7.29	7.29	17.5	24.79	26.25	7.29
Spitzenlast Emob	GW	6.09	3.05	3.05	7.31	10.36	10.97	3.05

Quelle: eigene Darstellung

Der Stromverbrauch (Nettostromverbrauch inkl. Netzverluste) liegt, auch unter Berücksichtigung der neuen Stromverbraucher Wärmepumpen und Elektromobilität, in den verschiedenen Flexibilisierungsoptionen in einer ähnlichen Größenordnung. In Flex 2 wird bei geringer Durchdringung von Sektorkopplung und hoher Stromeffizienz mit 484 TWh der tiefste Stromverbrauch realisiert. Flex 5 bzw. Flex 6 weisen hingegen aufgrund der hohen Durchdringung von Elektromobilität bzw. Wärmepumpen mit rund 532 TWh bzw. 530 TWh den höchsten Stromverbrauch auf.

Im Vergleich zum gesamten Stromverbrauch ist der zusätzliche Stromverbrauch von Elektromobilität und Wärmepumpen pro Jahr relativ gering und beträgt in allen Optionen weniger als 10 % des gesamten jährlichen Stromverbrauchs. Durch das Stromverbrauchsprofil dieser Anwendungen liegt die individuelle Spitzenlast der neuen Stromverbraucher jedoch bei bis zu 18 GW. Die gesamte Spitzenlast im Stromsystem steigt dementsprechend bei hoher Durchdringung von Sektorkopplung stärker als der Stromverbrauch. Während in Flex 2 bei hoher Stromeffizienz und geringer

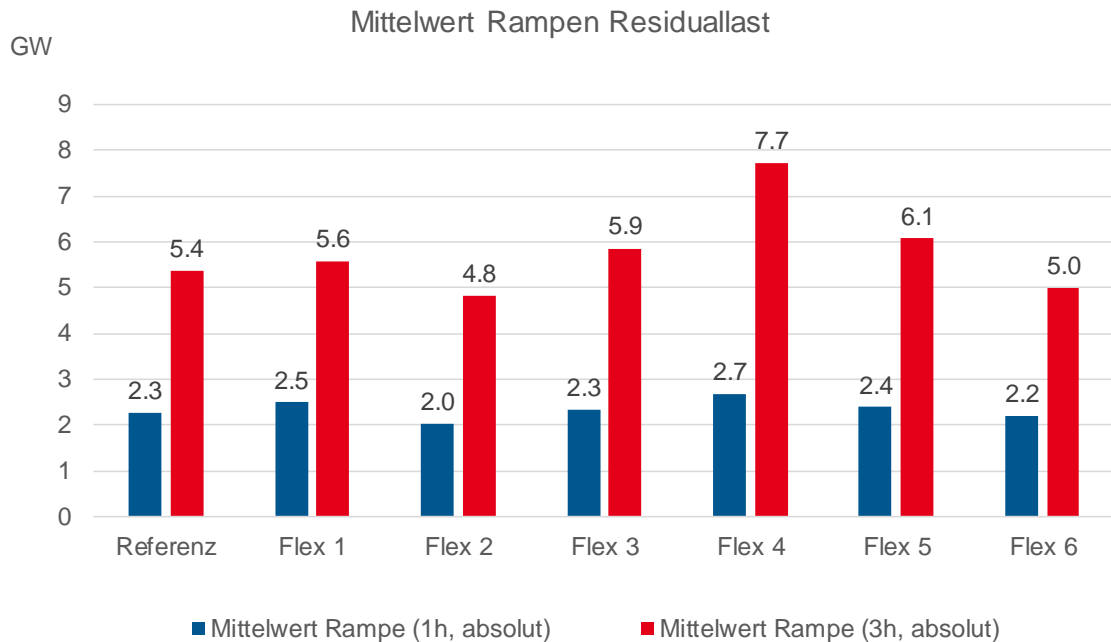
Durchdringung von Sektorkopplung die Spitzenlast nur bei rund 78 GW liegt, steigt die Spitzenlast beispielsweise in Flex 4 bei hoher Durchdringung von Sektorkopplung auf mehr als 90 GW. Dies ist einerseits auf die Verbrauchsprofile von Wärmepumpen (Winterspitze) und Elektromobilität (Abendspitze plus Saisonalität durch Heizung bzw. Klimatisierung) zurückzuführen. Andererseits werden diese Technologien in diesem ersten Ansatz als inflexible Stromverbraucher modelliert, um die Herausforderungen einer starken Durchdringung von Sektorkopplung aufzuzeigen. In einem zweiten Schritt wird ein flexibler Einsatz der neuen Stromverbraucher abgeschätzt (vgl. dazu Abbildung 30). Stromeffizienz leistet zudem einen wesentlichen Beitrag, die Spitzenlast zu senken. Dies zeigt beispielsweise der Vergleich der Spitzenlast in Flex 1 (84 GW bei geringer Stromeffizienz) und Flex 2 (78 GW bei hoher Stromeffizienz).

Hohe Anteile erneuerbarer Energien am Stromverbrauch führen insbesondere bei gleichzeitig geringer Stromeffizienz zu einer hohen jährlichen Stromerzeugung und damit auch hohen maximalen Einspeisungen aus erneuerbaren Energien. Dies zeigt sich beispielsweise in Flex 1. In Flex 4 ist aufgrund der angestrebten Erreichung der energiepolitischen Ziele bei starkem Fokus auf den Stromsektor ein sehr hoher Anteil erneuerbarer Energien notwendig. Dies resultiert in einer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von rund 400 TWh und einer maximalen Einspeisung von mehr als 130 GW. Im Vergleich mit Flex 3 zeigt sich, dass eine gleichzeitige Unterstützung durch Effizienz und durch den Ausbau erneuerbarer Energien in anderen Sektoren (Wärmesektor und Verkehrssektor) den Ausbau erneuerbarer Energien deutlich absenkt. Die jährliche Stromerzeugung liegt bei rund 321 TWh und die maximale Einspeisung bei rund 108 GW.

Um die Herausforderungen in den verschiedenen Flexibilisierungsoptionen der Sektorziele für das Stromsystem im Sinne der Systemintegration abzuschätzen, wird aus den Stromverbrauchsprofilen und den Einspeiseprofilen erneuerbarer Energien die Residuallast gebildet.

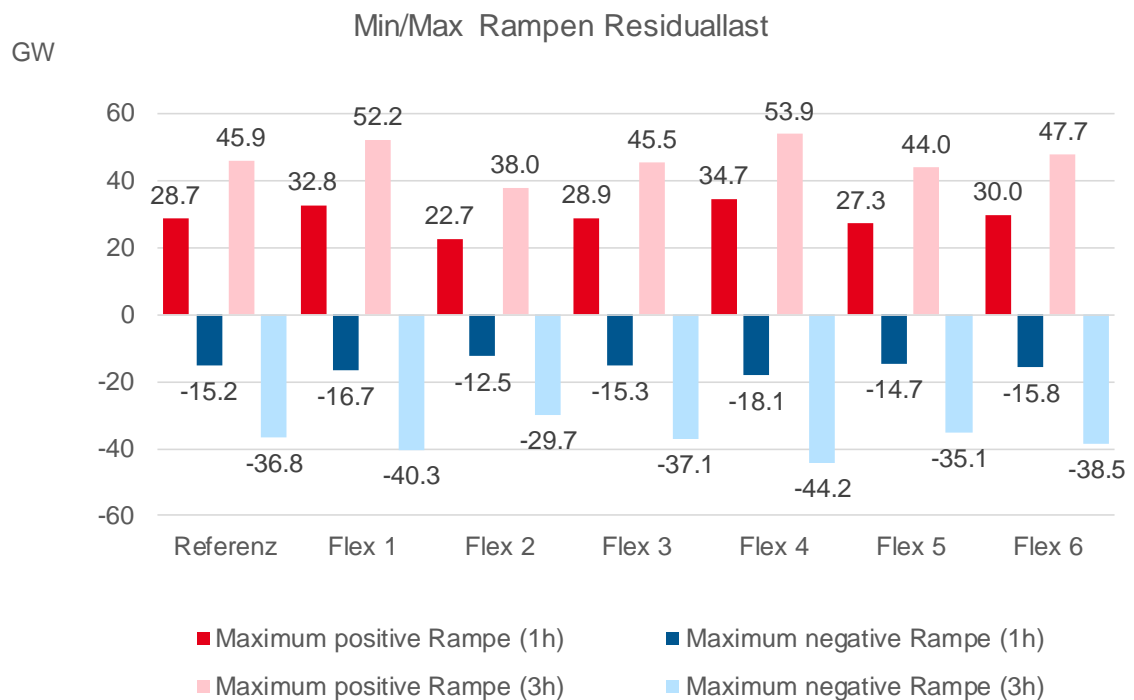
Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen die Ergebnisse zu den resultierenden Rampen der Residuallast, d.h. zu den Anforderungen der kurzfristigen Flexibilität im Stromsystem über einzelne bzw. mehrere Stunden. Während Abbildung 28 mittlere Rampen für 1 Stunde und für 3 aufeinanderfolgende Stunden zeigt, werden in Abbildung 29 die jeweiligen Maximalwerte dargestellt.

Abbildung 28: Kriterium Systemintegration: Mittlere Rampen der Residuallast über 1h bzw. 3h



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 29 Kriterium Systemintegration: Minima/Maxima der Rampen der Residuallast über 1h bzw. 3h



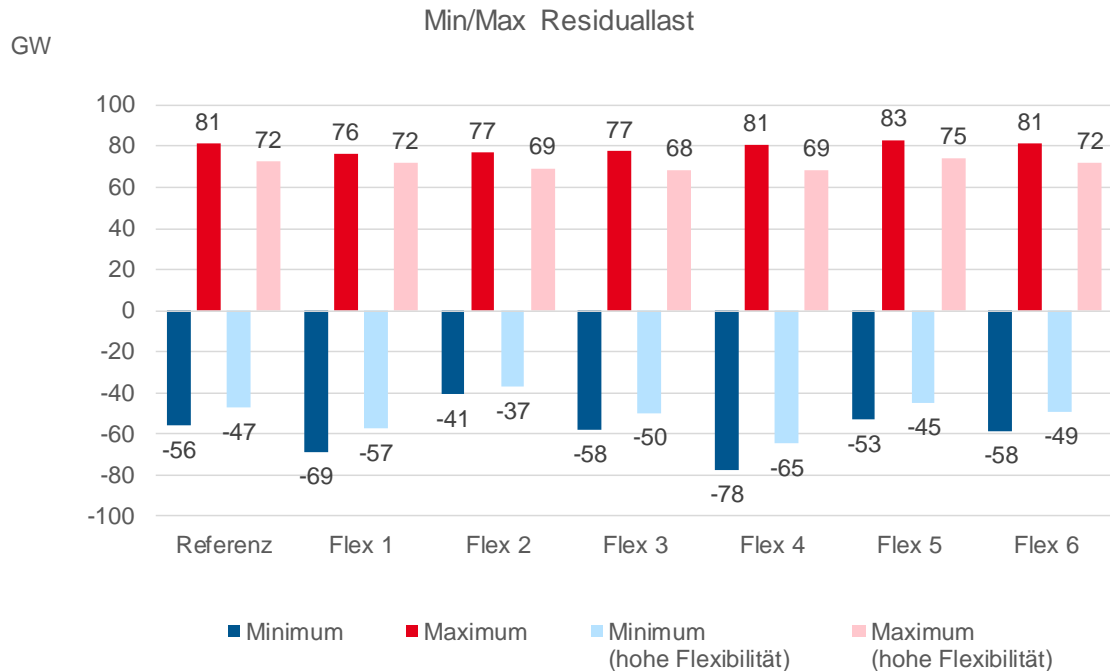
Quelle: eigene Darstellung

Wie Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen, sind die Herausforderungen hinsichtlich der kurzfristigen Flexibilität des Systems in Flex 4 (mit einem starken Fokus auf den Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsystem und einer hohen Durchdringung von Sektorkopplung) am höchsten. Daneben sind in Flex 5 (hohe Durchdringung von Elektromobilität bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien) und Flex 1 (hohe Anteile erneuerbarer Energien) relativ hohe Flexibilitätsanfordernisse gegeben. In Flex 4 bzw. Flex 1 liegen die durchschnittlichen Residuallastrampen über drei Stunden bei mehr als 6 GW. Die maximalen Rampen über drei Stunden liegen in Flex 4 und Flex 1 bei über 50 GW. Dabei wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass in diesem ersten Schritt eine Abschätzung ohne flexiblen Einsatz der neuen Stromverbraucher erfolgt.

In Flex 3 und Flex 2 sind die Herausforderungen in dieser Betrachtung deutlich geringer. Gründe dafür sind höhere Effizienzziele im Stromsektor, aber auch die höheren Effizienzziele in den sonstigen Sektoren, wodurch die für die Erreichung der energiepolitischen Ziele notwendige Durchdringung von Sektorkopplung und der Ausbau erneuerbarer Energien tiefer ausfallen kann. Tiefere positive und negative Rampen der Residuallast weisen darauf hin, dass die Anforderungen im Stromsystem für die verbleibenden flexiblen Kapazitäten geringer ausfallen.

Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse der Analysen zum Minimum und Maximum der Residuallast im Jahr 2030.

Abbildung 30: Kriterium Systemintegration: Minima/Maxima der Residuallast



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 30 zeigt, dass vor allem bei Sektorzielen mit hoher Durchdringung von Sektorkopplung (bei gleichzeitig tiefen Effizienzzielen im Stromsektor) das Maximum der Residuallast deutlich über 80 GW liegen kann. Diese Last muss durch die verbleibende Flexibilität im System gedeckt werden bzw. kann durch höhere Flexibilität der neuen Stromverbraucher reduziert werden. Insbesondere Flex 4 und Flex 5 zeigen eine hohe maximale Residuallast aufgrund der hohen Durchdringung von Sektorkopplung und (in Flex 5) aufgrund tiefer Effizienzziele im Stromsektor. Flex 1 und Flex 2 weisen insbesondere durch die geringe Durchdringung von Sektorkopplung geringe Maximalwerte auf. In Flex 3 wird die maximale Residuallast durch höhere Stromeffizienz (und etwas geringere Durchdringung von Sektorkopplung) beispielsweise im Vergleich zu Flex 5 deutlich reduziert.

Abbildung 30 zeigt als Vergleich zu einem inflexiblen Einsatz der neuen Stromverbraucher zusätzlich Ergebnisse für einen flexiblen Einsatz dieser Stromverbraucher. Für Elektrofahrzeuge wird dabei ein Anteil von flexiblen Verbraucher von 60 % angenommen. Wärmepumpen können zudem ihre Nachfrage innerhalb von 2-3 Stunden verschieben. Dabei wird deutlich, dass ein flexibler Einsatz von Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen das Stromsystem grundsätzlich deutlich entlasten kann. Das gilt insbesondere bei hoher Durchdringung von neuen Stromverbrauchern. Beispielsweise kann die maximale Residuallast in Flex 4 von 81 auf 69 GW reduziert werden. Aufgrund der beschränkten Flexibilität dieser Verbraucher

sind die Maximal- bzw. Minimalwerte der Residuallast jedoch grundsätzlich weiterhin höher als in den Flexibilisierungsoptionen mit moderater Durchdringung von Sektorkopplung.

Darüber hinaus ist das Minimum der Residuallast bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien (bei gleichzeitig tiefen Effizienzzielen) sehr tief. Neben Flex 4 tritt dies insbesondere in Flex 1 auf, da in dieser Option der Fokus stark auf dem Ausbau erneuerbarer Energien liegt. Sehr tiefe Werte deuten darauf hin, dass zu bestimmten Zeiten im Jahr erneuerbaren Energien nicht ohne weitere Flexibilitätsmaßnahmen integriert werden können. Ein Vergleich des inflexiblen mit dem flexiblen Einsatz von neuen Stromverbrauchern zeigt, dass Wärmepumpen und Elektromobilität auch in diesem Bereich einen wesentlichen Beitrag leisten können.

An dieser Stelle wird abschließend darauf hingewiesen, dass im Vergleich zur heutigen Situation im Stromsektor in allen Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele die Herausforderungen der Systemintegration ansteigen. Dies ist einerseits auf den Ausbau erneuerbarer Energien zurückzuführen. Andererseits zeigt die Durchdringung von Sektorkopplung, je nachdem wie flexibel die neuen Verbraucher eingesetzt werden, deutliche Effekte.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Stromverbrauch, insbesondere auch die neuen Stromverbraucher (bei flexiblem Einsatz) einen wesentlichen Beitrag zur Systemintegration leisten können. Insbesondere für Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge sollten bei einer hohen Durchdringung Maßnahmen gesetzt werden, welche einen flexiblen Einsatz dieser Stromverbraucher ermöglichen. Dies gilt auch für die Flexibilisierung der Einspeisung erneuerbarer Energien. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, die Herausforderungen der Systemintegration deutlich zu reduzieren. Mögliche technische Restriktionen bzw. Effekte auf die Effizienz im Betrieb und die Lebensdauer müssen dabei jedoch mitberücksichtigt werden.

Zwischenfazit

Auf Basis der durchgeführten Analysen können die folgenden vorläufigen Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Im Stromsystem sind zukünftig bei Anstreben der energiepolitischen Ziele unabhängig von der gewählten Option zusätzliche Herausforderungen im Bereich der Systemintegration erwarten. Ein wesentlicher Einflussfaktor dafür ist der deutliche Ausbau erneuerbarer Energien.
- Bei einem hohen Ausbau erneuerbarer Energien, der den Anteil von 50 % am Bruttostromverbrauch wesentlich

übersteigt, sind deutlich höhere Flexibilitätsanfordernisse im Stromsystem zu erwarten. Dies gilt insbesondere bei nur moderaten Effizienzzielen im Stromsektor.

- Bei einer deutlichen Durchdringung von Sektorkopplung bis 2030 ist insbesondere bei einem inflexiblen Einsatz dieser Stromverbraucher mit deutlich höheren Anforderungen für Back-up-Kapazitäten und mit gleichzeitig höheren Flexibilitätsanfordernissen im Stromsystem zu rechnen.
- Ambitionierte Effizienzziele für den Stromsektor helfen, diese Herausforderungen zu minimieren. Ambitionierte Effizienzziele in den anderen Sektoren helfen zudem, den für die Zielerreichung notwendigen Ausbau erneuerbarer Energien und die notwendige Durchdringung von Sektorkopplung zu reduzieren und damit die Herausforderungen der Systemintegration im Stromsektor zu minimieren.
- Dies gilt jedoch auch für einen flexiblen Einsatz neuer Stromverbraucher. Neue Maßnahmen, die einen flexiblen Stromverbrauch von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen ermöglichen, gewährleisten eine wesentliche Reduktion der Herausforderungen der Systemintegration. Umgekehrt ist bei einem inflexiblen Stromverbrauch durch Sektorkopplung von deutlich höheren Herausforderungen für die Systemintegration im Stromsektor auszugehen.

5.4.3 Systemintegration: Netzaspekte

Abgrenzung der Analysen

Innerhalb dieses Kapitels wird das Kriterium der Systemintegration in Bezug auf Stromnetz Aspekte ausgeweitet. Weitere Netzinfrastrukturen, wie beispielsweise Verkehrswege oder Wärmeversorgungsnetze werden nicht betrachtet, da diese für die Analysen der Systemintegration nur eine untergeordnete Rolle spielen. Innerhalb der Betrachtungen der Stromnetze werden sowohl Analysen auf Übertragungs- als auch auf Verteilnetzebene vorgenommen.

Die zu analysierenden Aspekte innerhalb des Stromsystems umfassen insbesondere den Netzausbau sowie sonstige notwendige Anpassungen am Stromnetz und die damit verbundenen Kosten. Dabei spielt die Integration erneuerbarer Energien, neuer Stromverbraucher wie Elektromobilität und Wärmepumpen und deren regionale Verteilung eine wichtige Rolle.

Im Zusammenhang mit Aspekten zu Stromnetzen wird oft das Kriterium der Netzstabilität genannt. Für den Endverbraucher ist ein Stromnetz solange stabil wie eine Versorgung mit Strom sichergestellt ist. Nach dieser Herangehensweise ließe sich das Stromsystem in Deutschland nach dem in Deutschland vergleichsweise geringen Unterbrechungswert (SAIDI) im internationalen Vergleich als sehr stabil bezeichnen [Ceer; 2016]. Die steigenden Netzeingriffe in der Vergangenheit lassen jedoch auch ein anderes Bild zu. Außerdem ist von den Stromunterbrechungen vor allen Dingen die Verteilnetzebene betroffen, sodass sich dieser Wert nur unzureichend für Analysen auf Übertragungsnetzebene eignet. Der Begriff der Netzstabilität ist daher in diesen Analysen weiter gefasst als die unterbrechungsfreie Stromlieferung und beinhaltet auch vorgelagerte Nachsteuerungen der Netzbetreiber.

Unter dem Übertragungsnetz wird der Teil des Stromnetzes betrachtet, der für die Durchleitung von Strom über größere Entfernungen relevant ist. Neben der Spannungsebene von 220 kV und 380 kV fallen in diese Kategorie auch die im Bundesbedarfsplan aufgeführten Gleichstromleitungen mit jeweils 2 GW Leistung.

Im Gegensatz zu dem Übertragungsnetz, sorgt die Verteilnetzebene für die Verteilung des Stroms innerhalb einer Region und versorgt die Endverbraucher. Unterschieden wird im Verteilnetz zwischen der Hochspannungsebene 110 kV, der Mittelspannungsebene mit 10, 20 oder 30 kV und der Niederspannungsebene mit 0,4 kV.

Zur Diskussion der Netzaspekte im Rahmen des Kriteriums Systemintegration wird eine mehrheitlich qualitative Diskussion der wesentlichen Einflussfaktoren und Effekte vorgenommen. Die Analysen werden im Anschluss auf die unterschiedlichen Pfade des

Ausbau erneuerbarer Energien, der Energieeffizienz und der Durchdringung von Sektorkopplung in den Flexibilisierungsoptionen für die Sektorziele bezogen. Dabei wird vorrangig auf vorhandene Literatur abgestellt und es werden nur ergänzend eigene Berechnungen vorgenommen. Der zeitliche Fokus liegt dabei auf den Zielen des Betrachtungsjahres 2030.

Beschreibung der Einflussfaktoren

Die Stabilität des Stromnetzes wird sowohl auf Übertragungsebene als auch auf Verteilnetzebene durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Diese Einflussfaktoren weisen in den Flexibilisierungsoptionen in Kapitel 5.2.6 unterschiedliche Werte auf.

Ausbau erneuerbarer Energien

Der Ausbaupfad der erneuerbaren Energien beeinflusst sowohl die Netzstabilität des Übertragungsnetzes, als auch des Verteilnetzes. Entscheidend für die Netzstabilität ist insbesondere die Abstimmung des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Netze aufeinander.

In der Vergangenheit erfolgte der Zubau erneuerbarer Energien vor allen Dingen standortgetrieben. In Folge dessen wurde relativ viel Windenergie im Norden und Osten Deutschlands zugebaut und musste über das Übertragungsnetz in die Verbrauchszentren im Süden und Westen Deutschlands transportiert werden. Da der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Vergangenheit schneller erfolgte als der Zubau benötigter Übertragungsnetzkapazitäten kam es in den vergangenen Jahren immer häufiger zu Situationen, in denen Netzengpässe im Übertragungsnetz auftraten. Die Folge sind relativ teure Anpassungsmaßnahmen wie Redispatch, mit denen die Übertragungsnetzbetreiber zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität nachsteuern. So kam es im Jahr 2016 zu Einspeisereduzierungen in Höhe von 6.256 GWh, die Kosten in Höhe von 218,8 Millionen Euro verursachten.

Die Verteilnetzebene ist durch den Ausbau erneuerbarer Energien ebenfalls betroffen, da Erzeugungsanlagen wie kleinere Windkraftanlagen und PV in den häufigsten Fällen ans Verteilnetz angeschlossen sind. Mangelnde Netzkapazitäten können ebenfalls dazu führen, dass Anpassungsmaßnahmen nötig sind.

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht bis 2030 einen Anteil erneuerbarer Energien von mindestens 50% am Bruttostromverbrauch vor. Bei einem ambitionierten Pfad des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Flexibilisierung der Ziele werden Anteile von über 60 % und sogar bis zu 75 % erreicht. Innerhalb der Szenarien des Netzentwicklungsplans (NEP) wird demgegenüber nur

eine relativ geringe Bandbreite zwischen Anteilen erneuerbarer Energien von 50,6 und 53,4 Prozent betrachtet.

Neue Stromverbraucher/Sektorkopplung

Wie unter Kapitel 1.3.1 erläutert, kann die steigende Verbreitung von neuen Stromverbrauchern wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen auch für das Stromnetz für zusätzliche Herausforderungen sorgen. Entscheidend ist dabei das Ausmaß der Durchdringung neuer Stromverbraucher.

In den Szenarien des Netzentwicklungsplans 2030 wird eine unterschiedliche Verbreitung an Wärmepumpen und Elektromobilität berücksichtigt. Die Bandbreite im Jahr 2030 liegt dabei zwischen 1,1 Millionen Wärmepumpen im konservativen Szenario A und 4,2 Millionen im Innovationsszenario C. Ebenso liegt die Anzahl der Elektroautos in den Szenarios zwischen einer und sechs Millionen Stück. Wie in Kapitel 5.4.2 dargestellt, kann eine umfassende Durchdringung von neuen Stromverbrauchern mit einer deutlichen Erhöhung der Spitzenlast verbunden sein. Dies gilt insbesondere bei inflexiblem Einsatz dieser Technologien.

Die Spitzenlast im NEP ist jedoch in allen Szenarien auf 84 Gigawatt festgelegt. In den Szenarien mit hohem Anteil an Wärmepumpen und Elektroautos wird dieser Wert erreicht, indem sich ein Teil der Last verschiebt und dadurch flexibel auf Signale des Strommarktes reagiert. Die Spitzenlast im Szenario C 2030, mit den höchsten Anteilen an Wärmepumpen und Elektromobilität liegt ohne Lastverschiebung bei 88,7 Gigawatt. In diesem Szenario führt eine Verlagerung von 1,9 TWh an elektrischer Arbeit dazu, die vorgegebene Spitzenlast nicht zu überschreiten.

Die angenommene Verbreitung der Elektrofahrzeuge im NEP bis zum Jahr 2030 kann als relativ moderat eingeschätzt werden. Der angenommene Ausbau führt in den Szenarien nicht zu einer Überschreitung der genehmigten Jahreshöchstlasten.

Dies ist im Szenario B und vor allen Dingen im Szenario C auf die unterstellte Flexibilität auf Verbraucherseite zurückzuführen. Allerdings zeigen die Szenarien, dass eine weitere Verbreitung der Elektromobilität durchaus signifikante Auswirkungen auf die Netzplanungen des Übertragungsnetzes haben können. Dies gilt insbesondere auch bei deutlichen regionalen Häufungen des Stromverbrauchs durch Wärmepumpen und Elektromobilität. In den Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele (vgl. Kapitel 5.2.6) ist die Durchdringung neuer Stromverbraucher zum Teil deutlich höher als in den Szenarien des NEP. Dementsprechend ist in einem solchen Fall mit steigenden netzseitigen Herausforderungen zu rechnen.

Durch die steigende Verbreitung von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen ist vor allen Dingen eine zusätzliche Last auf Nieder und Mittelspannungsebene zu erwarten. Die Hochspannungsebene ist relativ gering betroffen da Durchmischungseffekte mit Rückgängen des konventionellen Verbrauchs auftreten. Auf Verteilnetzebene hängen die Belastungen für den Netzbetrieb durch die neuen Stromverbraucher erheblich von der Betriebsweise dieser neuen Verbrauchergruppen ab. Ein marktorientierter Betrieb von Wärmepumpen und Elektromobilität, der sich an den Signalen eines deutschlandweiten Marktes orientiert, kann nach aktuellen Abschätzungen zu einer Erhöhung der Spitzenlast auf bis zu 170% in der Mittelspannung und 150% in der Niederspannung führen. Der in der Studie unterstellten Durchdringung mit neuen Verbrauchern liegen die Zahlen des NEP B 2030 Szenarios zu Grunde.

Demgegenüber führt ein netzorientierter Betrieb der neuen Verbraucher zu einer Reduktion der Spitzenlast in allen Spannungsebenen der Verteilnetze. Zusätzlich dazu, gehen Starklastfälle bei netzorientiertem Betrieb sowohl auf der Nieder- als auch auf der Mittelspannungsebene signifikant zurück [Rehtanz 2017].

Da neue Verbraucher gerade auf Verteilnetzebene zu hohen Spitzenlasten und damit einem hohen Bedarf für Netzverstärkungen führen können, ist aktuell die Anschlussleistung auf Basis der technischen Anschlussbedingungen z.B. pro Haushalt für die Elektromobilität auf 4,6 kVA beschränkt. Damit bestehen für Schnelllader, die deutlich höheren Leistungsbezug aufweisen können, bereits heute gewisse technische Restriktionen.

Regionale Verteilung

Wie bereits erwähnt ist die regionale Verteilung des Zubaus erneuerbarer Energien und des Stromverbrauchs ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Netzbelastungen des Verteil- und Übertragungsnetzes.

In den Szenarien zum NEP wird die regionale Verteilung erneuerbarer Energieanlagen auf Bundesländerebene berücksichtigt. Neben Analysen zum historischen Ausbaubestand und den zukünftigen Potenzialen fließen in die Analysen des Zubaus auch unterschiedliche Regularien ein, die den erneuerbaren Energien Ausbau beeinflussen. Beispielsweise wurden neben der 10H Regelung in Bayern, auch Abfragen von Landesämtern und Verteilnetzbetreibern berücksichtigt.

In der Vergangenheit kam es vor allen Dingen beim Windausbau zu einer starken Konzentration des Zubaus im Norden und Osten Deutschlands. Um den weiteren Zubau regional zu steuern hat der Gesetzgeber im EEG 2017 ein Netzausbauggebiet definiert, indem der Zubau von Wind an Land auf 58% der jährlichen Zubauleistung der Jahre 2013 bis 2015 gedrosselt wird. Hierdurch soll einer

weiteren regionalen Konzentration des Windkraftzubaues entgegenwirkt werden. Nach den Szenarien des NEP wird Wind vor allen Dingen in den Bundesländern des Nordens und Ostens zugebaut. In den Küstenbundesländern ist der Windanteil aufgrund des Windzubaues auf See besonders hoch. Photovoltaik wird am stärksten in den südlichen und westlichen Bundesländern zugebaut. Allerdings wird PV auch stark im Nordwesten zugebaut, da hier aufgrund der Bevölkerungsdichte im Raum Hamburg zahlreiche Dachflächen vorhanden sind.

Vom Zubau erneuerbarer Energien sind ländliche Verteilnetze insgesamt deutlich stärker betroffen als urbane Verteilnetze, da der Zubau vorwiegend in ländlicheren Gegenden stattfindet. Bereits 2014 überstieg für 5% der Verteilnetzbetreiber die installierte erneuerbare Energien Leistung die jährliche Höchstlast. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Lastflüsse in diesen ländlichen Verteilnetzen stark durch die Einspeisung erneuerbarer Energien beeinflusst werden. In Zukunft ist mit einer Verstärkung dieser Herausforderungen zu rechnen, die insbesondere auch mit dem Ausbau erneuerbarer Energien ansteigen.

Im Netzentwicklungsplan wird von einer unterschiedlichen regionalen Konzentration der Elektromobilität ausgegangen. So wirkt sich beispielsweise die steigende Verbreitung der Elektromobilität unterschiedlich in den einzelnen Bundesländern aus. Der Anstieg der Nettostromnachfrage je Bundesland liegt im Szenario B des NEP zwischen 3,15 (Berlin) und 0 Prozent (Mecklenburg-Vorpommern). Besonders stark steigt die Stromnachfrage durch Elektrofahrzeuge in den Stadtstaaten und den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg an.

Die Zunahme an neuen Verbrauchern wirkt sich insgesamt deutlich stärker in urbanen Gebieten aus als im ländlichen Raum, da diese aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte eine größere Verbreitung pro Fläche finden. Daher werden die Verteilnetze stärker durch Elektromobilität und Wärmepumpen belastet als im städtischen Bereich.

Kostenseitig haben diese Effekte bis 2030 sehr unterschiedliche Effekte auf die städtischen und ländlichen Verteilnetze. Für Baden-Württemberg ergibt eine Studie [Rehtanz 2017], dass die Kosten im städtischen Bereich je Flächenkilometer deutlich höher (177 Tsd. Euro) liegen als im ländlichen Bereich (84 Tsd. Euro). Auf die Einwohnerzahl heruntergerechnet sind die Kosten im städtischen Bereich jedoch geringer (118 Euro/Einwohner) als im ländlichen Bereich (717 Euro/Einwohner).

Die regionale Entwicklung des sonstigen Stromverbrauchs ist in den Szenarien des NEP ebenfalls unterschiedlich. Mit Ausnahme des Bundeslandes Berlin kommt es in allen neuen Bundesländern zu einem Rückgang der Nachfrage. Im Gegensatz dazu steigt in

den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg die Stromnachfrage in allen Szenarien an. In den anderen Bundesländern kommt abhängig von der Szenariowahl zu unterschiedlichen Entwicklungen.

Sonstige Einflussfaktoren

Die Entwicklung der Wirtschaftskraft und der Bevölkerung stellen sowohl Einflussfaktoren auf den Stromverbrauch als auch auf dessen regionale Verteilung dar. Im NEP ist die unterstellte Entwicklung der Bevölkerung und Wirtschaftsleistung in allen Szenarien gleich. Die Übertragungsnetzbetreiber legen für die Bevölkerung eine Entwicklung zugrunde, die bis 2020 eine leichte Zunahme unterstellt, gefolgt von einem Rückgang in den darauffolgenden Jahrzehnten. Die regionale Entwicklung ist allerdings großen Unterschieden verbunden. Nach der Prognose, die bis 2035 dargestellt ist, kommt es vor allen Dingen in weiten Teilen der Neuen Bundesländer zu einem Bevölkerungsrückgang. Eine Ausnahme bildet hier vor allen Dingen der Großraum Berlin, sowie die Städte Dresden und Leipzig. Die unterstellte Wirtschaftsentwicklung geht von einem jährlichen Durchschnittswachstum von 0,93 Prozent aus.

Für den Stromverbrauch der Sektoren Haushalte, GHD, Industrie und Verkehr haben diese Annahmen unterschiedliche Auswirkungen. Die Bevölkerungsentwicklung beeinflusst insbesondere den Stromverbrauch des Haushaltssektors und des Verkehrssektors. Die wirtschaftliche Entwicklung beeinflusst hingegen maßgeblich den Verbrauch der Sektoren GHD, Industrie und Verkehr.

Aufgrund von Effizienzsteigerungen ist zudem generell mit einem Rückgang der spezifischen Verbräuche in konventionellen Stromanwendungen zu rechnen. Die Szenarien des NEP 2030 sehen für die Last ohne neue Verbraucher unterschiedliche Stromnachfragen vor. Insgesamt liegt der jährliche Nettostromverbrauch ohne Wärmepumpen und Elektromobilität in den Szenarien zwischen 486 TWh und 503,5 TWh. Im Vergleich dazu lag der Nettostromverbrauch im Jahr 2016 bei 525 TWh. In den Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele sinkt der Stromverbrauch in den konventionellen Anwendungen ebenfalls in allen Fällen und liegt zwischen 15 % und 20 %.

Übertragungsnetz

Der Zubaubedarf im Übertragungsnetz variiert deutlich je nach zu Grunde liegendem Szenario des Netzentwicklungsplans. Im konservativen Szenario A mit einem Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Höhe von 50,6 %, 1,1 Mio. Wärmepumpen und 1 Mio. Elektroautos liegt der Zubaubedarf bei 9.300 Streckenkilometern. Demgegenüber erhöht sich der Zubaubedarf im

Szenario B mit einem Anteil erneuerbarer Energien von 52,2 %, 2,6 Mio. Wärmepumpen und 3 Mio. Elektroautos auf 9.900 Kilometer. Hiervon ergeben sich je Szenario 2.800 Kilometer als reine Neubaumaßnahmen. Die verbleibenden Kilometer sind Maßnahmen der Zu- und Umbeseilung sowie Neubauten in Bestandstrassen. Der höchste Zubaubedarf wurde mit 10.200 Kilometern im Szenario C des NEPs ermittelt. In diesem Szenario liegt der Anteil erneuerbarer Energien bei 53,4% und es werden 4,1 Millionen Wärmepumpen und 6 Millionen Elektrofahrzeuge eingesetzt.

In den Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele werden insbesondere in den Optionen mit zentralem Fokus auf den Stromsektor deutlich höhere Anteile erneuerbarer Energien realisiert. Dementsprechend ist von einem steigenden Bedarf für Ausbau und Anpassungen am Stromnetz auszugehen. Dies gilt auch für die Durchdringung von Wärmepumpen und Elektromobilität, insbesondere bei inflexiblem Einsatz dieser Stromverbraucher.

Die Kosten des Netzausbaus bis 2030 liegen in den Szenarien des NEP für das Übertragungsnetz zwischen 31 und 34 Milliarden Euro. Nicht enthalten sind in diesen Zahlen die Kosten für die Offshore Netzanbindung in Höhe von 16 Milliarden Euro bis 2030. Die Kosten des Übertragungsnetzausbaus hängen dabei nicht unwesentlich von den Annahmen über den Erdverkabelungsgrad ab. Im NEP wird zwischen 75% und 100% Erdverkabelung unterschieden. Die hieraus resultierenden Mehrkosten zwischen dem 75% und 100% Erdverkabelungsgrad liegen zwischen 1 und 2 Milliarden Euro.

Die Übertragungsnetzbetreiber sind nach § 12b Abs. 1 S. 3 EnWG dazu verpflichtet bei ihren Netzplanungen die Spitzenkappung erneuerbarer Energieanlagen zu berücksichtigen. Hierunter versteht man die Auslegung der Netze für 97% der jährlichen erzeugten Menge an Wind und Photovoltaik Strom. Die verbleibenden 3% werden dann abgeregelt.

Verteilnetze

Beim Bedarf des Netzausbaus auf Verteilnetzebene muss zwischen der Niederspannungsebene, der Mittelspannungsebene und der Hochspannungsebene unterschieden werden. Der Ausbaubedarf der einzelnen Spannungsebenen hängt stark von den Ausbauzielen für die unterschiedlichen erneuerbaren Energieanlagen ab. Daneben spielen die Verteilung und der Ausbau der neuen Stromverbraucher eine wichtige Rolle.

Auf Niederspannungsebene wird der Netzausbau maßgeblich durch den Ausbau von PV Anlagen (Aufdachanlagen), getrieben, die hauptsächlich auf dieser Ebene angeschlossen sind. Der

konventionelle Ausbaubedarf bis 2032 (ohne Alternativmaßnahmen) liegt nach den Zielen des EEG 2014 auf dieser Netzebene bei 50.393 Kilometern [e-bridge.et al 2014]. Regional ist der Ausbaubedarf durch den deutschlandweit ungleichen Zubau zudem stark auf Süddeutschland konzentriert (60%).

Auf Mittelspannungsebene liegt der Ausbaubedarf nach den Zubau-Zielen des EEG 2014 für erneuerbaren Energien bei 70.104 Kilometern bis 2030. Auf dieser Ebene verteilt sich der Ausbaubedarf relativ gleichmäßig über Deutschland.

Auf der Ebene der Hochspannung der Verteilnetze liegt der Ausbaubedarf nach den Zielen des EEG 2014 bei 10.820 Kilometern. Diese Zahlen werden stark beeinflusst durch den angenommenen Ausbau an Windkraftanlagen, da diese hauptsächlich auf dieser Ebene angeschlossen sind. Da der angenommene Windkraftausbau hauptsächlich in Nord- und Ostdeutschland angenommen wird, beschränkt sich ebenfalls der Großteil des prognostizierten Ausbaubedarfs auf Hochspannungsebene auf diese Regionen. Auf Norddeutschland entfällt hiervon ein Anteil von 39% und auf Ostdeutschland ein Anteil von 33%.

Die kumulierten Ziele der Bundesländer sehen ungefähr eine Verdoppelung des Zubaus an erneuerbaren Energien vor. Unter dieser Annahme steigt der Ausbaubedarf auf Niederspannungsebene auf 118.448 km (Anstieg um 135%). Auf Mittelspannungsebene steigt der Ausbaubedarf auf 138.436 km (Anstieg um 97%) und auf Hochspannungsebene auf 22.392km (Anstieg um 107%).

Nach den Zielen des EEG 2014 liegt der gesamte Investitionsbedarf über alle Netzebenen des Verteilnetzes bei 23,2 Milliarden Euro. Unter der Annahme der kumulierten Ziele der Bundesländer erhöht sich der Investitionsbedarf jedoch auf 48,9 Milliarden Euro. Dementsprechend kommt es nach [e-bridge.et al 2014] zu einem Anstieg der Kosten des Verteilnetzausbaus um 111%. Allerdings erhöht sich die installierte Leistung an erneuerbarer Energien bis 2032 nur um 61% gegenüber dem EEG 2014.

Im Vergleich dazu ist der Ausbau erneuerbarer Energien in einzelnen Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele noch etwas höher als die kumulierten Ziele der Bundesländer. Dementsprechend sind deutliche höhere Herausforderungen auf Ebene der Verteilnetze bei einem hohen Ausbaupfad erneuerbarer Energien zu erwarten. Das gilt insbesondere bei einem Schwerpunkt auf PV-Dachanlagen und kleineren Windkraftanlagen. Bei der Durchdringung von neuen Stromverbrauchern spielt neben der Höhe der Durchdringung auch die regionale Verteilung und die Flexibilität der Anlagen eine wesentliche Rolle.

Alternativen zum Netzausbau

Bei konventionellen Hochspannungstrassen ist die Übertragung bei Standardbeseilung generell auf eine Seiltemperatur von bis zu 80 °C beschränkt. Bei der konventionellen Netzplanung wurden Standardwerte für die Außentemperaturen angenommen. Um die bestehenden Netze besser auszulasten, besteht auf Ebene der Übertragungsnetze grundsätzlich die Möglichkeit des Freileitungsmonitorings. Hierbei wird die jeweilige Außentemperatur des Trassenverlaufs bei der Nutzung der Leitung berücksichtigt. Dadurch können bei geringen Außentemperaturen die bestehenden Stromleitungen stärker zur Übertragung genutzt werden.

Neben der Standardbeseilung besteht die Möglichkeit der Verwendung von Hochtemperaturleiterseilen. Diese können sich bis auf 200 °C erhöhen, wodurch eine stärkere Nutzung zur Stromleitung ermöglicht wird. Allerdings sind diese Leitungen mit höheren Investitionskosten verbunden, wodurch bei einem kostenoptimalen Ausbaupfad die Verwendung individuell geprüft werden muss.

Die Vorgehensweise zur Bestimmung des Netzausbaus im Netzentwicklungsplan, die als NOVA Prinzip bezeichnet wird (NOVA: Netzoptimierung vor Verstärkung vor Ausbau), berücksichtigt bereits Alternativen zum Netzausbau im Vorwege der Planungen. Die Netzplanungen in den Szenarien des NEPs 2030 sehen vor dem Ausbau des Netzes zunächst Netzoptimierungsmaßnahmen vor. Einer dieser Netzoptimierungen ist die Verwendung des Freileitungsmonitorings. Daneben wird noch die Verwendung von Hochtemperaturleiterseilen untersucht. Sofern die Netzoptimierungsmaßnahmen nicht ausreichen, wird im nächsten Schritt die Verstärkung durch Zubeseilung und Spannungserhöhung (220 kV auf 380 kV) bestehender Trassen untersucht. Erst wenn diese Maßnahmen für den Abtransport der Netzflüsse nicht ausreicht, werden Netzneubaumaßnahmen vorgeschlagen.

Auf Verteilnetzebene kann Erzeugungsmanagement in der Netzplanung zu einem deutlich geringeren Netzausbaubedarf führen. Bei Berücksichtigung in den Planungen werden die Netze bewusst dafür ausgelegt einen geringen Anteil der Einspeisung erneuerbarer Energien nicht aufnehmen zu können. "Die Berücksichtigung der Abregelung von 3 % der jährlichen Einspeisung von Windkraft- und PV-Anlagen in der Netzplanung ist beispielsweise ausreichend, um den Netzausbau zu halbieren" [e-bridge.et al 2014]. Diese Aussage gilt auch für die jeweiligen Netzausbaubedarfe in Szenarien mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien.

Eine weitere Reduktion auf Verteilnetzebene lässt sich durch den Einsatz von intelligenten Netztechnologien erreichen. Hierbei können insbesondere regelbare Ortsnetztransformatoren eingesetzt werden. Bei einem regelbaren Ortsnetztransformator lässt sich das Übersetzungsverhältnis zwischen Niederspannungsebene und

Mittelspannungsebene im Betrieb ändern. Hierdurch lassen sich Spannungsänderungen ausgleichen, die zum Beispiel durch schwankende PV Einspeisung entstehen. Durch einen flächendeckenden Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren von rund 30.000 Anlagen lässt sich der Ausbaubedarf auf Niederspannungsebene fast vollständig vermeiden. Außerdem lassen sich die jährlichen durchschnittlichen Kosten um 10% reduzieren [e-bridge.et al 2014].

Die Kombination aus Erzeugungsmanagement und dem Einsatz von regelbarer Ortsnetztransformatoren kann gegenüber dem oben angegebenen Ausbaubedarf zu einer Reduktion auf der Niederspannungsebene auf 1.859 km oder zu einem Rückgang von 96 % führen. Auf Mittelspannungsebene lässt sich durch die Maßnahmen der Ausbaubedarf um 30 % auf 49.252 km und auf Hochspannungsebene auf 5.811 km bzw. 46 % reduzieren. Insgesamt lässt sich der Ausbaubedarf auf 56.922 km oder um 57 % reduzieren. Damit einher geht eine Halbierung der angenommen nötigen Investitionen bis 2032 [e-bridge.et al 2014].

Innerhalb der Modellierungen für die Szenarien des Netzentwicklungsplans wird eine zunehmende Verbreitung von PV Heimspeichern unterstellt. Die Schwankungsbreite der angenommenen Speicherleistung variiert dabei je Szenario zwischen 3 und 6GW. Es wird angenommen das Heimspeicher zur Eigenverbrauchsoptimierung der PV Anlagen genutzt werden. Dabei wird das jeweilige regionale Einspeiseprofil der PV Anlagen genutzt. Eine stärkere Durchdringung von dezentralen Speichern kann die Netzinfrastruktur unterstützen und die Notwendigkeit von Netzausbaumaßnahmen, insbesondere bei einem hohen Ausbau erneuerbarer Energien, grundsätzlich vermindern. Insbesondere in Langfristperspektive und bei einem umfassenden Ausbau erneuerbarer Energien, können derartige Maßnahmen durch die Restriktionen in der zeitgerechten Bereitstellung von Infrastruktur interessant werden. Derartige Maßnahmen sind aus heutiger Sicht jedoch relativ teuer. Aus Kostengesichtspunkten spielt dabei die Kostendegression bei dezentralen Speichern (insb. Batteriespeicher) eine wesentliche Rolle.

Zwischenfazit

Für die im Rahmen des Kriteriums Systemintegration analysierten Netzaspekte können die folgenden vorläufigen Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Für das Übertragungsnetz bestehen bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energien umfassende Herausforderungen. Bis zum Jahr 2030 sieht der Netzentwicklungsplan einen Anteil an erneuerbaren Energien vor, der rund 50 %

am Bruttostromverbrauch ausmacht, während im Energiekonzept der Bundesregierung für das Jahr 2030 ein Ziel eines Anteils von mindestens 50 % am Bruttostromverbrauch festgehalten wird. Bei einem höheren Anteil erneuerbarer Energien ist, insbesondere bei geringen Effizienzsteigerungen, von deutlich höheren Herausforderungen im Übertragungsnetz auszugehen. Das gilt im Rahmen der in dieser Studie analysierten Flexibilisierungsoptionen insbesondere für Flex 4 sowie Flex 1, in denen hohe Mengen erneuerbarer Energien bis 2030 zugebaut werden.

- Die Sektorkopplung stellt auf Übertragungsebene bis 2030 insbesondere bei einer hohen Durchdringung und einem inflexiblen Stromverbrauch durch Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen eine Herausforderung dar. Bei einem flexiblen Betrieb der Anlagen ist von einer deutlichen Entlastung der Netzsituation auszugehen. Zudem spielt die regionale Verteilung eine wichtige Rolle für den Netzausbau. In den analysierten Flexibilisierungsoptionen sind in diesen Gesichtspunkten insbesondere in Flex 4, sowie Flex 5 und Flex 6 mit zusätzlichen Herausforderungen zu rechnen.
- Auf der Verteilnetzebene stellt die Integration von erneuerbaren Energien eine wesentliche Herausforderung dar. Insbesondere bei hohen Anteilen von Stromerzeugung aus Photovoltaik steigen die Belastungen für die Verteilnetze. Neue Stromverbraucher können auf Verteilnetzebenen eine wesentliche Herausforderung darstellen, wenn sie inflexibel betrieben werden und deutliche regionale Häufungen auftreten. Die Herausforderungen ergeben sich im Wesentlichen in den selben Flexibilisierungsoptionen wie bei den Übertragungsnetzen. Deutlich höhere Belastungen in den Verteilnetzen sind eher bei Schwerpunkten im Ausbau erneuerbarer Energien (z.B. Photovoltaik) oder regional ungleichen Entwicklungen von Stromverbrauchern und Erzeugungsanlagen zu sehen.
- Neben der Notwendigkeit einer höheren Flexibilität des Stromverbrauchs und der Stromerzeugung lassen sich die Herausforderungen auch durch netzseitige Maßnahmen und technische Lösungen teilweise deutlich reduzieren. Dies betrifft auf Ebene der Übertragungsnetze z.B. Maßnahmen zum Freileitungsmonitoring und Maßnahmen zur Implementierung von regelbaren Ortsnetztransformatoren auf Ebene der Verteilnetze.

5.5 Bewertung der Ziele nach weiteren Nebenkriterien

5.5.1 Gesellschaftliche Akzeptanz

Der Begriff der Akzeptanz wird in vielen Bereichen mit unterschiedlichen Herangehensweisen und Sichtweisen verwendet. Entsprechend mangelt es an einer einheitlichen, allgemein anerkannten Definition des Akzeptanzbegriffs [Schäfer und Keppler 2013]. In der wissenschaftlichen Literatur zur Technikakzeptanz, und insbesondere zur Akzeptanz der Energiewende, ist die (sozial-)psychologische Herangehensweise an den Akzeptanzbegriff relativ weit verbreitet. Dabei wird eine Charakterisierung des Akzeptanzbegriffs anhand der beiden Ebenen Bewertung und Handlung vorgenommen (z.B. [Dethloff 2004]; [Sauter und Watson 2007]; [Zoellner et al. 2009]; [Schäfer und Keppler 2013]). Nach Zoellner und Kollegen ist der Begriff der Akzeptanz folgendermaßen zu verstehen:

„Die Akzeptanz eines Akzeptanzobjektes (z.B. Sachverhalt, Gegenstand, Handlung) stellt das positive, zeitlich relativ konstante Ergebnis eines an bestimmte Rahmenbedingungen (Kontextfaktoren) geknüpften Bewertungsprozesses durch ein Akzeptanzsubjekt (z. B. Person, Organisation) dar (= Bewertungsebene). Diese positive Bewertung kann zudem mit einer diesem Bewertungsurteil und dem wahrgenommenen Handlungsrahmen (-möglichkeiten) entsprechenden Handlungsabsicht bis hin zu konkreten unterstützenden Handlungen einhergehen (= Handlungsebene).“ [Zoellner et al. 2009]

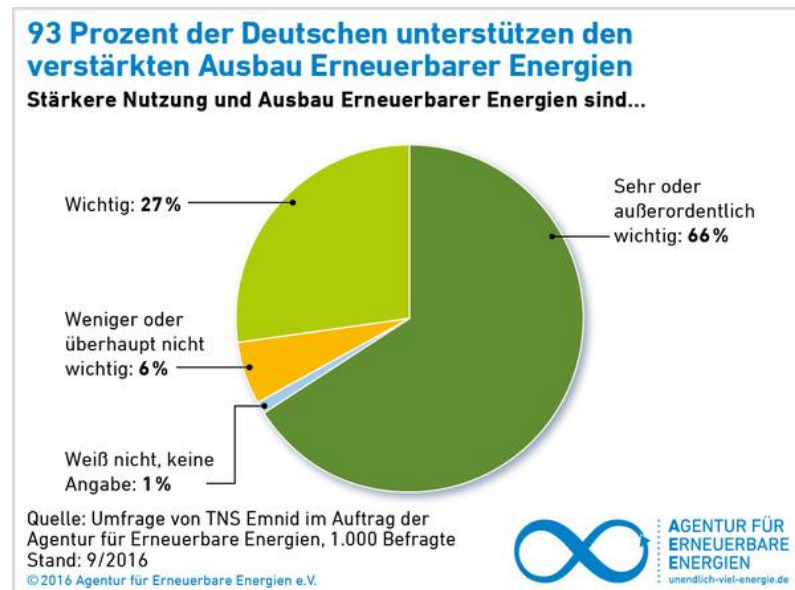
Von aktiver Akzeptanz wird dann gesprochen, wenn neben der positiven Bewertung des Akzeptanzobjektes eine aktive Beteiligung bzw. positive Umsetzung betrieben wird [Zoellner et al. 2009].

Renn und Kollegen fassen den Akzeptanzbegriff weiter: eine positive Bewertung des Akzeptanzsubjekts ist nach [Renn et al. 2014] nicht zwingend; alleine das Tolerieren einer Neuerung ist ausreichend für Akzeptanz.

Akzeptanz im Kontext der Energiewende

Im Allgemeinen erfährt die Energiewende in Deutschland eine hohe Zustimmung durch die Bevölkerung. Hinweise hierauf bieten z.B. die regelmäßigen Umfragen von TNS Emnid im Auftrag der AEE, wonach 93 % der Deutschen den verstärkten Ausbau Erneuerbarer Energien als wichtig bzw. sehr oder außerordentlich wichtig ansehen.

Abbildung 31: Umfrageergebnisse zur Akzeptanz des Ausbaus Erneuerbarer Energien (AEE 2015)



Während die Energiewende im Allgemeinen also befürwortet wird, liegt *aktive Akzeptanz* (gemäß [Zoellner et al. 2009, s.o.]), z.B. in Form einer Beteiligung an einem Windpark, noch kaum vor. Umfragen aus 2010 zufolge setzten sich nur etwa 11 % der Bevölkerung aktiv für die Energiewende ein [Schweizer-Ries et al. 2011]¹³. Für die Umsetzung der Energiewende ist dieses Niveau noch lange nicht ausreichend, da diese neben der Befürwortung neuer Technologien vor allem den Beitrag jedes einzelnen Verbrauchers erfordert.

Trotz der hohen generellen Zustimmung zur Energiewende bestehen Unmut und Widerstand mit den damit verbundenen Maßnahmen und Folgen für den Einzelnen. Beispiele sind steigende Strompreise für Endkunden (die in den Medien oftmals, trotz der Komplexität der Strompreisbildung, alleinig dem Ausbau der Erneuerbaren zugeschrieben werden) oder die Einschränkung der Autonomie der Verbraucher z.B. durch ordnungsrechtliche Instrumente [Renn et al. 2014]. In diesem Kontext sind auch räumliche Aspekte von hoher Bedeutung. Der sog. Not-in-my-backyard-Effekt (NIMBY) beschreibt den Unterschied zwischen der generellen Einstellung und der Einstellung bezüglich der lokalen Umsetzung im eigenen Umfeld [Schubert 2016]. Nicht selten werden lokale Projekte durch Betroffene abgelehnt, obwohl die eingesetzte Technologie generell befürwortet wird. Die Gründe für die Ablehnung lokaler Projekte können vielfältig sein; zur Auflistung spezifischer lokaler Bedenken in den einzelnen Sektoren siehe weiter unten.

¹³ Dieser Wert ist seit 2010 sicherlich gestiegen, da auch die thermische Sanierung von Gebäuden, der Wechsel zu einem Ökostromanbieter oder die Errichtung einer PV-Anlage auf dem eigenen Hausdach als aktive Akzeptanz gewertet werden kann.

Des Weiteren besteht die Gefahr der Nicht-Akzeptanz der Energiewende in bestimmten Bevölkerungsgruppen, sofern Kosten und Nutzen der Energiewende zwischen Bürgern, Unternehmen und der Staat in den Augen der Betroffenen auf ungerechte Weise verteilt werden. Herauszustellen sind hierbei Diskussionen um Energiearmut bei Bevölkerungsgruppen mit niedrigem Einkommen (vgl. [Renn 2015]).

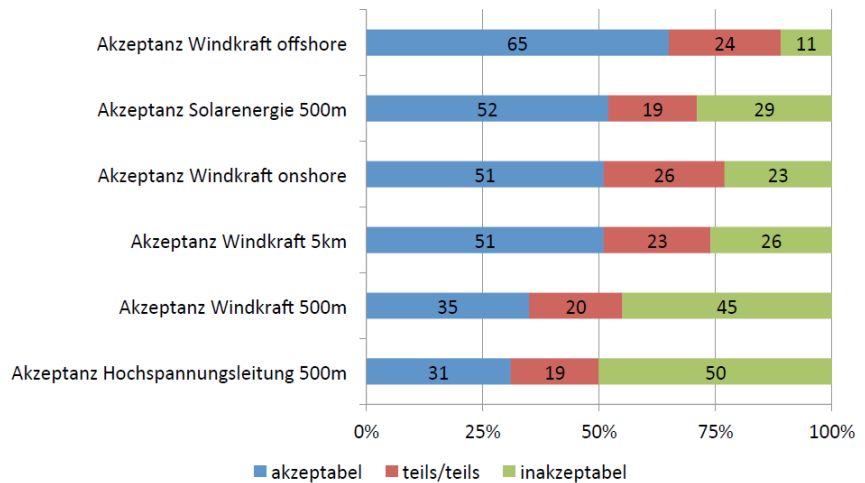
Außerdem leidet die Akzeptanz der Energiewende darunter, wenn die Bevölkerung nicht aktiv in Planungsprozesse eingebunden wird. Partizipation kann in Form von Mithilfe der Bürger an Planungen und Standortfestlegungen erfolgen oder aber auch durch partizipative Betreibermodelle, bei denen Bürger zu aktiven Teilhabern und Unternehmern werden [Renn 2015].

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Flexibilisierungsoptionen der Ziele des Energiekonzepts anhand des Kriteriums Akzeptanz bewertet. Dabei werden auf Basis einer Literaturlauswertung potentielle Konfliktpotentiale aufgezeigt, die ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bergen. Die Datenlage erlaubt hierbei nur eine qualitative, nicht abschließende Betrachtung einzelner Aspekte im Kontext der Akzeptanz der energiepolitischen Strategien und keine quantitative bzw. ordinale Bewertung im Sinne einer Reihung der einzelnen Flexibilisierungsoptionen. Der Fokus der Analysen liegt auf dem Akzeptanzsubjekt der Bevölkerung. Unternehmen werden an dieser Stelle als Akzeptanzsubjekt nicht näher betrachtet, da Akzeptanzprobleme in Unternehmen bezüglich der Energiewende meist auf ökonomischen Größen wie Kosten bzw. deren Verteilung und ggf. Arbeitsplatzeffekten beruhen. Die Auswirkungen verschiedener Flexibilisierungsoptionen der Energiewendeziele auf Kosten werden dagegen in Kapitel 5.3 behandelt.

Stromsektor

Gemäß den Umfragen, die im Rahmen des „KomMA-P“-Projekts zur Akzeptanz unterschiedlicher Technologieoptionen durchgeführt wurden, werden Windparks und Freiflächenanlagen von mehr als der Hälfte der Bevölkerung als akzeptabel angesehen (Sonnenberger und Ruddat 2016b). Die höchste Zustimmung erfahren Wind-Offshore-Anlagen (65 %) gefolgt von Photovoltaik (52 %) und Wind-Onshore (51 %). Die Akzeptanz von Windkraftanlagen sinkt mit abnehmender Entfernung zur Wohnung der Betroffenen.

Abbildung 32: Umfrageergebnisse zur Akzeptanz von EE-Technologien [Sonnenberger und Ruddat 2016b]



Quelle: Akzeptanzsurvey 2015, Angaben in Prozent
 inakzeptabel = 1,2 teils/teils = 3 akzeptabel = 4,5
 personenrepräsentativ gewichteter Datensatz, n = 2.009

Dieses Bild verdeutlicht, dass Akzeptanzprobleme überwiegend dann auftreten, wenn Anlagen in der Nachbarschaft der Betroffenen errichtet werden sollen. Die Gründe für Nicht-Akzeptanz lokaler Projekte durch die Bevölkerung sind vielfältig. Einwände gegen verschiedene EE-Projekte im Stromsektor sind u.a. (vgl. [Sonnenberger & Ruddat 2016a], [Fricke et al. 2016], [CARMEN 2014]):

- **Windkraftanlagen:** Erzeugung störender Geräusche / Infraschall, Schattenwurf / „Discoeffekt“, Gefahr für Vögel und Fledermäuse, Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, Angst vor Wertverlust von Gebäuden
- **PV-Anlagen:** Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Freiflächenanlagen, Brandgefahr, Entsorgungsproblematik, „Verunstaltung“ von Gebäudedächern
- **Biogasanlagen:** Konkurrenz mit Nahrungsmitteln, Naturschutzkonflikte durch Monokulturen (z.B. Mais), Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, Geruchsbelästigungen, Treibhausgas- und Schadstoff-Emissionen im Energiepflanzenanbau, erhöhtes Verkehrsaufkommen wegen der Anlieferung von Biomasse, hoher Flächenbedarf, Befürchtung des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen
- **Tiefengeothermieranlagen:** Gefahr seismischer Ereignisse, Gefahr der Absenkung von Gebäuden
- **Wasserkraft:** diverse Naturschutzbedenken

Die steigende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfordert in zunehmendem Maße Flexibilität und systemstabilisierende Maßnahmen. Potentielle Konfliktfelder sind hierbei:

- *Stromnetze (insb. Freileitungen)*: Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, Gefahr für Vögel, Geräuschbelastung, Gesundheitsbedenken wegen elektromagnetischer Felder
- *Smart Grids*: Datenschutzbedenken (aber auch positiver Effekt der aktiven Beteiligung von Bürgern an der Energiewende)
- *Power to Gas*: gefühlte Gefahr durch großskalige H₂-Speicherung
- *Pumpspeicher*: diverse Naturschutzbedenken

Des Weiteren ist mit Akzeptanzproblemen dann zu rechnen, wenn in die Entscheidungsfreiheit der Bürger eingegriffen wird. Dies ist bei der Gestaltung von ordnungsrechtlichen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu beachten. Im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Stromsektor besteht zudem die Gefahr der sinkenden Zahlungsbereitschaft – insb. dann, wenn Stromkunden nicht gleichmäßig belastet werden.

Zwischenfazit: Aus heutiger Sicht werden im Stromsektor aus der Perspektive der breiten Bevölkerung die größten Konfliktpotentiale im verstärkten Ausbau von Onshore-Windkraftanlagen sowie dem Ausbau der Stromnetze gesehen (vgl. [Sonnenberger & Ruddat 2016a]). Dies spiegelt sich auch in der wachsenden Anzahl an Bürgerinitiativen gegen Windkraft und Stromtrassen wieder. Biomasseanlagen sind nach wie vor wenig akzeptiert; aufgrund des derzeit geringen Ausbaus sind die entsprechenden Akzeptanzprobleme gegenüber Windkraft und Stromtrassen in der öffentlichen Diskussion jedoch leicht in den Hintergrund gerückt.

Sektoren Gebäude und Wärme/Kälte

Anders als im Stromsektor liegen im Bereich der Gebäude, insbesondere der Wärme- und Kälteversorgung, noch kaum empirische Daten zu Akzeptanz vor. Folgende allgemeine, potentielle Akzeptanzprobleme wurden auf Basis eines Literaturreviews ermittelt:

- *Thermische Gebäudesanierung*: Negative Einstellung zu Wärmedämmung („das Haus muss atmen können“), Unklarheit über Kosten und Nutzen von Dämmmaßnahmen, Gefahr der Schimmelbildung bei nicht fachgerecht durchgeführten Sanierungen, Brandgefahr und Entsorgungsfragen bei Dämmstoffen, gesundheitliche Bedenken bei Dämmstoffen

- *Wärmepumpen*: Gefahr von Gebäudeschäden durch fehlerhaft ausgeführte Erdsondenbohrungen (aber: Maßnahmen zur Qualitätssicherung eingeführt), Schallemissionen von Luft/Wasser-Wärmepumpen (aber: herstellerseitige Verbesserungen bzgl. Schall), Grundwasserschutzbedenken
- *Holzfeuerungen*: Feinstaubbelastung (aber: Verschärfung der Anforderungen der BImSchV), Gefahr der nicht nachhaltigen Landnutzung
- *Solarthermie*: Beeinträchtigung des Landschaftsbildes bei Freiflächenanlagen, „Verunstaltung“ von Gebäudedächern
- *Wärmenetze*: Gefahr undurchsichtiger Preisgestaltung der Fernwärmeversorger (Monopolstellung des Wärmeversorgers), Unpopularität von Anschluss- und Benutzungszwängen

Mit Akzeptanzproblemen ist vor allem dann zu rechnen, wenn in die Entscheidungsfreiheit der Bürger eingegriffen wird. Im Gebäudebereich, der durch diverse ordnungsrechtliche Instrumente gesteuert wird (z.B. EnEV, EEWärmeG), liegt dieses Konfliktpotential in besonderem Maße vor.

Zwischenfazit: Im Vergleich zu stromerzeugenden Technologien (insb. Windkraftanlagen) sind im Wärmesektor eher geringe technologiebezogene Akzeptanzprobleme bekannt. Im Allgemeinen sind hier die größten Probleme durch die Einführung von Verboten und Geboten zu erwarten.

Verkehrssektor

Empirische Erkenntnisse zu Akzeptanz alternativer Fahrzeug- und Verkehrskonzepte sind noch kaum vorhanden. Aus einem Review verschiedener Studien ergeben sich folgende, allgemeine Konfliktpotentiale, die durch Steigerung der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor hervorgerufen werden können (vgl. [Götz et al. 2012], [Jonuschat et al. 2012]):

- *Elektromobilität*: Bedenken wegen begrenzter Reichweite und hoher Ladedauer sowie mangelnder Ladeinfrastruktur, hohe Anschaffungskosten, Ressourcenfragen bzgl. Batterien, geringe Modellauswahl, Hinterfragung des Nutzens für den Klimaschutz
- *Biokraftstoffe*: Tank-oder-Teller-Diskussion (insb. bei Kraftstoffen erster Generation), Nachhaltigkeits-, Naturschutz- und Landschaftsbildbedenken beim zugehörigen Biomasseanbau

- *Vermeidung von Verkehr / Änderung des Modal Split*: Eingriff in das Verhalten der Bevölkerung

Während Biokraftstoffe seit einiger Zeit wegen diverser Nachhaltigkeitsbedenken nur sehr geringe Akzeptanz erfahren, dominieren aktuell Akzeptanzprobleme bezüglich Elektromobilen die gesellschaftliche Diskussion. Die Akzeptanzprobleme sind hierbei geprägt von den technischen und ökonomischen Nachteilen von Elektromobilen (Reichweite, Ladedauer, Preis). Generell sind Elektromobile in weiten Teilen der Bevölkerung jedoch akzeptiert, vor allem im urbanen Raum. Für eine belastbare Einschätzung hierzu mangelt es jedoch der empirischen Datenbasis. Beim Eingriff in das Verhalten der Bevölkerung in Bezug auf Mobilität, z.B. durch Verbote, ist mit Protesten und Widerstand zu rechnen (Beispiel Diskussion um Fahrverbote von bestimmten Dieselfahrzeugen).

Zwischenfazit

Die Energiewende kann in Deutschland zwar als grundsätzlich akzeptiert angesehen werden. Dennoch gibt es jedoch Probleme und Widerstand bei der Umsetzung konkreter Projekte vor Ort.

- Die Diskussion um Akzeptanzprobleme wird aktuell insbesondere dominiert von Initiativen gegen Onshore-Windkraft und Stromtrassen. Daher ist ein umfassender Ausbau erneuerbarer Energien im Hinblick auf Akzeptanzprobleme eher kritisch zu bewerten.
- Maßnahmen im Wärme- und Verkehrsbereich erfahren im Vergleich hierzu eine höhere Zustimmung. In diesen Bereichen sind Akzeptanzfragen insbesondere bei der Nutzungskonkurrenz um Biomasse z.B. für Biokraftstoffe im Verkehrssektor von Relevanz.
- Die Akzeptanz von Effizienzmaßnahmen in den einzelnen Sektoren hängt im entscheidenden Maße davon ab, ob Bürger zu deren Durchführung verpflichtet werden oder nicht. Verpflichtungen zu Wärmedämmung, Fahrverbote und Verpflichtungen zu Stromeinsparmaßnahmen können im Hinblick auf Akzeptanzfragen kritisch bewertet werden.

Für eine abschließende Beurteilung von Akzeptanzfragen mangelt es gegenwärtig an empirischen Daten. Die vorhandenen Studien lassen eher eine grobe Abschätzung zu, in welchen Sektoren aus heutiger Sicht eher mit Akzeptanzproblemen zu rechnen ist. Die Einstellung in der Gesellschaft zu diesen Fragen kann sich in Zukunft auch ändern, was aus heutiger Sicht schwer abschätzbar ist. Generell ist in der Bevölkerung eine moderate

Zahlungsbereitschaft für die Umsetzung der Energiewende vorhanden, die aber durch eine ungleichmäßige Verteilung von zukünftigen Zusatzbelastungen gefährdet werden kann. Da Akzeptanz allgemein von der Partizipation der Bevölkerung profitiert, ist im Zuge einer verstärkten Nutzerintegration mit einer höheren Zustimmung der Energiewende zu rechnen. Diese muss jedoch Hand in Hand mit der Sicherstellung von Datenschutz z.B. bei Smart-Metering, gehen.

5.5.2 Restriktionen

Für die Flexibilisierung der Ziele der Bundesregierung gibt es eine Reihe von Restriktionen, die ambitionierteren Zielen zum Teil entgegenwirken oder diese sogar beschränken können. Die Restriktionen sind innerhalb der einzelnen Endenergieverbrauchssektoren unterschiedlich ausgeprägt und werden daher auch differenziert nach diesen Sektoren betrachtet.

Stromsektor

Für den Ausbau an erneuerbaren Energien spielt die Verfügbarkeit von nutzbaren Flächen eine entscheidende Rolle. Hierbei gilt es zwischen den einzelnen erneuerbaren Energietechnologien zu unterscheiden.

Für Windkraft an Land ist die verfügbare Fläche nicht nur technisch begrenzt, sondern wird aufgrund von Akzeptanzproblemen bei örtlich naher Wohnbebauung auch durch gesetzliche Vorgaben reglementiert (vgl. Kapitel 5.5.1). Nach den derzeitigen Flächennutzungsplänen wird rund 1% der Bundesfläche für Windenergieanlagen ausgewiesen [eigene Berechnung]. Darauf Zum Vergleich: Es sind derzeit 45,5 GW an Windkraft installiert (Stand: Ende 2016). Ambitionierte Ziele sehen in Deutschland ein Potenzial der Flächen zur Windenergienutzung von 2 % vor. Andere Quellen (z.B. [IWES 2011]) sehen für Windenergie an Land hingegen ein Potenzial von 200 GW.

Aktuell sehen die Landesregierungen in Schleswig- Holstein und Nordrhein-Westfalen eine Verschärfung der Abstandsregelung zu Wohngebäuden vor. Hierdurch ist von einem Rückgang im bereits ausgewiesene Potenzial auszugehen.

Für Windkraft auf See sind in den deutschen Küstengebieten technische Potenziale in Höhe von rund 110 GW möglich. Allerdings bestehen zu diesem Potenzial auch Einschränkungen durch Umweltschutzgebiete sodass von einem nutzbaren Gebiet für 85 GW ausgegangen werden kann [IWES 2011].

Bei Photovoltaikanlagen ist zwischen dem Potenzial für Aufdachanlagen und Freiflächenanlagen zu unterscheiden. Für Aufdachanlagen besteht theoretisch ein Potenzial von 210 GW. In der praktischen Nutzbarkeit sind von diesem theoretischem Potenzial jedoch Abstriche zu machen. Für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen wird generell weniger Fläche je Leistung verbraucht als bei Windanlagen. Eine Beschränkung für PV-Freiflächenanlagen ergibt sich daher weniger aus Flächenbeschränkungen, sondern eher aus der Aufnahmekapazität der Netze und des Verbrauchs.

Für Biomasse ist das Potenzial abhängig von der Art der Nutzung. Bei der Nutzung muss zwischen nachhaltiger und nicht nachhaltiger Nutzung unterschieden werden. Nicht nachhaltige Nutzung der Biomasse würde bedeuten, dass mehr verbraucht wird als in einem bestimmten Zeitraum nachwächst. Da diese Art der Nutzung dazu führt, dass sich das Biomassepotenzial mit der Zeit verringert, kann für langfristige Ziele nur das nachhaltige Biomassepotenzial berücksichtigt werden. Nach den angenommenen Potenzialen in den Energieszenarien 2050 [Öko-Institut & ISI 2015] liegt das nachhaltige Potenzial an Biomasse für Deutschland bei einem jährlichen Verbrauch von 1.200 PJ. Da Biomasse langfristig bei ambitionierten Treibhausgaszielen zum größten Teil in anderen Verbrauchssektoren benötigt wird ist das nutzbare Potential für den Stromsektor deutlich geringer.

Bei diesen Potenzialgrenzen handelt es sich um langfristige Grenzen. Für das Jahr 2030 spielen diese Grenzen selbst bei erhöhtem Ausbauziel noch keine Rolle. Allerdings muss hierbei die Einschränkung gemacht werden, dass mögliche weitere politische Vorgaben die Potenziale deutlich verringern können.

Neben den Potenzialen an erneuerbaren Energien gibt es für das Stromsystem vor allen Dingen Potenzialgrenzen die den Netzausbau betreffen. Diese entstehen jedoch hauptsächlich durch Akzeptanzprobleme innerhalb der Bevölkerung und wurden daher im Unterkapitel Akzeptanz analysiert (vgl. Kapitel 5.5.1).

Im Bereich des Stromverbrauchs sind zudem Einschränkungen hinsichtlich der Ersatzzyklen für Elektrogeräte zu machen, wodurch effizientere Geräte erst nach einer bestimmten Zeit eine Marktdurchdringung aufweisen. Dies kann als Restriktion für die Realisierung von Effizienzfortschritten verstanden werden. Allerdings sind diese Restriktionen nicht durch technisch-physikalische Potenzialgrenzen bestimmt, sondern lassen sich prinzipiell durch energiepolitische Maßnahmen beeinflussen. Daher wird auf diese Aspekte verstärkt im Kapitel 5.5.3 eingegangen, wo Fragen zur Langfristigkeit und zu zeitlichen Aspekten im Energiesystem behandelt werden. Dies gilt auch für Investitionszyklen im Industriesektor und die damit zusammenhängenden Effekte für stromverbrauchende Anlagen.

Sektoren Gebäude und Wärme/Kälte

Im Gebäudebereich bestehen vor allen Dingen technische Effizienzrestriktionen des Wärmeverbrauchs durch Dämmrestriktionen. Hierbei wurden zahlreiche unterschiedliche Restriktionen identifiziert. Beispiele für die identifizierten Dämmrestriktionen sind Denkmalschutzauflagen oder Gefahren von Feuchtigkeitsschäden. Nach [Beuth/lfeu 2011] sind ungefähr 5% des Wärmeverbrauchs im Gebäudebereich im Jahr 2011 von Restriktionen betroffen. Das entspricht einer Heizwärme von 175 PJ.

Entscheidend für die Erreichung der Effizienzziele im Wärmebereich ist vor allen Dingen die realisierte Sanierungsrate. Neben diesen Restriktionen gibt es Einschränkungen die durch die Entscheidungen der jeweiligen Akteure entstehen. Dazu gehören fehlende Informationen über den jeweiligen Energieverbrauch. Wie im Stromsektor werden diese Aspekte jedoch im Kapitel 5.5.3 im Detail diskutiert.

Für solarthermische Anlagen, die auf Dächern installiert werden besteht grundsätzlich eine Flächenkonkurrenz mit PV Anlagen. Die vorhandene Fläche würde grundsätzlich für ca. 2.000 GW installierter Leistung von Solarthermie-Anlagen reichen. Biomasse-Restriktionen im Wärmesektor bestehen aufgrund des nachhaltig nutzbaren Gesamt-Potenzials von 1.200 PJ.

Verkehrssektor

Die Verbreitung der Elektromobilität ist kann mit Restriktionen behaftet. So wird es erst zu einer umfangreichen Verbreitung von Elektrofahrzeugen kommen, wenn hierzu auch die notwendige Ladeinfrastruktur bereitsteht. Neben den Implikationen für das Stromsystem (siehe Kapitel 5.4) gibt es vor allen Dingen im städtischen Bereich mögliche Platzrestriktionen für die Ladesäuleninfrastruktur.

Der Einsatz an Biomasse im Verkehrssektor ist ebenfalls durch das nachhaltig nutzbare energetische Potenzial begrenzt. Wie oben diskutiert liegt das nachhaltig nutzbare Potenzial zur energetischen Verwendung bei 1.200PJ in Deutschland. Dieses Potenzial liegt jedoch aufgrund der Nutzung in anderen Sektoren deutlich geringer. Aufgrund eines möglichen strategischen Einsatzes von Biomasse für den Flugverkehr, den Schiffsverkehr und ggf. auch im Güterverkehr kann dieses Potenzial unter Berücksichtigung der Nutzung in den anderen Sektoren langfristig beschränkt sein. Im Hinblick auf 2030 sind jedoch bei Anstreben der energiepolitischen Ziele noch keine wesentlichen Restriktionen zu erwarten

Zwischenfazit

Technisch-Physikalische Restriktionen oder Restriktionen durch gewisse Rahmenbedingungen stellen eine wichtige Einflussgröße bei Verfolgung einer langfristig ambitionierten Klimapolitik dar. Dies gilt insbesondere für die Nutzung erneuerbarer Energien aufgrund von Flächenpotenzialen und aus Sicht der Nachhaltigkeit vorhandenen Grenzen bei der Biomassenutzung. Im Hinblick auf das Jahr 2030 und die im Rahmen der Flexibilisierung der Steuerungsziele formulierten energiepolitischen Ziele ist jedoch noch nicht von kritischen Auswirkungen hinsichtlich dieser Restriktionen auszugehen.

Vielmehr stellt sich die Frage, wie Restriktionen aufgrund von bestimmten Rahmenbedingungen und dem Nutzerverhalten bestimmter Akteure im Kontext dieser Ziele zu bewerten sind. Dabei spielen eher Fragen der Langfristigkeit und der zeitlichen Taktung von energiepolitischen Zielen und den dafür notwendigen Maßnahmen eine Rolle. Darauf wird verstärkt im folgenden Kapitel eingegangen.

5.5.3 Langfristigkeit

Unter dem Begriff der Langfristigkeit werden im Rahmen dieser Studie schwerpunktmäßig Aspekte diskutiert, die sich in der längeren Frist auf das Energiesystem auswirken. Dabei sind insbesondere die Trägheit des Energiesystems und technologische Lock-in Effekte sowie die zeitliche Taktung bei der Transformation des Energiesystems relevant. Technologische Lock-in-Situationen treten im Allgemeinen dann auf, wenn durch bestimmte Entscheidungen und Rahmenbedingungen eine Pfadabhängigkeit aufgrund der Wahl bestimmter Technologien geschaffen wird, obwohl aus gesamtgesellschaftlicher Sicht alternative Lösungsoptionen vorzuziehen wären. Ein Beispiel dafür kann im Aufbau eines mehrheitlich auf fossilen Energieträgern basierenden Energiesystems in der Vergangenheit gesehen werden. Das Energiesystem kann zudem aus mehreren Gründen nur relativ träge auf Veränderungen reagieren. Wesentliche Einflussfaktoren sind die hohe Kapitalintensität und lange Investitionszyklen bei Anlagen, Gebäuden und Fahrzeugen.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere zwei Aspekte von Bedeutung:

- Erstens erfordert die Transformation des Energiesystems eine Anpassung der vorhandenen leitungsgebundenen Infrastruktur sowie des Gebäude-, Anlagen- und Fahrzeugparks. Aufgrund langer Investitionszyklen und den umfassenden Vorlaufzeiten zum Aufbau neuer Infrastruktur kann

es hier zu wesentlichen Verzögerungen kommen. Durch die stark auf fossilen Energieträgern basierende Energieversorgung erschwert dies die Transformation zu einem Energiesystem mit geringen Treibhausgasemissionen.

- Zweitens in der Transformation des Energiesystems neue Lock-in-Situationen und Ineffizienzen auftreten. Ein Beispiel dafür ist die Möglichkeit, durch verstärkte Effizienzmaßnahmen den absoluten Ausbau von erneuerbaren Energien und der notwendigen Infrastruktur zu minimieren.

Selbst wenn es theoretisch möglich wäre, die Transformation des Energiesystems zu geringen Kosten zu ermöglichen, die Herausforderungen der Systemintegration zu minimieren und eine hohe Akzeptanz zu erreichen, kann somit die Trägheit des Energiesystems eine derartige Entwicklung erschweren. Daher ist für die zukünftige Entwicklung des Energiesystems von hoher Bedeutung, in langfristiger Perspektive unerwünschte Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren und Maßnahmen zu ergreifen, um diese Herausforderungen zu adressieren.

Im Folgenden werden diese Aspekte jeweils für die Sektoren der Zielarchitektur diskutiert und es werden die wesentlichen möglichen Herausforderungen pro Sektor identifiziert.

Stromsektor

Bei einem hohen Ausbau erneuerbarer Energien ist für deren Integration ein deutlicher Aus- und Umbau der bestehenden Netzinfrastruktur notwendig (vgl. Kapitel 5.4.3). Die heutigen Netzentwicklungspläne haben einen Vorlauf von fast 20 Jahren und richten sich mit ihren angenommenen Anteilen erneuerbarer Energien an den politischen Zielen aus. Kommt es zu deutlichen Verzögerungen im Netzausbau, kann dies zur Folge haben, dass wesentliche Anteile erneuerbarer Energien nicht oder nur teilweise genutzt werden können. Je höher der Ausbau erneuerbarer Energien insbesondere in kurz- bis mittelfristiger Perspektive ist, desto höher sind zudem die Herausforderungen für die Bereitstellung der Netzinfrastruktur. Dieselbe Argumentation gilt prinzipiell auch für den Ausbau von Kraftwerken als Back-up-Kapazitäten und den langfristigen Ausbau von Speicherkapazitäten, wobei hier der zeitliche Vorlauf als geringer eingeschätzt wird.

Auch die Durchdringung von Effizienzmaßnahmen erfolgt im Energiesystem nicht beliebig schnell. Die Nutzungsdauer von Elektrogeräten bei privaten Haushalten und Anlagen im Industrie- und GHD-Sektor kann die Wirkung von Effizienzmaßnahmen wesentlich verzögern. Im Haushaltssektor werden neue Geräte vorwiegend nach Ablauf ihrer Lebensdauer angeschafft. So haben

Gefrier- und Kühlgeräte eine durchschnittliche Lebensdauer von rund 15 Jahren [EU-Kommission 2016] nachdem die Geräte im Schnitt ausgetauscht werden. Waschmaschinen werden hingegen bereits im Schnitt nach 12,5 Jahren ausgetauscht. Bei Unternehmen spielen insbesondere auch einzelwirtschaftliche Entscheidungen, welche z.B. beim Ersatz von industriellen Anlagen die Nutzung neuer, energieeffizienter Anlagen erschweren, eine wesentliche Rolle. Gründe dafür können in einer hohen Kapitalintensität, geringer Höhe der Energiekostenanteile und weiterer Rahmenbedingungen (z.B. rechtliche Vorschriften) liegen.

Wenn der Stromverbrauch durch die geringe Durchdringung neuer, effizienterer Geräte und Anlagen nicht gesenkt werden kann, ist für die Senkung der CO₂-Emissionen ein hoher Ausbau erneuerbarer Energien notwendig. Neben den Herausforderungen im vorgelagerten Netzausbau kann dadurch in der Zukunft ein ineffizient hoher Ausbau von (erneuerbaren) Kraftwerkskapazitäten und Netzinfrastruktur geschaffen werden. Unter Umständen werden diese Kapazitäten bei nachgelagerten Effizienzmaßnahmen im Stromverbrauch nicht mehr (oder nur teilweise) benötigt. Darüber hinaus kann eine derartige Entwicklung für die Zukunft einen technologischen Lock-in darstellen, da erneuerbare Energien aus wirtschaftlicher Perspektive aufgrund ihrer hohen Kapitalintensität hohe Volllaststunden benötigen und damit Effizienzmaßnahmen langfristig weniger attraktiv sind. Dieselbe Argumentation gilt im Grunde auch bei einer umfassenden Sektorkopplung, wobei hier auch die zeitliche Taktung des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Durchdringung von Sektorkopplung zu beachten ist. Auf diese Thematik wird in den Ausführungen zum Wärme- und Verkehrssektor im Detail eingegangen.

Sektoren Gebäude und Wärme/Kälte

Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor zeigen vor allem beim Neubau von Gebäuden und bei umfassenden Sanierungen Wirkung. Der Neubau bzw. Ersatzneubau von Gebäuden ist mengenmäßig deutlich beschränkt. Die Sanierungsrate bestehender Gebäude der privaten Haushalte lag in Deutschland in der Vergangenheit bei rund 1 % pro Jahr. Das Ziel der Bundesregierung liegt bei einem jährlichen Wert von 2 %. Aktuelle Erkenntnisse über den Rückgang des Dämmstoffverbrauchs in den vergangenen Jahren [Dena 2017] lassen darauf schließen, dass die Sanierungsrate nicht gestiegen ist.

Durch die bestehenden hohen Anteile fossiler Energieträger in der Wärmeversorgung wird daher die Wirksamkeit von Effizienzmaßnahmen deutlich erschwert. Eine ähnliche Argumentation gilt im Industriesektor auch für das Prozesswärme-Segment. Die Nutzungsdauer von Anlagen im Prozesswärme-Bereich kann bei bis

zu 40 Jahren liegen. Der Ersatz bestehender, ineffizienter Anlagen kann im Industriesektor zudem durch tiefe Energiekostenanteile und rechtliche Rahmenbedingungen erschwert werden. Diese Trägheit im bestehenden Gebäude- und Anlagenpark sorgt gemeinsam mit den hohen Anteilen fossilen Energieträgern für wesentliche Verzögerungen in der Senkung der Treibhausgasemissionen.

Für die Wärmebereitstellung im Gebäude- und Prozesswärmebereich gilt für den Ausbau erneuerbarer Energien im Grundsatz dieselbe Argumentation wie für den Stromsektor. Wenn der Ausbau erneuerbarer Energien nicht durch vorgelagerte Effizienzmaßnahmen unterstützt wird, besteht langfristig die Gefahr eines ineffizient hohen Einsatzes erneuerbarer Energien. Dabei sind langfristig auch die Restriktionen in der Nutzung von Biomasse zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.5.1), welche im Gebäudesektor einen wesentlichen Anteil besitzen. Durch die deutlich geringere Leitungsgebundenheit der Wärmeversorgung entfallen jedoch die Herausforderungen für die Netzinfrastruktur im Vergleich zum Stromsektor.

Eine Verzögerung bei der Durchdringung von Effizienzmaßnahmen im Gebäude- und Anlagenbestand kann zudem hohe absolute Mengen von Sektorkopplung (Wärmepumpen und direktelektrische Nutzung für Prozesswärme) erfordern. Dies ist aus zwei Aspekten problematisch: Einerseits sorgt ein hoher Ausbau von Wärmepumpen durch deren Saisonalität für zusätzliche Herausforderungen im Stromsystem und verursacht damit einen ineffizient hohen Ausbau von Netzinfrastruktur und Kraftwerkskapazitäten. Andererseits sind für die Reduktion von CO₂-Emissionen durch Wärmepumpen hohe Anteile erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung notwendig, was wiederum den notwendigen Ausbau von Infrastruktur und Back-up Kapazitäten im Stromsektor erhöht. Beide Aspekte können, wie im Stromsektor für den Ausbau erneuerbarer Energien diskutiert, langfristig für Ineffizienzen bzw. technologische Lock-in-Situationen führen.

Verkehrssektor

Die Durchdringung von effizienteren Fahrzeugen im Verkehrssektor wird durch die Nutzungsdauer von bestehenden Fahrzeugen erschwert. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Pkw in Deutschland wird auf 13 Jahre geschätzt [KBA 2011]. Im Güterverkehr hängt die durchschnittliche Nutzungsdauer stark von der Fahrzeuggröße ab. Während Sattelzugmaschinen durchschnittlich etwa 4,5 Jahre in Deutschland gemeldet sind, verweilen Lkw unter 3,5 t Nutzlast deutlich länger in Deutschland. Das durchschnittliche Alter liegt über 10 Jahren, die mittlere Nutzungsdauer dürfte auf einem ähnlichen Niveau liegen [KBA 2017]. Durch die hohen

Anteile fossiler Energieträger verzögert dieser Effekt die Senkung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor.

Wenn der Energieverbrauch im Verkehrssektor aufgrund hoher Verkehrsmengen und geringer Effizienz der Fahrzeuge vorgelagert nicht reduziert werden kann, sind sehr hohe Anteile erneuerbarer Energien im Verkehrssektor notwendig, um die CO₂-Emissionen entsprechend zu senken. Hohe Mengen an erneuerbaren Energien können langfristig zu Ineffizienzen bzw. Lock-in Effekten führen. Werden vor allem Biokraftstoffe eingesetzt, bestehen zudem Restriktionen durch beschränkte Biomasse-Potenziale (vgl. Kapitel 5.5.2). Bei einem verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen müssen zudem mögliche Herausforderungen im Stromsektor mitberücksichtigt werden (siehe unten).

Vor allem im Bereich des motorisierten Individualverkehrs besteht kurz- bis mittelfristig die Möglichkeit des Einsatzes von Sektorkopplung, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Hierfür sind im Verkehrssektor vorgelagert insbesondere Investitionen in die Ladeinfrastruktur wichtig. Zudem ist bei einer starken Durchdringung von Sektorkopplung bei zusätzlichen Herausforderungen für die rechtzeitige Bereitstellung von Netzinfrastruktur und zusätzlichen Back-up-Kapazitäten im Stromsektor zu rechnen. Diese Effekte werden einerseits durch die Saisonalität des Stromverbrauchs für Elektrofahrzeuge (hoher Anteil für die Beheizung der Fahrzeuge und geringe Batterieeffizienz im Winter) verstärkt und sind andererseits von den Ladezeiten abhängig.

Bei einer sehr hohen Durchdringung von Sektorkopplung aufgrund geringer vorgelagerter Anstrengungen bei der Senkung des Energieverbrauchs im Verkehrssektor ist auch hier mit Ineffizienzen in der Bereitstellung der notwendigen Kapazitäten zu rechnen. Zudem muss parallel zur Durchdringung der Sektorkopplung ein entsprechender Ausbau von erneuerbaren Energien im Stromsektor umgesetzt werden, wodurch diese Herausforderungen im Stromsektor verstärkt werden. Abgeschwächt werden diese Herausforderungen durch die hohe Effizienz des Elektromotors im Vergleich zum Verbrennungsmotor.

Die Durchdringung fossiler Verbrennungsmotoren und deren zugehörige Infrastruktur in der Vergangenheit stellt einen Lock-in-Effekt dar. Bei einer starken Durchdringung von Elektrofahrzeugen und der Bereitstellung von Infrastruktur kann jedoch in Zukunft ein Lock-in-Effekt eintreten, der unter bestimmten Umständen langfristig Ineffizienzen verursachen kann. Das wäre im Rahmen einer ambitionierten Klimapolitik bei einer deutlichen Kostensenkung synthetischer Kraftstoffe denkbar, die aus heutiger Sicht mit hohen Unsicherheiten behaftet ist.

Bei einem verstärkten Modal Shift zu mehr Schienenverkehr sind zudem Restriktionen beim zeitlichen Ausbau der

Schieneinfrastruktur zu berücksichtigen. Davon abgesehen bestehen bei einer wesentlichen Senkung der CO₂-Emissionen durch solche Maßnahmen Herausforderungen im Stromsektor (vgl. Sektorkopplung bei Elektrofahrzeugen). Aus heutiger Sicht ist zudem kurz- bis mittelfristig aufgrund der Restriktionen für neue Schienentrassen und dem geringen Anteil an den Treibhausgasemissionen durch Dieselverbrauch im Schienenverkehr kein umfassender Beitrag des Schienenverkehrs absehbar.

Wenn nicht nur der Personenverkehr, sondern auch der Güterverkehr (abgesehen vom Schienengüterverkehr) elektrifiziert werden soll, bestehen zusätzliche Herausforderungen für die rechtzeitige Bereitstellung von Leitungsinfrastruktur für Oberleitungs-Lkws. Diese Option ist jedoch bis 2030 von deutlich untergeordneter Relevanz. Gleichzeitig besteht in langfristiger Perspektive die technische Möglichkeit der Nutzung strombasierter Kraftstoffe, die aus erneuerbaren Energien hergestellt wurden. Strombasierte Kraftstoffe bieten den Vorteil, dass sowohl die bestehende Tankinfrastruktur genutzt werden können, als auch Automobile mit Verbrennungsmotoren weiter genutzt werden können. Im Hinblick auf den Zeitraum bis 2030 scheint die Nutzung von strombasierten Kraftstoffen aus heutiger Sicht aufgrund der geringen Effizienz in der Erzeugung und hoher Kosten jedoch noch von geringer Relevanz. Langfristig kann dadurch jedoch ein Beitrag für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors erreicht werden. Das gilt neben dem Straßenverkehr insbesondere auch für den Flug- und Schiffsverkehr.

Zwischenfazit

Im Kontext der für das Jahr 2030 diskutierten Flexibilisierungsoptionen für die Steuerungsziele können für das Kriterium der Langfristigkeit die folgenden vorläufigen Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Hohe Anteile erneuerbarer Energien, insbesondere verbunden mit nur geringen vorgelagerten Effizienzmaßnahmen, können langfristig für Ineffizienzen bzw. Lock-in Effekte sorgen und sorgen daher für zusätzliche Herausforderungen. Dies betrifft insbesondere die Flexibilisierungsoptionen Flex 1, Flex 4, Flex 5 und Flex 6.
- Eine hohe Durchdringung von Sektorkopplung aufgrund geringer vorgelagerter Effizienzanstrengungen kann ebenfalls für zusätzliche Herausforderungen sorgen. Dies betrifft insbesondere die Flexibilisierungsoptionen Flex 4, Flex 5 und Flex 6.

- Dementsprechend reduzieren vorgelagerten Effizienzmaßnahmen gemäß dem Prinzip „Efficiency first“ diese Herausforderungen. Diese Effekte zeigen sich insbesondere in den Flexibilisierungsoptionen Flex 2 und, trotz hohem erneuerbaren Ausbau und relativ hoher Durchdringung von Sektorkopplung, in Flex 3.
- Für die Festlegung der Effizienzziele in den Sektoren ist jedoch die Trägheit des Energiesystems aufgrund der Ersatz- und Sanierungszyklen bei Gebäuden, Anlagen und Fahrzeugen zu berücksichtigen. Diese Effekte können die Realisierung der festgelegten hohen Effizienzziele in den Flexibilisierungsoptionen erschweren.

5.6 Schlussfolgerungen

Im Hinblick auf 2030 wurden in diesem Arbeitspaket verschiedene Kombinationen von (sektoralen) Zielwerten analysiert, mit denen die übergeordneten Ziele zum Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch, zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs und zur Senkung der Treibhausgasemissionen angestrebt werden können. Diese Optionen zur Flexibilisierung der Steuerungsziele wurden unter mehreren Kriterien bewertet. Dafür wurden einerseits die Leitkriterien Kosteneffizienz und Systemintegration sowie andererseits die Nebenkriterien Akzeptanz, Langfristigkeit und Restriktionen herangezogen.

Tabelle 36 fasst die zentralen Ergebnisse der Bewertung im Überblick zusammen.

Tabelle 36: Zusammenfassende Bewertung der Flexibilisierungsoptionen unter den gewählten Kriterien

Kriterien		Flexibilisierungsoptionen						
		Ref	Flex 1	Flex 2	Flex 3	Flex 4	Flex 5	Flex 6
Systemintegration	Kosteneffizienz	●●	●●	●	●●	●●●	●●	●●
	Erzeugung und Verbrauch	●●	●●●	●●	●●	●●●	●●●	●●
	Netzaspekte	●●	●●●	●●	●●	●●●	●●●	●●
Nebenkriterien	Akzeptanz	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	Langfristigkeit	●	●●	●	●	●●●	●●	●●
	Restriktionen	●	●	●●	●	●	●	●

Legende: ●●● sehr hohe Herausforderungen, ●● hohe Herausforderungen, ● moderate Herausforderungen

Quelle: eigene Darstellung

Zuallererst wird festgehalten, dass die Erreichung der übergeordneten energiepolitischen Ziele für das Jahr 2030 wesentliche Beiträge aus allen Sektoren erfordert. Dementsprechend ist zu erwarten, dass im Vergleich zu heute die Herausforderungen bei jeder Kombination der Sektorziele ansteigen. Je nach Ausgestaltung der Sektorziele variieren die Herausforderungen pro Sektor. Bei einer vorausschauenden Wahl der Kombinationen an Zielsetzungen

können die Herausforderungen aus heutiger Sicht aber minimiert werden.

- Die Gesamtkosten der Transformation des Energiesystems können deutlich voneinander abweichen. Vorliegende Studien zeigen, dass die Differenzkosten für Effizienzmaßnahmen (mit Ausnahme der Gebäudeeffizienz) eher gering sind, während der Ausbau erneuerbarer Energien (mit Ausnahme des Wärmesektors und teilweise des Stromsektors) eher mit hohen Differenzkosten verbunden ist. Demensprechend sind in Optionen mit hohen Effizienzzielen (z.B. Flex 2) tendenziell tiefere Gesamtkosten zu erwarten. Durch hohe Effizienzmaßnahmen im Wärmeverbrauch von Gebäuden können die Gesamtkosten etwas höher liegen (z.B. in Flex 5). Allerdings reduzieren Effizienzmaßnahmen in den Sektoren Verkehr und Wärme auch die für die Anstrengung der Ziele notwendige Durchdringung von Sektorkopplung, was die Gesamtkosten wiederum reduzieren kann.
- Zukünftig realisierbare Lernkurven (z.B. für erneuerbare Energien, Sektorkopplungstechnologien und Batteriespeicher) und die Entwicklung der Energiepreise stellen wesentliche Unsicherheitsfaktoren in dieser Betrachtung dar. Geringe volkswirtschaftliche Differenzkosten müssen zudem nicht zwingend auf geringe Kosten aus einzelwirtschaftlicher Sicht hindeuten, was die Realisierung geringer volkswirtschaftlicher Kosten hemmen kann. Nachgelagerte Verteilungseffekte und makroökonomische Effekte sind zudem für politische Zielsetzungen mitberücksichtigen.
- Für die Systemintegration im Stromsektor sind bei Anstrengung der energiepolitischen Ziele bis 2030 in jedem Fall eine Reihe von Herausforderungen zu erwarten. Diese sind bei geringen Effizienzsteigerung im Stromverbrauch (und in den sonstigen Sektoren), einem gleichzeitig hohen Ausbau erneuerbarer Energien und einer deutlichen Durchdringung von Sektorkopplung bis 2030 jedoch höher. Dies zeigt sich z.B. in Flex 4. In Flex 3 können die Herausforderungen durch höhere Stromeffizienz und gleichzeitig höhere Effizienzsteigerungen im Wärme- und Verkehrssektor reduziert werden. Dies gilt auch für Flex 2, wobei die Realisierung der in dieser Option gesetzten Effizienzziele als aus heutiger Sicht ambitioniert eingeschätzt werden kann. Flex 1 (mit geringen Effizienzzielen) weist im Vergleich dazu deutlich kritischere Aspekte der Systemintegration auf. Eine höhere Flexibilität des Stromverbrauchs, insbesondere der neuen Stromverbraucher, reduziert wiederum die Herausforderungen im Bereich der Systemintegration und ist insbesondere bei starker Durchdringung von Sektorkopplung von hoher Bedeutung.

- Akzeptanz und Langfristigkeitsaspekte sind schwer quantifizierbar, stellen aber in jedem Fall relevante Kriterien im Hinblick auf das Jahr 2030 dar. Die fehlende Akzeptanz für bestimmte Maßnahmen (z.B. im Stromsektor) kann die Erreichung bestimmter energiepolitischer Ziele wesentlich beeinflussen (vgl. z.B. Flex 4). Ein kurz- bis mittelfristig hoher Ausbau von Infrastruktur kann zudem langfristig Ineffizienzen verursachen (vgl. Flex 1 und Flex 4). Zudem stellt die Trägheit des Energiesystems durch dessen Kapitalintensität eine wesentliche Herausforderung in der zeitlichen Taktung der Maßnahmen und für die zeitgerechte Einführung von Maßnahmen zur Erreichung von Zielen, z.B. für Effizienzsteigerungen, dar. Restriktionen in der Verfügbarkeit bestimmter Energieträger (z.B. Biomasse) spielen hingegen eher in langfristiger Perspektive eine Rolle und sind in den gewählten Flexibilisierungsoptionen bis 2030 von untergeordneter Bedeutung.
- Ein starker Fokus der Steuerungsziele auf bestimmte Sektoren ist eher kritisch zu bewerten. Beispielsweise kann im Hinblick auf 2030 die Unterstützung eines ambitionierten Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsektor durch Effizienzmaßnahmen in den anderen Sektoren (wie z.B. in Flex 3) die Herausforderungen bei der Systemintegration deutlich reduzieren und ist auch aus Kosten-, Akzeptanz- sowie Langfristigkeit Gesichtspunkten vorzuziehen.

Dementsprechend kann der kurz- bis mittelfristige Fokus auf Energieeffizienzmaßnahmen im Sinne des Prinzips „Efficiency first“ mittel- bis langfristig die Zielerreichung erleichtern. Der Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere im Stromsektor, kann allerdings trotz tendenziell höherer Gesamtkosten einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der energiepolitischen Ziele im Jahr 2030 leisten.

Dies gilt vor allem auch aufgrund der Option, über effiziente Sektorkopplungstechnologien erneuerbarer Stromerzeugung in die Sektoren Wärme und Verkehr zu übertragen. Die damit verbundenen Herausforderungen bei der Systemintegration erfordert eine Steigerung der erzeugungs- und verbrauchsseitigen Flexibilität im Stromsektor. Maßnahmen zur Ermöglichung von Flexibilität im Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen sind dabei von hoher Bedeutung. Zu erwartende höhere Gesamtkosten dieser Technologien können wiederum durch ambitionierte Effizienzziele minimiert werden.

Eine Erreichung des (nationalen) Treibhausgasziels bis 2030 wird zudem durch eine Stärkung übergeordneter Instrumente im Stromsektor, welche nicht direkt Sektorziele im Sinne der Zielarchitektur betreffen, deutlich erleichtert. Ansonsten resultiert die Wirkung von Effizienzmaßnahmen und der Ausbau erneuerbarer

Energien im Stromsektor nur zum Teil in geringeren THG-Emissionen. Die in diesem Fall zu wählenden Steuerungsziele in den Sektoren sind deutlich höher als die realisierte Zielerreichung in aktuell vorliegenden Szenarienstudien.

Anhang

Anhang 1: Instrumentenwirkung

Abbildung A-1: Instrumentenwirkung Sektorziel Stromverbrauch aus Erneuerbaren

Steuerungsziel		Stromverbrauch aus Erneuerbaren Energien (Zielwert 2020: $\geq 35\%$)			
Nr.	Instrument	Beitrag zum Steuerungsziel (jährlich addiert) Bezugsjahr 2008			
		2016	2020		
		exp	min	exp	max
		TWh/a			
1	EEG Strom ohne biogene Brennstoffe	73,3	125,0	132,8	138,3
2	EEG Biogene Brennstoffe	21,8	18,0	19,2	19,9
	SUMME	95,1	143,0	152,0	158,1

Abbildung A-2: Instrumentenwirkung Sektorziel Wärme aus Erneuerbaren

Steuerungsziel		Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien (Zielwert 2020: 14%)			
Nr.	Instrument	Beitrag zum Steuerungsziel (jährlich addiert) Bezugsjahr 2008			
		2016	2020		
		exp	min	exp	max
		PJ/a			
1	MAP	52,6	72,9	77,5	101,4
2	EEG	47,7	50,7	55,8	61,4
3/4/5	Instrumentenbündel Neubau	6,1	9,1	10,0	11,0
3	EEWärmeG (nur Sanierung öffentlicher Gebäude)	1,6	2,9	3,2	3,5
4	KfW-Gebäudeprogramme (nur Sanierungsprogramme)	7,8	9,0	10,4	11,9
5	EnEV (nur Sanierung)	0,0	0,0	0,0	0,0
6	KWK-G	0,0	0,0	0,0	0,0
	SUMME	115,9	144,6	156,8	189,2

Abbildung A-3: Instrumentenwirkung Sektorziel Erneuerbare im Verkehr

Steuerungsziel		Erneuerbare Energien im Verkehrsbereich			
Nr.	Instrument	Beitrag zum Steuerungsziel (jährlich addiert)			
		Bezugsjahr 2005			
		2016	2020		
		exp	min	exp	max
		PJ/a			
1	Förderung der Elektromobilität	0,2	0,2	0,2	0,2
2	Biokraftstoffbeimischung	58,5	61,9	61,9	92,0
	SUMME	59,1	62,4	62,4	92,5

Abbildung A-4: Instrumentenwirkung Sektorziel Reduktion Stromverbrauch

Steuerungsziel		Reduktion Stromverbrauch (Zielwert 2020: -10%)			
Nr.	Instrument	Beitrag zum Steuerungsziel (jährlich addiert)			
		Bezugsjahr 2008			
		2016	2020		
		exp	min	exp	max
		TWh/a			
1	Bafa Vor-Ort-Beratung	0,0	0,0	0,0	0,1
2	vzbv Stationäre Beratung	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Energieberatung Mittelstand/KMU	1,7	2,1	2,7	7,9
4	Energieeffizienznetzwerke Unternehmen	0,3	1,2	2,3	4,2
5	NKI Kommunalrichtlinie	0,0	0,0	0,1	0,1
6	Contracting-Beratung	0,0	0,1	0,1	0,1
7	Kommunale Effizienznetzwerke	0,3	0,7	1,5	2,0
8	Öko-Design	17,9	24,5	30,6	30,6
9	NTRI	0,0	0,01	1,1	4,4
11	KfW EBS	0,7	0,9	0,9	1,4
12	KfW Kommunale Programme	0,1	0,2	0,2	0,2
13	KfW Energieeffizienzprogramm	0,8	0,9	1,8	2,2
15	MAP	0,0	0,0	0,0	0,0
16	BAFA Querschnittstechnologien	0,6	1,3	1,3	1,5
17	Wettbewerbliche Ausschreibungen	0,0	0,1	0,1	0,2
18	NKI Mini-KWK-Richtlinie	0,0	0,0	0,0	0,0
19	NKI gewerbliche Klima- und Kälteanlagen	0,4	0,2	0,2	0,2
20	EnEV	3,6	4,2	4,3	4,7
21	EEWärmeG	0,2	0,2	0,2	0,3
22	Energieauditpflicht Art. 8 EED	0,5	0,9	2,3	2,8
23	NAPE Abwärmeprogramm	0,0	0,0	0,0	0,0
24	Energiesparzähler	0,0	0,1	2,5	4,1
25	Stromsparcheck / Stromsparcheck PLUS	0,1	0,1	0,2	0,2
26	NAPE Aufstockung KfW-Programme	0,0	0,4	0,4	0,4
27	APEE	0,0	0,0	0,0	0,0
	SUMME	27,2	38,2	52,9	67,7

Abbildung A-5: Instrumentenwirkung Sektorziel Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme

Steuerungsziel		Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme (Zielwert 2020: -20%)			
Nr.	Instrument	Beitrag zum Steuerungsziel (jährlich addiert)			
		Bezugsjahr 2008			
		2016	2020		
		exp	min	exp	max
		PJ/a			
1	Bafa Vor-Ort-Beratung	2,8	2,4	3,6	4,7
2	Stationäre Beratung Verbraucherzentrale	1,7	2,3	2,6	2,9
3	Energieberatung Mittelstand/KMU	14,2	11,2	23,1	23,1
4	Energieeffizienznetzwerke Unternehmen	0,3	1,9	2,9	5,2
5	NKI Kommunalrichtlinie	1,1	0,6	2,6	4,6
6	Contracting-Beratung	0,6	1,8	1,8	1,8
7	Kommunale Effizienznetzwerke	0,28	1,2	1,4	1,5
8	Öko-Design	3,1	5,6	7,4	9,3
9	KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren	63,1	86,9	86,9	132,4
10	KfW Kommunale Programme	3,1	4,6	4,7	5,0
11	KfW Energieeffizienzprogramm	10,1	1,3	1,3	6,9
12	MAP	0,0	0,0	0,0	0,0
13	BAFA Querschnittstechnologien	0,4	0,4	1,8	2,3
14	Wettbewerbliche Ausschreibungen	0,0	0,2	0,4	0,6
15	EnEV	207,5	239,2	244,8	267,7
16	EEWärmeG (EnEV -15%)	12,8	15,0	16,0	24,4
17	Energieauditpflicht Art. 8 EED	1,3	2,2	6,3	7,8
18	Energieeffizienzlabel Heizgeräte	0,0	0,0	0,0	21,3
19	NAPE Aufstockung KfW Programme	0,0	9,5	9,5	9,5
20	NAPE Kommunalberatung	0,2	0,6	0,6	1,0
21	APEE	0,1	3,1	3,1	5,6
	SUMME	322,8	390,0	420,8	537,5

Abbildung A-6: Instrumentenwirkung Sektorziel Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr

Steuerungsziel		Reduktion EEV Verkehr (Zielwert 2020: -10%)			
Nr.	Instrument	Beitrag zum Steuerungsziel (jährlich addiert) Bezugsjahr 2005			
		2016	2020		
		exp	min	exp	max
		PJ/a			
1	Audehnung der Lkw-Maut ab 7,5 t und auf Bundesstraßen	1,2	1,2	1,2	3,2
2	Spreizung der Lkw-Maut-Sätze	0,0	0,0	0,0	16,1
3	Förderung des Rad- und Fußverkehrs	0,0	0,1	1,2	10,7
4	Kraftstoffsparendes Fahren (Pkw und Lkw)	3,6	8,4	10,7	10,7
5	Stärkung des Schienengüterverkehrs	0,1	0,6	0,6	13,4
6	Stärkung des Öffentlichen Personenverkehrs	1,0	1,0	1,1	12,2
7	Förderung für energieeffiziente und Hybrid-LKWs	0,0	0,1	3,5	7,2
8	Verlängerung Steuerprivileg für Erdgasfahrzeuge über 2018	0,0	0,0	3,3	3,3
9	Novelle Bundesreisekostengesetz	0,5	2,4	2,4	4,0
10	Unterstützung von Klimaschutzmaßnahmen im int. Seeverkehr	0,0	0,0	0,0	0,0
11	Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe	0,0	0,0	0,0	14,7
12	Verschärfung/Fortschreibung der CO2-Strategie für Pkw	0,0	0,0	0,0	24,1
13	Verschärfung/Fortschreibung der CO2-Strategie für LNF	0,0	0,0	0,0	4,0
14	Einführung einer CO2 Emissionsregulierung für SNF	0,0	9,1	9,1	12,6
15	Luftverkehrssteuer und ETS im Flugverkehr ohne Deckelung	10,7	10,7	10,7	10,7
16	Änderung der Besteuerung von Dienst- und Firmenwagen	0,0	8,0	8,0	8,0
17	Förderung der Elektromobilität	2,2	4,7	10,8	10,8
18	Einführung LKW-Maut	36,5	36,1	36,1	36,1
19	CO2 Regulierung für Pkw	61,3	131,0	131,0	131,0
20	CO2 Regulierung für LNF	2,2	7,9	7,9	7,9
21	Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements	0,0	0,5	0,5	0,5
	SUMME	119,2	221,9	238,2	341,4

Anhang 2: Dokumentation Methodik Maßnahmenwirkungen

Abbildung A-7: Methodik Sektorziel Stromverbrauch aus Erneuerbaren

Stromverbrauch aus Erneuerbaren Energien (Zielwert 2020: $\geq 35\%$)

Sektorspezifische Methodik (instrumentenübergreifend)

Der Ausbau der Erneuerbarer Energien wird derzeit hauptsächlich durch das EEG gesteuert und gefördert. Eine Ausnahme bildet der Eigenverbrauch, der z.T. auch durch indirekte Förderung durch geringere oder keine Umlagen auf den direkt verbrauchten Strom gefördert ist. Viele der zu Grunde gelegten Studien basieren nicht auf Prognosen sondern enthalten Szenarien. Diese Szenarien sind meist an langfristigen Zielentwicklungen ausgerichtet. Hier wir nicht nach Eigenverbrauch oder Fördersystem differenziert. Eine Ausnahme bildet die ÜNB Mittelfristprognose, die tatsächlich eine Entwicklung prognostiziert. In dieser Prognose ist der Eigenverbrauch enthalten. Der EEG Kompromiss vom Juni 2016 verändert die Ausbaukorridore. Da die Realisierungsquoten der EEG Ausschreibungen mit Unsicherheiten behaftet sind und die Mengen durchaus weitgehend von den Bandbreiten der Prognose abgedeckt sind, kann die Mittelfristprognose derzeit als die beste verfügbare Prognose bis zum Jahr 2020 betrachtet werden.

Instrumentenspezifische Herangehensweise

1 EEG

Die Spannbreiten der Entwicklung entstehen durch die Tatsache, dass meist langfristige Zielszenarien mit unterschiedlichen Rahmendaten & Zielen zu Grunde liegen. (Z.B. 80% THG Reduktion vs. 95 % THG Reduktion bis 2050)

Betrachtete Quellen:

- [1] ÜNB Mittelfristprognose 2017 Trendszenario
- [2] Öko Institut & Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050 (2014) 1. Modellierungsrunde. <http://www.oeko.de/oekodoc/2065/2014-638-de.pdf>
- [3] Prognos, EWI, GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publicationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energierferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

- [4] Prognos, EWI, GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose>
- [5] Öko Institut & Fraunhofer ISI: Klimaschutzscenario 2050 (2014) 1. Modellierungsrunde. <http://www.oeko.de/oekodoc/2065/2014-638-de.pdf>
- [6] Öko Institut & Fraunhofer ISI: Klimaschutzscenario 2050 (2014) 1. Modellierungsrunde. <http://www.oeko.de/oekodoc/2065/2014-638-de.pdf>
- [7] UBA 2014: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/07_2014_climate_change_dt.pdf
- [8] ISI, ISE, Prognos, Comillas, ECN 2014: Estimating energy system costs of sectoral RES and EE targets in the context of energy and climate targets for 2030. http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/en/projects/REScost2030-Background-Report-10-2014_clean.pdf
- [9] Öko Institut & Fraunhofer ISI: Klimaschutzscenario 2050 (2015) 2. Modellierungsrunde (KS80). <http://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>
- [10] Öko Institut & Fraunhofer ISI: Klimaschutzscenario 2050 (2015) 2. Modellierungsrunde (KS95). <http://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>
- [11] Öko Institut & Fraunhofer ISI: Projektionsbericht 2015 gemäß der Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU

Abbildung A-8: Methodik Sektorziel Wärme aus Erneuerbaren

Steuerungsziel: Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien (Zielwert 2020: 14%)

Sektorspezifische Methodik (instrumentenübergreifend)

Die Effekte der relevanten Politikinstrumente zum Steuerungsziel Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien wurden auf Basis der Studienauswertung (AP 1) sowie ergänzenden eigenen Untersuchungen ermittelt. Im Allgemeinen basiert die ergänzende eigene Abschätzung auf ex-post-Evaluierungen bestehender Instrumente, die auf Basis angenommener zukünftiger Aktivitätsraten (z.B. Anzahl Förderfälle) sowie spezifischer Wirkungen pro Aktivität (z.B. EEV EE-Wärme je Förderfall) bottom-up fortgeschrieben wurden. Bei der Abschätzung musste berücksichtigt werden, dass beobachtbare Wirkungen häufig auf ein Bündel verschiedener Instrumente, aber auch auf autonome Entwicklungen zurückzuführen sind. Um eine instrumentenscharfe Wirkungsabschätzung vornehmen zu können und um ein konsistentes und doppelzählungsfreies Gesamtbild zu erhalten, mussten die Ergebnisse der Einzelstudien an einigen Stellen modifiziert werden. Im Falle der Instrumente, die den Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung im Gebäudeneubau fordern bzw. fördern, war eine instrumentenscharfe Zuweisung der Wirkungen nicht möglich. Die feststellbare Wirkung im Neubau wurde daher einem Instrumentenbündel zugeschrieben (s.u.).

Im Datenblatt sind die absoluten Beiträge mit zugehörigen Schwankungsbreiten der relevanten Politikinstrumente zum Steuerungsziel Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien seit dem Basisjahr 2008 dargestellt. Zusätzlich werden im Datenblatt die Beiträge der Instrumente zu den übergeordneten Zielen: Reduktion des Primärenergieverbrauchs sowie Minderung der CO₂-Emissionen ausgewiesen. Diese berechnen sich grundsätzlich aus der durch erneuerbare Energien substituierten fossilen Endenergie (i.e. Strom sowie fossile Brennstoffe inkl. Fernwärme; zu den Annahmen zu den jeweiligen Substitutionsbeziehungen s.u.), dem verursachten erneuerbaren Endenergieverbrauch und den jeweiligen Primärenergie- und CO₂-Faktoren für Strom sowie konventionelle und erneuerbare Energieträger. Etwaige Veränderungen bezüglich des Endenergieverbrauchs beim Wechsel von konventionellen Heizungen auf erneuerbare Energien wurden vernachlässigt, da die Wirkungsgrade der konventionellen und erneuerbaren Energien sich nicht wesentlich unterscheiden. In den dargestellten Einsparungen an Primärenergie und CO₂-Emissionen sind jeweils der verursachte Primärenergieverbrauch bzw. verursachte CO₂-Emissionen nicht enthalten, d.h. die Einsparungen sind "netto".

Instrumentenspezifische Herangehensweise

1/2/3/5/6 Instrumentenbündel Wärmenetze: MAP, KWKG, EEG, EEWärmeG, EnEV

Methodik:

Im Bereich der Wärmenetze können sowohl die Fördermöglichkeiten durch MAP und KWKG als auch das EEG (durch KWK-Boni bzw. seit 2012 durch die Verpflichtung zur Abwärmenutzung) als ursächlich für den Ausbau der erneuerbaren Nah- und Fernwärme deklariert werden; mitunter werden auch bewusst Kombinationen von Förderprogrammen zugelassen. Zudem begünstigen die ordnungsrechtlichen Anforderungen von insb. EEWärmeG und EnEV den Ausbau der erneuerbaren Nah- und Fernwärme. In diesem Vorhaben werden die durch geförderte Wärmenetze geleiteten Wärmemengen stets dem Instrument zugeschrieben, welches vorrangig den Bau der einspeisenden EE-Wärme-Anlage anreizt. Im Falle von Biomasse-KWK-Anlagen ist dies annahmegemäß das EEG (vgl. dazu methodische Anmerkungen zum KWKG) mit Ausnahme von streng wärmegeführten Biomasse-KWK-Anlagen, die dem MAP zugewiesen werden. Ebenso werden alle Heizwerke auf Basis erneuerbarer Energien dem MAP zugeschrieben. Zwar werden durch diesen Ansatz die Wirkungen des KWKG, die sicherlich die Investitionsentscheidungen in Wärmenetze stark beeinflussen sowie die flankierende Wirkungen des Ordnungsrechts (EnEV, EEWärmeG) unterschätzt. Wichtiger erscheint es jedoch, Doppelzählungen bei der Wirkungsabschätzung zu vermeiden, was durch den skizzierten Ansatz erreicht wird.

3/4/5 Instrumentenbündel Neubau: EEWärmeG, EnEV, KfW-Programme "Ökologisch Bauen" bzw. "Energieeffizient Bauen"

Methodik:

Im Gebäudeneubau haben mehrere Politikinstrumente Auswirkungen auf den Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung. Dazu gehören im Wesentlichen das EEWärmeG, die EnEV und die KfW-Programme "Ökologisch Bauen" bzw. "Energieeffizient Bauen". Das MAP wird, da es den Neubau nur in Ausnahmefällen adressiert, an dieser Stelle nicht weiter betrachtet; etwaige Wirkungen des MAP im Neubau sind aber bei der Wirkungsabschätzung des MAP enthalten. Zwar existieren für die KfW-Programme und das EEWärmeG Wirkungsabschätzungen im Rahmen von Einzelstudien. Das Zusammenführen der dort ausgewiesenen Effekte wäre jedoch aufgrund der unterschiedlichen Annahmen in den Einzelstudien methodisch nicht einwandfrei und würde zu Doppelzählungen führen. Beispielsweise enthalten die Erfahrungsberichte zum EEWärmeG keine Angaben zu den Wirkungen der EnEV oder der KfW-Programme. In der Folge ist für die zentralen "Neubau-Instrumente" keine isolierte Wirkungszuweisung möglich. In den Datenblättern wird jedoch die Wirkung des Instrumentenbündels im Neubau ausgewiesen, um in der Gesamtschau eine weitgehend lückenlose Darstellung der Effekte aller Politikinstrumente, die zum Steuerungsziel beitragen, zu erlangen. Die Wirkung des "Instrumentenbündels Neubau" wurde dabei wie folgt bestimmt: zunächst wurde in Anlehnung an das Vorgehen des 2. Erfahrungsberichts zum EEWärmeG [Prognos et al. 2016] eine hypothetische Entwicklung des erneuerbaren EEV für Wärme für die Jahre 2009 bis 2020 modelliert unter der Maßgabe, dass die relevanten Politikinstrumente, die ab 2009 in Kraft getreten sind, nicht existieren. Hierzu wurden Daten zur Entwicklung des Neubausektors in den Jahren 2005 bis 2008 herangezogen und angenommen, dass auch die Gebäude, die ab 2009 errichtet wurden, hinsichtlich der Beheizungsstruktur den gleichen EE-Anteil aufweisen wie die Gebäude aus den vorausgehenden Jahren. Dieser hypothetischen Entwicklung wurde sodann die tatsächliche Entwicklung des erneuerbaren EEV für Wärme aller Neubauten seit 2009 auf Basis von [Prognos et al. 2016] (eigene Fortschreibung bis 2020 auf Basis der Bautätigkeitsstatistik und unter Berücksichtigung des höheren EnEV-Neubaustandards ab 2016) gegenübergestellt. Die resultierende Differenz beim erneuerbaren EEV für Wärme wurde dem Instrumentenbündel bestehend aus EEWärmeG, EnEV und den KfW-Neubauprogrammen zugeschrieben. Die Schwankungsbreiten (min/max in den Datentabellen) sind ein Maß für die

Unsicherheiten (insb. bezüglich der hypothetischen Referenzentwicklung sowie der Entwicklung der Bautätigkeit) bei diesem Berechnungsansatz.

Hinsichtlich der Substitutionsbeziehungen der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien, die dem Instrumentenbündel Neubau zuzuschreiben ist, wird angenommen, dass ausnahmslos fossile Brennstoffe ersetzt werden.

Betrachtete Quellen:

Prognos, ISI, DLR, Öko-Institut, KIT: Wissenschaftlicher Bericht zur Vorbereitung des Erfahrungsberichts zum EEWärmeG – Wesentliche Ergebnisse, 2016

Statistisches Bundesamt: Baugenehmigungen und Baufertigstellungen neuer Gebäude: Deutschland, Jahre, Gebäudeart, Energieverwendung, Energieart, 2017

1 **Marktanreizprogramm (MAP)**

Methodik:

Ex-post-Beitragsdaten wurden den jeweiligen Evaluationsstudien entnommen. Für die ex-ante Wirkungsabschätzung des MAP wurden eigene energieträgerspezifische Prognosen vorgenommen unter der Annahme, dass die Förderkonditionen der MAP-Richtlinie vom März 2015 sowie das APEE fortgeführt werden und es keine Veränderungen beim Förderbudget gibt. Die Studienschätzwerte ("stu-Werte") basiert dabei auf neuesten verfügbaren Daten zur Inanspruchnahme des Programms (Stand Juli 2017). Zusätzlich zu der als realistisch betrachteten Studienschätzwerte wurde eine Maximal-Prognose ("max") vorgenommen, die sich bezüglich Biomasse, Wärmepumpen und Solarthermie an der starken Fördernachfrage der Jahre 2008/2009 orientiert (vgl. Öko-Institut et al., 2013). Analog wurde eine pessimistische Minimal-Prognose ("min") erstellt, die sich an den jeweils geringsten Antragszahlen der letzten Jahre orientiert. Die Berechnung des EEV für Wärme durch geförderte Anlagen erfolgt auf Basis von mittleren Volllaststunden bzw. solaren Erträgen und Effizienzfaktoren, die aus den Evaluationsstudien abgeleitet wurden. Der Beitrag des MAP beinhaltet nicht den EEV Wärme aus Biogas-BHKW, der durch MAP-geförderte Wärmenetze nutzbar gemacht wird (s.o.). Bei Wärmepumpen ist nur die Erd- bzw. Umweltwärme ohne Strom im erneuerbaren EEV enthalten.

Die Aufteilung der substituierten fossilen Endenergie auf Strom und Brennstoffe erfolgt auf Basis des Ansatzes des UBA im Rahmen der "Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger". Das UBA stellt für verschiedene erneuerbare Wärmeerzeugungstechnologien Substitutionsfaktoren bereit, welche durch Mengengewichtung mit der Erzeugungsstruktur der geförderten Anlagen die erforderliche Aufteilung ermöglicht.

Betrachtete Quellen:

BAFA: Monatsstatistik Marktanreizprogramm. Antragszahlen 2016/2017. Stand Juli 2017

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014: Evaluierung des Förderjahres 2014, 2016

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014: Evaluierung des Förderjahres 2013, 2015

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014: Evaluierung des Förderjahres 2012, 2014

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011: Evaluierung des Förderjahres 2011, 2012

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011: Evaluierung des Förderjahres 2010, 2011

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011: Evaluierung des Förderjahres 2009, 2010

Öko-Institut et al.: Politikszenerarien für den Klimaschutz VI, 2013

UBA: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016, 2017

2 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Methodik:

Die ex-post-Zielbeiträge wurden anhand energiestatistischer Daten [BMWi 2017] und dem EEG-Monitoring [DBFZ 2015] abgeleitet. Der ex-ante-Beitrag ergibt sich auf Basis der energieträgerspezifischen Mittelfristprognosen zur EEG-Stromerzeugung [Leipziger Institut für Energie 2016] sowie Annahmen zum jeweiligen KWK-Anteil an der Stromerzeugung und zu den Stromkennzahlen. Die angenommene Entwicklung der KWK-Anteile und der Stromkennzahlen wurde aus einer Analyse und Fortschreibung der historischen Werte anhand von [DBFZ 2015] und [BMWi 2017] abgeleitet. Die angegebenen Spannweiten bilden die Unsicherheit bezüglich der Entwicklung der Stromerzeugung, der KWK-Anteile und der Stromkennzahlen ab. Im Datengerüst enthalten ist der EEV Wärme aus EEG-geförderten KWK-Anlagen auf Basis von fester Biomasse, Biogas und Biomethan, flüssiger Biomasse und Tiefengeothermie. Klär- und Deponiegas sind nicht enthalten, da die Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärgas mehrheitlich nicht EEG-getrieben ist (vgl. [ZSW et al. 2014]) bzw. die Erzeugung aus Deponiegas in Folge des Ablagerungsverbots für organische Stoffe kaum noch bedeutend ist.

Die Aufteilung der substituierten fossilen Endenergie auf Strom und Brennstoffe erfolgt auf Basis des Ansatzes des UBA im Rahmen der "Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger". Das UBA stellt für verschiedene erneuerbare Wärmeerzeugungstechnologien Substitutionsfaktoren bereit, welche durch Mengengewichtung mit der Erzeugungsstruktur der geförderten Anlagen die erforderliche Aufteilung ermöglicht.

Betrachtete Quellen:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand August 2017

DBFZ et al.: Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht, 2015

Leipziger Institut für Energie: Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Energien in den Jahren 2017-2021, Oktober 2016

ZSW et al.: Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG. Spartenübergreifende und integrierende Themen sowie Stromerzeugung aus Klär-, Deponie- und Grubengas, 2014

Fichtner GmbH & Co. KG et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014: Evaluierung des Förderjahres 2014, 2016

UBA: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016, 2017

3 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Methodik:

Die Effekte der Nutzungspflicht zum Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteversorgung gemäß EEWärmeG im Neubau sind in den Wirkungen des Instrumentenbündels Neubau enthalten.

Zusätzlich zum Neubau leistet das EEWärmeG auch im Rahmen von grundlegenden Sanierungen öffentlicher Bestandsgebäude Beiträge zum Steuerungsziel Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien. Bezüglich der korrespondierenden Wirkungen liegen jedoch keine gesicherten Daten vor. Die Wirkungen können nur mit Hilfe von allgemeinen Daten zum öffentlichen Gebäudebestand abgeschätzt werden. Hierzu wurden die Berechnungen herangezogen, die im Rahmen einer Studie aus dem Jahr 2010 zu den Auswirkungen einer Ausweitung der Nutzungspflicht auf den öffentlichen Gebäudebestand vorgenommen wurden [Nast et al. 2010]. Die Berechnung der Wirkung des EEWärmeG bei der Sanierung öffentlicher Bestandsgebäude basiert auf Schätzungen nach [Nast et al. 2010] zum von der Nutzungspflicht erfassten Wärmebedarf, zur Nutzungspflichtauslösenden Sanierungsrate und zum Technologiesplit der Wärmeerzeugung nach Sanierung; Abschlag zur Vermeidung von Doppelzählungen wegen der Möglichkeit der Förderung von über das EEWärmeG hinausgehenden Maßnahmen.

Methodische Vorgehensweise zur Ermittlung der Substitutionsbeziehungen: Da zur Heizungsstruktur öffentlicher Bestandsgebäude und damit auch zur Aufteilung der substituierten fossilen Endenergie auf Strom und Brennstoffe kaum gesicherte Daten vorliegen, wurde vereinfachend auf Daten zur Wärme- und Kältebereitstellung in Gebäuden des GHD-Sektors gemäß [ISI et al. 2014] zurückgegriffen. Aus dieser Studie wurde der Anteil von Strom und Brennstoffen an der Wärme- und Kältebereitstellung in denjenigen Gebäudetypen, die zumindest teilweise öffentlich sind (insb. "büroähnliche Gebäude", "Krankenhäuser, Schulen, Bäder" und "Flughäfen", vgl. [ISI et al. 2014]) ermittelt und vereinfachend angenommen, dass diese Struktur den gesuchten Substitutionsbeziehungen in öffentlichen Bestandsgebäuden entspricht.

Betrachtete Quellen:

Nast et al.: Ergänzende Untersuchungen und vertiefende Analysen zum EEWärmeG (Folgevorhaben), 2010

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Zweiter Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, 2015

ISI et al. (2014): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013, 2014

4

KfW-Gebäudeprogramme

Methodik:

Neben den Beiträgen der KfW-Neubauförderprogramme, die im Instrumentenbündel Neubau enthalten sind, liefern auch die KfW-Programme zum energieeffizienten Sanieren von Wohn- und Nichtwohngebäuden Beiträge zum Steuerungsziel Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien. Hierzu gehören die Programme "Energieeffizient Sanieren", „Energieeffizient Bauen und Sanieren - Energiekosten im Gewerbegebäude senken" sowie "IKK bzw. IKU - Energieeffizient Bauen und Sanieren" inkl. der Vorgängerprogramme. Die Angaben enthalten nicht die Wirkungen des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren – Ergänzungskredit“; diese wurden dem MAP zugeschrieben. Die ex-post-Beiträge der einzelnen Programme wurden den jeweiligen Evaluationsberichten entnommen. Die ex-ante-Beiträge ergeben sich im Allgemeinen aus den spezifischen EE-Wärme-Beiträgen der einzelnen Programme gemäß den Evaluationen skaliert mit dem zur Verfügung stehenden Förderbudget. Das Förderbudget für alle Programme des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms wird im Zeitraum von 2015 bis 2020 als konstant bei 2 Mrd. € angenommen. Die angegebenen Spannweiten bilden die Unsicherheit bezüglich der Inanspruchnahme der Förderprogramme ab. Die Unsicherheiten sind insb. in der prospektiven Betrachtung relativ groß, da u.a. noch keine Evaluationen bezüglich des neuen KfW-Programms für gewerbliche Gebäude vorliegen.

Die Aufteilung der substituierten fossilen Endenergie auf Strom und Brennstoffe erfolgt auf Basis der Evaluationsstudien. Die angegebenen Primärenergie- und CO₂-Einsparungen der Programme enthalten nur die Einsparungen die auf den Einsatz erneuerbarer Heizungstechnologien zurückzuführen sind, nicht aber die Einsparungen durch verbesserten Wärmeschutz (dieser ist beim Steuerungsziel Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme verbucht).

Betrachtete Quellen:

Diefenbach et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ 2010 und „Ökologisch / Energieeffizient Bauen“ 2006 - 2010, 2011

Diefenbach et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2011, 2013

Diefenbach et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2012, 2014

Diefenbach et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2013, 2014

Diefenbach et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2014, 2015

Diefenbach et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2015, 2016

Clausnitzer et al.: Wirkungen von Förderprogrammen der KfW im Bereich Nichtwohngebäude der Förderjahre 2011 bis 2014, 2015

Clausnitzer et al.: Evaluation der KfW-Programme „KfW-Kommunalkredit - Energetische Gebäudesanierung“, „Energieeffizient Sanieren – Kommunen“ und „Sozial investieren – Energetische Gebäudesanierung“ der Jahre 2007 bis 2010, 2011

5 Energieeinsparverordnung (EnEV)*Methodik:*

Neben den im "Instrumentenbündel Neubau" (s.o.) enthaltenen Effekte der EnEV im Neubau liefert die EnEV auch Beiträge zum Steuerungsziel Wärmeverbrauch aus Erneuerbaren Energien bei der Sanierung von Bestandsgebäuden. Die Datenlage erlaubt zu letzterem jedoch keine Quantifizierung der Wirkungen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei der Installation von EE-Wärme-Anlagen, die im Rahmen einer Sanierung über EnEV-Vorgaben hinaus erfolgt, in vielen Fällen Förderprogramme (MAP, KfW Energieeffizient Sanieren) in Anspruch genommen werden. Damit ist die Wirkung bereits bei diesen Instrumenten verbucht. Die verbleibende Lücke – also der Beitrag, der ausschließlich der EnEV bei der Sanierung von Bestandsgebäuden beigemessen werden kann – wird als gering eingeschätzt.

6 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)*Methodik:*

Aussagen des BAFA zufolge werden die vom BAFA nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz zugelassenen KWK-Anlagen zu fast 100% mit fossilen Energien betrieben. Daher wird dem KWKG in Bezug auf die erneuerbare Wärmebereitstellung aus KWK-Anlagen kein Beitrag beigemessen.

Die Beiträge des KWKG zu den Kernzielen werden im Kapitel zu den übergeordneten Instrumenten (Kapitel 3.7) quantifiziert.

Betrachtete Quellen:

Persönliche Auskunft durch das BAFA vom 20.04.2016

Abbildung A-9: Methodik Sektorziel Erneuerbare im Verkehr

Steuerungsziel: Steigerung des Anteils EE im Verkehr

Sektorspezifische Methodik (instrumentenübergreifend)

Der Bereich der Erneuerbaren Energien im Verkehr überlappt teilweise mit dem Bereich Energieeffizienz, da zum einen eine stärkere Elektrifizierung der Fahrzeugflotten mit einer steigenden Energieeffizienz einhergeht wegen des höheren Wirkungsgrads von batterie-elektrischen Fahrzeugen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Darüberhinaus besteht die Schwierigkeit bei den Erneuerbaren Energien im Verkehr, dass diese von der Herstellung der Energieträger abhängen, womit implizit eine Sektorübergreifende Annahme in den evaluierenden Studien mit einfließen musste, um ein Reduktionspotenzial zu ermitteln.

Instrumentenspezifische Herangehensweise

1	<p>Förderung der Elektromobilität</p> <p><i>Methodik:</i> Die betrachteten Studien unterscheiden sich zum einen in der Verwendung unterschiedlicher Referenzszenarien und Annahmen. Während man beim Projektionsbericht 2013 davon ausgeht, dass im Jahr 2030 der Zielwert von 6 Mio E-Fahrzeugen erreicht wird, ist dies bei den Politiszenarien VI noch nicht der Fall, weswegen die Einsparung im Jahr 2030 geringer ausfällt.</p> <p><i>Betrachtete Quellen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> [1.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014) - Annahmen aus dem Projektionsbericht 2013 - MMS mit 600.000 E-Fahrzeugen im Bestand 2020 [1.2] Projektionsbericht 2013 - Starke Förderung der Elektromobilität zur Erreichung der Ziele der Bundesregierung von 1 Mio E-Fahrzeuge bis 2020 und 6 Mio E-Fahrzeuge bis 2030; im Mit-Weiteren-Maßnahmen Szenario definiert; [1.3] Politiksznarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 [1.4] Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2016) - Kaufprämie plus flankierende Instrumente (Ladesäulen- und Schnellladesäulenaufbau, steuerrechtliche Förderung, Informationskampagnen); Annahme von Mitnahmeeffekten und Kompensation bereits früher bestehender herstellerseitiger Prämien; Strom zu 100% aus EE
---	---

[1.5] Projektionsbericht 2017 - MMS - Förderung des Kaufs von BEV und PHEV ab Mitte 2016 bis max. 2020

[1.6] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Effekte aus Kaufprämie, Steuerrechtliche Förderung E-Mobilität, Infrastrukturprogramme Ladesäulen+ Schnellladesäulen, Beschaffungsprogramm E-Mobilität; Annahme: 187,000 BEV und 132,000 PHEV zusätzlich bis 2020, Elektrischer Fahranteil PHEV bei 80%, Durchschnittlicher Verbrauch 17 kWh/100 km, Strombedarf wird durch zusätzliche erneuerbare Stromquellen gedeckt

2

Biokraftstoffbeimischung

Methodik:

Die Spannweite der Zielbeiträge durch die Biokraftstoffbeimischung zwischen den beiden Projektionsberichten entstammt aus unterschiedlichen Annahmen zur Berücksichtigung der Vorkettenemissionen. Diese wurden im Bericht 2015 nicht berücksichtigt, weswegen die Potenziale darin größer sind.

Betrachtete Quellen:

[2.1] Projektionsbericht 2015 - MMS Szenario, ohne Berücksichtigung der Vorkettenemissionen, 7%-9% Beimischung 2020, 25% Biomethan 2025

[2.2] Projektionsbericht 2013 - MMS Szenario

[2.3] Projektionsbericht 2017 - MMS Szenario

Abbildung A-10: Methodik Sektorziel Reduktion Stromverbrauch

Reduktion Stromverbrauch (Zielwert 2020: -10%)

Sektorspezifische Methodik (instrumentenübergreifend)

Die Effekte der relevanten Politikinstrumente zum Steuerungsziel Reduktion des Endenergieverbrauchs für Strom, wie sie im Daten-Tabellenblatt dargestellt sind, wurden im Wesentlichen auf Basis der Studiauswertung (AP 1) ermittelt. Die berechneten Einsparungen beziehen sich auf das Jahr 2008, bzw., bei späterem Beginn, auf das erste Jahr der Wirkung des jeweiligen Instruments.

Die dargestellten Instrumentenwirkungen resultieren teilweise aus einer Fortschreibung bzw. Anpassung von ex post Beobachtungen. Bei Instrumenten wie Ökodesign, die Anforderungen für einzelne Gerätetypen beinhalten, basieren die Abschätzungen auf einer Modellierung mit einem Bottom-up Gerätermodell. Bei ganz neuen Instrumenten wie der wettbewerblichen Ausschreibung oder dem Einsparzähler wurde eine hypothetische Ausschöpfung des Potenzials modelliert sowie auf Erfahrungen mit ähnlichen Instrumenten in anderen Ländern zurückgegriffen. Die untere Abschätzung geht in der Regel von einer Weiterführung der Instrumente wie bisher aus, die obere Abschätzung entspricht in der Regel einer Entwicklung mit verschärften Anforderungen oder Aufstockungen von Fördermitteln. Bei den den Gebäudebereich adressierenden Instrumenten (Beratungsprogramme, finanzielle Förderprogramme sowie EnEV und EEWärmeG) entfällt der größte Teil der Einsparungen auf Brennstoffe. Der hier separat ausgewiesene Stromanteil wurde basierend auf internen Annahmen für den NAPE abgeschätzt.

Instrumentenspezifische Herangehensweise

1,2,3
,5,6

Beratungsprogramme Gebäude (Vor-Ort-Beratung, Stationäre Beratung, Kommunalberatung)

Methodik:

Bei Beratungsprogrammen sind grundsätzlich Überschneidungen zu investiven Fördermaßnahmen möglich. Beispielsweise kann eine Beratung dazu führen, dass eine identifizierte Maßnahme später mit Hilfe von KfW-Mitteln umgesetzt wird. Diese Überschneidungen wurden in den betrachteten Studien bestmöglich herausgerechnet, eine vollständig isolierte Betrachtung der Förderung von Beratungen und Maßnahmen ist jedoch schwierig. Um die Effekte der Beratung zu ermitteln werden in der Regel mittlere Einspar-Wirkungen pro Beratung ermittelt und basierend auf einer geschätzten Anzahl jährlicher Beratungen hochgerechnet.

Betrachtete Quellen:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Thesenpapier zum Handlungsfeld Gebäude, 2015

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Evaluation der Energiesparberatung vor Ort, 2014

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

3 **Energieberatung Mittelstand/KMU**

Methodik:

Für die Ermittlung der ex-ante Wirkung konnte hier auf vorliegende Evaluationen des Programms Energieberatung Mittelstand/KMU selbst sowie des Vorgängerprogramms Sonderfonds Energieeffizienz zurückgegriffen werden. Die Abschätzung der Einsparwirkung basiert auf einer angenommenen Anzahl an Beratungen, die in den betrachteten Quellen unterschiedlich sein kann. Dies ist auch ein Grund für die Differenzen in der Einsparwirkung.

Betrachtete Quellen:

IREES/Fraunhofer ISI: Evaluation des Förderprogramms "Energieberatung im Mittelstand" - Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Karlsruhe, 3. Dezember 2014.

Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios MWMS)

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

4 **Energieeffizienznetzwerke Unternehmen**

Methodik:

Zwischen 2009 und 2012 wurden im Rahmen des von der Nationalen Klimainitiative (NKI) des BMU geförderten „30 Pilot-Netzwerke“-Projektes 30 Lernende-Energieeffizienz-Netzwerke (Durchführung auf Basis des LEEN-Managementsystems) in Deutschland etabliert und bis einschließlich 2013 einem Monitoring und einer begleitenden Evaluation unterzogen (www.30pilot-netzwerke.de). Bei der Abschätzung der Wirkung einer Ausweitung der Netzwerke konnte auf diese bereits bestehenden Erfahrungen zurückgegriffen werden. Die in den einzelnen Quellen angegebenen Wirkungen unterscheiden sich insbesondere aufgrund einer unterschiedlichen Anzahl der dahinter stehenden Netzwerke (30, 100, 500). Im 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) konnte erstmals auch auf erste Ergebnisse des Monitoring der 500 Effizienznetzwerke der dena zurückgegriffen werden.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Industrie und Gewerbe, 2015.

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.

7 Kommunale Effizienznetzwerke

Methodik:

Hier handelt es sich um eine neu eingeführte Maßnahme, für die noch keine Erfahrungen aus Evaluationen vorliegen. Die für den NAPE durchgeführte ex-ante Abschätzung der möglichen Wirkung basiert auf Annahmen zur Anzahl der etablierten Netzwerke und der pro Netzwerk erzielbarer Einsparungen. Seit Kurzem liegen auch erste Ergebnisse aus der Evaluierung des Energieeffizienzfonds (Hirzel et al. 2017) vor, die auch für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) verwendet wurden.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Öko-Institut, Ecofys, IREES: Entwicklung eines Konzepts für das Erreichen der nationalen Energieeinsparziele bis 2020 und bis 2050 auch unter Berücksichtigung relevanter EU-Vorgaben im Kontext einer ganzheitlichen Klima- und Energiepolitik („Aktionsplan Energieeffizienz“) - Endbericht zu AP 1

Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b).

Hirzel et al.: Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. 2. Evaluierungsbericht. Stand September 2017

8 Öko-Design

Methodik:

Die EU-Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG setzt einen Rahmen für die Festsetzung von Mindeststandards von energieverbrauchsrelevanten Geräten. Die Mindeststandards werden in Durchführungsmaßnahmen für einzelne Produkte festgesetzt, wobei sich die Mindeststandards an den Least Life-Cycle Costs (LLCC) orientieren. Die Wirkungsabschätzung erfolgte unter Verwendung eines Bottom-up Simulationsmodells. Die großen Unterschiede der Wirkung in den hier verwendeten Quellen sind im wesentlichen auf eine unterschiedliche Definition der modellierten Szenarien. Die sehr hohen Einsparungen im MWMS des Projektionsbericht 2013 basieren auf einer sehr ambitionierten Ausgestaltung des Instruments, die für alle Produktgruppen den Einsatz der besten verfügbaren Technologie (BVT) annimmt.

Betrachtete Quellen:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Geräte und Produkte. 2014.

Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios MWMS)

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

<p>9</p>	<p>Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017</p> <p>NTRI</p> <p><i>Methodik:</i> Die Abschätzung dieser im Rahmen des NAPE neu eingeführten Maßnahme basierte auf dem gesamten Einsparpotenzials, das mit den von der NTRI adressierten Gerätegruppen erzielt werden kann (basierend auf dem Projektionsbericht 2013). In einem weiteren Schritt wurde abgeschätzt, welcher Teil des Potenzials mit der NTRI ausgeschöpft werden kann. Dabei wurden Überschneidungen mit anderen Instrumenten, die das gleiche Potenzial adressieren (insbesondere Öko-Design und wettbewerbliche Ausschreibung sowie der Einsparzähler) berücksichtigt. In der später erfolgten Abschätzung der Einsparwirkung der NTRI im Projektionsbericht 2015 (MWMS) wurde ebenfalls angenommen, dass durch die Nationale Top-Runner-Initiative eine beschleunigte Marktdurchdringung mit effizienten Geräten im Bereich Kochen und weiße Ware erzielt wird. Es wird jedoch schon ein geringeres finanzielles Fördervolumen für diese Maßnahme berücksichtigt als noch im NAPE. Für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) konnte auch auf erste Ergebnisse der laufenden Evaluierung im Rahmen des NAPE-Monitoring des BMWi zurückgegriffen werden.</p> <p><i>Betrachtete Quellen:</i> Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Geräte und Produkte. 2014. Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015) Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017 Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB. Januar 2017. BMW: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.</p>
<p>11, 12, 14, 15, 26</p>	<p>Finanzielle Förderprogramme für Gebäude (KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren, KfW Kommunalprogramme, KfW Nichtwohngebäude, MAP, NAPE Aufstockung KfW Programme)</p> <p><i>Methodik:</i> Die Evaluation errechnet basierend auf den geförderten Maßnahmen und einer angenommenen Nutzung entsprechend der DIN V 18599 jährliche Endenergieeinsparungen. Dabei werden Lebensdauern der Maßnahmen berücksichtigt und auf einzelne Jahre heruntergerechnet. Die Fortschreibungen orientieren sich an diesen Werten, basierend auf einer angenommenen Entwicklung der Fördergegenstände.</p> <p><i>Betrachtete Quellen:</i> IWU, Fraunhofer IFAM: Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2014 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014</p>

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Prognos: Aktualisierung der Endenergieeinsparung ausgewählter alternativer Maßnahmen im Kontext von Art. 24 und Anhang XIV EED, Kurzexpertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016

13 KfW-Effizienzprogramm

Methodik:

Für die Ermittlung der ex-ante Wirkung konnte hier auf eine vorliegende Evaluationen zurückgegriffen werden. Die Kennwerte der Fördereffekte des Jahrgangs 2012 können daher als Ausgangsbasis verwendet werden. Der Einspareffekt wird über dann über ein angenommenes Darlehensvolumen hochgerechnet. Unterschiede in der Einsparwirkung können sich insbesondere durch unterschiedliche Annahmen zum Darlehensvolumen ergeben.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Industrie und Gewerbe. 2014.

Prognos: Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012 - Endbericht. Im Auftrag der KfW. 2014.

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.

BMWi: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.

16 BAFA Querschnittstechnologien

Methodik:

Eine Evaluierung des BAFA-Querschnittstechnologienprogramms (in seiner Ausgestaltung bis 2015) wurde von der dena durchgeführt. Der Evaluierungsbericht wird derzeit (Oktober 2016) im BMWi noch geprüft und ist noch nicht offiziell veröffentlicht. Für die hier durchgeführte Wirkungsabschätzungen konnten die Evaluierungsergebnisse daher noch nicht berücksichtigt werden. Die Berechnung der Programmwirkung basiert daher auf Annahmen zur gesamten Fördersumme und zum Anteil der Zuschüsse. Diese Annahmen können in den einzelnen Quellen variieren.

Betrachtete Quellen:

Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios MWMS)

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung . 2014.

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

17 Wettbewerbliche Ausschreibungen

Methodik:

Die Abschätzung dieser im Rahmen des NAPE neu eingeführten Maßnahme basiert auf Annahmen zur Fördersumme und zum Einsparpotenzial der mit diesem neuen Instrument potenziell adressierten Energieanwendungen. Außerdem werden Evaluierungsergebnisse eines ähnlichen Ansatzes in der Schweiz berücksichtigt. Die Abschätzung ist jedoch mit hohen Unsicherheiten u.a. bezüglich der Akzeptanz des Programms behaftet. Dies gilt auch für die modellgestützte Abschätzung des Instruments im Projektionsbericht 2015 (MWMS). Aus der laufenden Programmevaluierung liegen erste Daten für 2016 vor, die auch für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) verwendet wurden..

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Geräte und Produkte. 2014.
 Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)
 Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017
 Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.
 BMWi: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.

19 NKI gewerbliche Klima- und Kälteanlagen.

Methodik:

Die Evaluation der NKI-Programme läuft derzeit noch. Daher gibt es bisher noch keine empirischen Daten für dieses Programm. Deshalb greifen die hier berücksichtigten Quellen auf Wirkungsabschätzungen ähnlicher Programme zurück.

Betrachtete Quellen:

Öko-Institut: Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Im Auftrag des BMUB. 2014
 Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)
 Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

20,
21

EnEV, EEWärmeG (EnEV -15%)

Methodik:

Die Einsparwirkungen werden in den betrachteten Studien anhand der Entwicklung der Wohnflächen von Wohngebäuden, der Bestandsfläche von Nichtwohngebäuden sowie Annahmen zur sanierten Fläche auf Basis von energetischen Bestands- und Zielkennwerten abgeschätzt.

Betrachtete Quellen:

- Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)
- Prognos: Aktualisierung der Endenergieeinsparung ausgewählter alternativer Maßnahmen im Kontext von Art. 24 und Anhang XIV EED, Kurzepertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014
- Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Thesenpapier zum Handlungsfeld Gebäude, 2015

22

Energieauditpflicht Art. 8 EED

Methodik:

Es handelt sich um eine neue Maßnahme, für die noch keine empirischen Erfahrungen vorliegen. Die hier verwendeten Quellen für die Wirkungsabschätzung basieren daher auf bestimmten Annahmen zur Anzahl der durchgeführten Audits und der pro Audit erzielten Einsparungen, die wiederum aus Erfahrungen mit ähnlichen Programmen abgeleitet wurden. Diese Annahmen können in den einzelnen Quellen variieren. Für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) konnte auch auf die Ergebnisse der Evaluierung im Rahmen des NAPE-Monitoring des BMWi zurückgegriffen werden.

Betrachtete Quellen:

- Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Industrie und Gewerbe. 2014.
- Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)
- Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017
- Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.
- BMWi: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.

24 Energieeinsparzähler

Methodik:

Die Abschätzung in der hier zugrunde liegenden Studie basiert auf einem angenommenen Mix von technischen Einsparmaßnahmen, die durch das Programm induziert werden. Überschneidungen mit anderen Instrumenten, die die gleichen technischen Einsparmaßnahmen adressieren, wurden berücksichtigt. Die tatsächliche Wirkung ist bei diesem neuen Instrument jedoch nur schwer zu bewerten und daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) konnte auch auf erste Ergebnisse der Evaluierung im Rahmen des NAPE-Monitoring des BMWi und der Evaluierung des Energieeffizienzfonds zurückgegriffen werden.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Internes Thesenpapier Übergeordnete Instrumente. 2014.
 Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.
 Hirzel et al.: Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. 2. Evaluierungsbericht. Stand September 2017
 BMWi: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.

25 vzbv Energie- und Stromsparcheck

Methodik:

Für die Quantifizierung wird im Wesentlichen auf die Evaluierungsergebnisse des seit 2008 laufenden Stromspar-Check zurückgegriffen (Seifried 2015).

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Öko-Institut, Ecofys, IREES: Entwicklung eines Konzepts für das Erreichen der nationalen Energieeinsparziele bis 2020 und bis 2050 auch unter Berücksichtigung relevanter EU-Vorgaben im Kontext einer ganzheitlichen Klima- und Energiepolitik („Aktionsplan Energieeffizienz“) - Endbericht zu AP 1
 Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.

27 Aktionsprogramm Energieeffizienz (APEE)

Methodik:

Das Anreizprogramm Energieeffizienz ist zunächst bis einschließlich 2018 geplant. Allerdings ist es denkbar, dass das Programm bis 2020 und darüber hinaus fortgesetzt wird. Daher werden die Ergebnisse unter der Annahme dargestellt, dass die Förderung bis 2020 fortgesetzt wird. Die Berechnung der Einsparwirkungen entspricht der Logik der NEEAP-Berichterstattung.

Betrachtete Quellen:

Prognos: Abschätzung der durch das Anreizprogramm Energieeffizienz erreichbaren End- und Primärenergieeinsparungen im Kontext von Artikel 7 EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED), Kurzexpertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016

Abbildung A-11: Methodik Sektorziel Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme

Steuerungsziel: Reduktion Endenergieverbrauch für Wärme (Zielwert 2020: -20%)

Sektorspezifische Methodik (instrumentenübergreifend)

Die Effekte der relevanten Politikinstrumente zum Steuerungsziel Reduktion des Endenergieverbrauchs für Wärme, wie sie im Daten-Tabellenblatt dargestellt sind, wurden auf Basis der Studienausswertung (AP 1) sowie ergänzenden eigenen Untersuchungen ermittelt. Die dargestellten Einsparungen beziehen sich auf das Jahr 2008, bzw., bei später startenden Instrumenten, auf das jeweils erste Jahr der Wirkung.

Das Steuerungsziel bezieht sich definitionsgemäß auf den Endenergieverbrauch für Wärme in Gebäuden inkl. der Stromanwendungen zur Wärmezeugung (z.B. Wärmepumpen) sowie in Nichtwohngebäuden auch für Beleuchtung. Für die speziell auf den Gebäudesektor gerichteten Instrumente (Beratungsprogramme, finanzielle Förderprogramme sowie EnEV/EEWärmeG) beinhalten die dargestellten Instrumentenwirkungen auch diese Stromeinsparungen. Diese werden zusätzlich auch dem Ziel "Reduktion des Stromverbrauchs" angerechnet. Bei der aggregierten Betrachtung auf der Ebene des Primärenergie- und THG-Zieles dürfen die Stromeinsparungen jedoch nur einmal angerechnet werden. Für die den Bereich Industrie und Gewerbe adressierenden Maßnahmen beinhalten die hier dem Steuerungsziel Wärme zugerechneten Einsparungen jedoch nur den Brennstoffverbrauch für Gebäude, da der auf die Gebäudewärme entfallende Stromanteil mangels Daten nicht erfasst werden konnte. Der Anteil der nicht auf Gebäudewärme entfallenden Brennstoffeinsparungen konnte jedoch basierend auf verfügbaren Evaluierungen herausgerechnet werden. Diese Einsparungen werden nur dem übergeordneten Primärenergie- und THG-Ziel zugerechnet.

Die dargestellten Instrumentenwirkungen resultieren überwiegend aus einer Fortschreibung bzw. Anpassung von ex post Beobachtungen. Die untere Abschätzung geht in der Regel von einer Weiterführung der Instrumente wie bisher aus, die obere Abschätzung entspricht in der Regel einer Entwicklung mit verschärften Anforderungen oder Aufstockungen von Fördermitteln.

Instrumentenspezifische Herangehensweise (Hinweis: die Nummerierung bezieht sich auf das Blatt "EFF-Wärme" (aggregierte Darstellung))

1,2,5,6,
20

Beratungsprogramme für Gebäude (Vor-Ort-Beratung, Stationäre Beratung, Kommunalberatung)

Methodik:

Bei Beratungsprogrammen sind grundsätzlich Überschneidungen zu investiven Fördermaßnahmen möglich. Beispielsweise kann eine Beratung dazu führen, dass eine identifizierte Maßnahme später mit Hilfe von KfW-Mitteln umgesetzt wird. Diese Überschneidungen wurden in den betrachteten Studien bestmöglich herausgerechnet, eine vollständig isolierte Betrachtung der Förderung von Beratungen und

Maßnahmen ist jedoch schwierig. Um die Effekte der Beratung zu ermitteln werden in der Regel mittlere Einspar-Wirkungen pro Beratung ermittelt und basierend auf einer geschätzten Anzahl jährlicher Beratungen hochgerechnet.

Betrachtete Quellen:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Thesenpapier zum Handlungsfeld Gebäude, 2015

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Evaluation der Energiesparberatung vor Ort, 2014

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

3 Energieberatung Mittelstand/KMU

Methodik:

Für die Ermittlung der ex-ante Wirkung konnte hier auf vorliegende Evaluationen des Programms Energieberatung Mittelstand/KMU selbst sowie des Vorgängerprogramms Sonderfonds Energieeffizienz zurückgegriffen werden. Die Abschätzung der Einsparwirkung basiert auf einer angenommen Anzahl an Beratungen, die in den betrachteten Quellen unterschiedlich sein kann. Dies ist auch ein Grund für die Differenzen in der Einsparwirkung.

Betrachtete Quellen:

IREES/Fraunhofer ISI: Evaluation des Förderprogramms "Energieberatung im Mittelstand" - Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Karlsruhe, 3. Dezember 2014.

Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios MWMS)

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

4 Energieeffizienznetzwerke Unternehmen

Methodik:

Zwischen 2009 und 2012 wurden im Rahmen des von der Nationalen Klimainitiative (NKI) des BMU geförderten „30 Pilot-Netzwerke“-Projektes 30 Lernende-Energieeffizienz-Netzwerke (Durchführung auf Basis des LEEN-Managementsystems) in Deutschland etabliert und bis einschließlich 2013 einem Monitoring und einer begleitenden Evaluation unterzogen (www.30pilot-netzwerke.de). Bei der Abschätzung der Wirkung einer Ausweitung der Netzwerke konnte auf diese bereits bestehenden Erfahrungen zurückgegriffen werden. Die in den einzelnen Quellen angegebenen Wirkungen unterscheiden sich insbesondere aufgrund einer unterschiedlichen Anzahl der dahinter stehenden

Netzwerke (30, 100, 500). Im 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) konnte erstmals auch auf erste Ergebnisse des Monitoring der 500 Effizienznetzwerke der dena zurückgegriffen werden.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Industrie und Gewerbe, 2015.

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b).

7

Kommunale Netzwerke

Methodik:

Hier handelt es sich um eine neu eingeführte Maßnahme, für die noch keine Erfahrungen aus Evaluationen vorliegen. Die für den NAPE durchgeführte ex-ante Abschätzung der möglichen Wirkung basiert auf Annahmen zur Anzahl der etablierten Netzwerke und der pro Netzwerk erzielbarer Einsparungen. Seit Kurzem liegen auch erste Ergebnisse aus der Evaluierung des Energieeffizienzfonds (Hirzel et al. 2017) vor, die auch für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) verwendet wurden.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Öko-Institut, Ecofys, IREES: Entwicklung eines Konzepts für das Erreichen der nationalen Energieeinsparziele bis 2020 und bis 2050 auch unter Berücksichtigung relevanter EU-Vorgaben im Kontext einer ganzheitlichen Klima- und Energiepolitik („Aktionsplan Energieeffizienz“) - Endbericht zu AP 1

Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b).

Hirzel et al.: Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. 2. Evaluierungsbericht. Stand September 2017

8

Öko-Design

Methodik:

Die EU-Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG setzt einen Rahmen für die Festsetzung von Mindeststandards von energieverbrauchsrelevanten Geräten. Die Mindeststandards werden in Durchführungsmaßnahmen für einzelne Produkte festgesetzt, wobei sich die Mindeststandards an den Least Life-Cycle Costs (LLCC) orientieren. Die Wirkungsabschätzung erfolgte unter Verwendung eines Bottom-up Simulationsmodells. Die großen Unterschiede der Wirkung in den hier verwendeten Quellen sind im wesentlichen auf eine unterschiedliche

Definition der modellierten Szenarien. Die sehr hohen Einsparungen im MWMS des Projektionsbericht 2013 basieren auf einer sehr ambitionierten Ausgestaltung des Instruments, die für alle Produktgruppen den Einsatz der besten verfügbaren Technologie (BVT) annimmt.

Betrachtete Quellen:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Geräte und Produkte. 2014.

Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios MWMS)

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

9, 10,
12, 19

Finanzielle Förderprogramme für Gebäude (KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren, KfW Kommunalprogramme, KfW Nichtwohngebäude, MAP, NAPE Aufstockung KfW Programme)

Methodik:

Die Evaluation errechnet basierend auf den geförderten Maßnahmen und einer angenommenen Nutzung entsprechend der DIN V 18599 jährliche Endenergieeinsparungen. Dabei werden Lebensdauern der Maßnahmen berücksichtigt und auf einzelne Jahre heruntergerechnet. Die Fortschreibungen orientieren sich an diesen Werten, basierend auf einer angenommenen Entwicklung der Fördergegenstände.

Betrachtete Quellen:

IWU, Fraunhofer IFAM: Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" 2014

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Prognos: Aktualisierung der Endenergieeinsparung ausgewählter alternativer Maßnahmen im Kontext von Art. 24 und Anhang XIV EED, Kurzexpertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016

13

KfW-Effizienzprogramm

Methodik:

Für die Ermittlung der ex-ante Wirkung konnte hier auf eine vorliegende Evaluationen zurückgegriffen werden. Die Kennwerte der Fördereffekte des Jahrgangs 2012 können daher als Ausgangsbasis verwendet werden. Der Einspareffekt wird über dann über ein angenommenes Darlehensvolumen hochgerechnet. Unterschiede in der Einsparwirkung können sich insbesondere durch unterschiedliche Annahmen zum Darlehensvolumen ergeben.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Industrie und Gewerbe. 2014.
 Prognos: Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012 - Endbericht. Im Auftrag der KfW. 2014.
 Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)
 Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms.1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.
 BMWi: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.

15, 16

EnEV, EEWärmeG (EnEV -15%)

Methodik:

Die Einsparwirkungen werden in den betrachteten Studien anhand der Entwicklung der Wohnflächen von Wohngebäuden, der Bestandsfläche von Nichtwohngebäuden sowie Annahmen zur sanierten Fläche auf Basis von energetischen Bestands- und Zielkennwerten abgeschätzt.

Betrachtete Quellen:

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)
 Prognos: Aktualisierung der Endenergieeinsparung ausgewählter alternativer Maßnahmen im Kontext von Art. 24 und Anhang XIV EED, Kurzexpertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): 3. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland, 2014
 Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Thesenpapier zum Handlungsfeld Gebäude, 2015

16

BAFA Querschnittstechnologien

Methodik:

Eine Evaluierung des BAFA-Querschnittstechnologienprogramms (in seiner Ausgestaltung bis 2015) wurde von der dena durchgeführt. Der Evaluierungsbericht wird derzeit (Oktober 2016) im BMWi noch geprüft und ist noch nicht offiziell veröffentlicht. Für die hier durchgeführte Wirkungsabschätzungen konnten die Evaluierungsergebnisse daher noch nicht berücksichtigt werden. Die Berechnung der Programmwirkung basiert daher auf Annahmen zur gesamten Fördersumme und zum Anteil der Zuschüsse. Diese Annahmen können in den einzelnen Quellen variieren.

Betrachtete Quellen:

Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS und des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios MWMS)

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung . 2014.

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

21 Aktionsprogramm Energieeffizienz (APEE)

Methodik:

Das Anreizprogramm Energieeffizienz ist zunächst bis einschließlich 2018 geplant. Allerdings ist es denkbar, dass das Programm bis 2020 und darüber hinaus fortgesetzt wird. Daher werden die Ergebnisse unter der Annahme dargestellt, dass die Förderung bis 2020 fortgesetzt wird. Die Berechnung der Einsparwirkungen entspricht der Logik der NEEAP-Berichterstattung.

Betrachtete Quellen:

Prognos: Abschätzung der durch das Anreizprogramm Energieeffizienz erreichbaren End- und Primärenergieeinsparungen im Kontext von Artikel 7 EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED), Kurzexpertise zu BfEE 03/2015 Grundsatzfragen der Energieeffizienz, 2016

22 Energieauditpflicht Art. 8 EED

Methodik:

Es handelt sich um eine neue Maßnahme, für die noch keine empirischen Erfahrungen vorliegen. Die hier verwendeten Quellen für die Wirkungsabschätzung basieren daher auf bestimmten Annahmen zur Anzahl der durchgeführten Audits und der pro Audit erzielten Einsparungen, die wiederum aus Erfahrungen mit ähnlichen Programmen abgeleitet wurden. Diese Annahmen können in den einzelnen Quellen variieren. Für den 2. Quantifizierungsbericht zum APK 2020 (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017b) konnte auch auf die Ergebnisse der Evaluierung im Rahmen des NAPE-Monitoring des BMWi zurückgegriffen werden.

Betrachtete Quellen:

Fraunhofer ISI, Fraunhofer IFAM, ifeu, Prognos: Wissenschaftliche Unterstützung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), Zusammenfassung und internes Thesenpapier zum Handlungsfeld Industrie und Gewerbe. 2014.

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios MMS), 2017

Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. und 2. Quantifizierungsbericht (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2017a/b). Im Auftrag des BMUB.

BMWi: NAPE Monitoring 2017. Stand Juli 2017.

27 | **Energieeffizienzlabel für bestehende Heizgeräte***Methodik:*

Für die Abschätzung der Wirkung der Einführung eines Energieeffizienzlabels für bestehende Heizsysteme wird bei der Ermittlung der Austauschrate, welche über eine Weibullverteilung berechnet wird, eine im Durchschnitt kürzere Lebensdauer der Heizsysteme angesetzt. In den Ergebnissen zeigt sich der daraus resultierende Vorzieheffekt, womit die zusätzliche Wirkung über die Zeit abnimmt.

Betrachtete Quellen:

Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013/EU, 2015 (ergänzt durch Ergebnisse des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios im Dezember 2015)

Abbildung A-12: Methodik Sektorziel Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr

Steuerungsziel: Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr (Zielwert 2020: -10%)

Sektorspezifische Methodik (instrumentenübergreifend)

Ähnlich wie im Bereich der Erneuerbaren Energien im Verkehr hängen die evaluierten Einsparpotenziale bei den betrachteten Studien stark von den Annahmen zur Entwicklung des Markteintritts der alternativen Kraftstoffe ab. Darüberhinaus bestand bei vielen Instrumenten die Schwierigkeit darin, dass diese in den betrachteten Studien unterschiedlich in den Modellrechnungen implementiert worden sind oder dass die Instrumente teilweise mit weiteren Maßnahmen kombiniert worden sind, weswegen die Potenziale höher als bei anderen Studien ausfallen.

Instrumentenspezifische Herangehensweise

1 Ausdehnung der Lkw-Maut auf 7,5 t und auf Bundesstraßen

Methodik:

Die Weiterentwicklung der 2005 auf deutschen Bundesautobahnen (BAB) eingeführten Maut für Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr umfasst zum einen eine Erweiterung der Maut um die Kraftfahrzeuge zwischen 7,5 und 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht und zum anderen eine Ausdehnung der Maut auf alle Bundesstraßen und das nachgeordnete Straßennetz. Die Unterschiede bei den Ergebnissen beruhen hauptsächlich auf der Verwendung unterschiedlicher Modelle und offensichtlich unterschiedlicher Modellmechanismen. Während im Thesenpapier zum Handlungsfeld 5 eher eine Verschiebungswirkung auf kleinere Lkw stattfindet, bewirkt die Absenkung der Maut bei [1.1] eher eine Verschiebung hin zur Bahn, was bei der Größenordnung der Lkw-Klassen fraglich ist.

Betrachtete Quellen:

[1.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 -Absenkung Lkw-Maut auf 7,5 t und Ausdehnung auf alle Bundesstraßen

[1.2] Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) - Thesenpapier zum Handlungsfeld 5 Transport und Mobilität - Ausweitung der Lkw-Maut: für Fahrzeuge ab 7,5 t zGG; Ausdehnung auf alle Bundes- und Landesstraßen

[1.3] Projektionsbericht 2017 - MWMS: Ausweitung der Lkw-Maut: für Fahrzeuge ab 7,5 t zGG; Ausdehnung auf 1100 km Bundes- und Landesstraßen

[1.4] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Absenkung Lkw-Maut auf 7,5 t und Ausdehnung auf alle Bundesstraßen, Schaffung einer eigenen Mautkategorie für Euro VI-Fahrzeuge

2 Spreizung der Lkw-Maut-Sätze

Methodik:

Die Spannbreiten bei den Ergebnissen sind zum einen durch die unterschiedlichen Verläufe der Referenzszenarien und zum anderen durch die unterschiedlichen Modellannahmen zu erklären.

Betrachtete Quellen:

[2.1] Projektionsbericht 2015 - MMS: Anwendung der Maut anhand Wegekosten-Richtlinie (2011/76/EU) festgeschriebene Maximalabgabesatz für die Luftverschmutzung angesetzt und maximale Spreizung der Mautsätze (100 %)

[2.2] Projektionsbericht 2013 - MMS: Anwendung der Maut anhand Wegekosten-Richtlinie (2011/76/EU) festgeschriebene Maximalabgabesatz für die Luftverschmutzung angesetzt und maximale Spreizung der Mautsätze (100 %)

[2.3] Politiksznarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 - Lkw-Maut für Lkw über 12 t; seit 2009 stärkere Spreizung der Mautsätze der Lkw-Maut; ab 2015 Lkw-Maut Anpassung auf 37.4 ct/km gemäß erweiterter EU Wegekostenrichtlinie

[2.4] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Umstellung der LKW-Maut auf Energieeffizienzklassen; Da noch nicht umgesetzt ist der Effekt gleich Null.

3 Förderung des Rad- und Fußverkehrs

Methodik:

Die betrachteten Studien unterscheiden sich teilweise deutlich in der Annahme des Umfangs des Instrument. Dazu besteht bei derartigen Fördermaßnahmen immer die Unterschiede in der Quantifizierung der Wirkungen auf Reisezeit und auf die Reiskosten sowie auf die Akzeptanz des Radfahrens in der Gesellschaft. Üblicherweise liefern diese 3 Komponenten in Kombination die Inputs für die Verkehrsmittelwahl. Daher unterscheiden sich grundsätzlich Studien mit unterschiedlichen Modellen auch in der Wirkung und zeigen teilweise eine große Bandbreite bei der Wirkungsabschätzung.

Betrachtete Quellen:

[3.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014)

[3.2] Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr (2012) - Bündelung von Maßnahmen zur Verlagerung auf den Fuß- und Radverkehr, z.B. preisliche Maßnahmen (Parkraumgebühren, etc.), Ausbau der Radwege, Geschwindigkeitsbegrenzung (Tempo 30) und weiche Maßnahmen (Mobilitätsmanagement, Informationssysteme, etc.)

[3.3] CO₂ Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland (2010) - Bündelung von Infrastrukturmaßnahmen im Bereich Radwege, der Einbeziehung in das Mobilitätsmanagement und der Etablierung einer neuen Kultur des Radfahrens und Zufußgehens

[3.4] Projektionsbericht 2015 - MMS: Zuweisung vom Bundesmitteln für den Ausbau von Radwegen entlang von Bundesstraßen und Bundeswasserstraßen; Ohne Angabe der Fördersummen

[3.5] Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2016) - Annahme von Verlagerungswirkungen auch auf den Distanzbändern 10-15 km und 15-20 km

[3.6] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Ausbau von Radwegen an Bundesstraßen, gefördert mit 9 Mio Euro jährlich durch den Bund bis 2020; Effekte sehr gering

4 Kraftstoffsparendes Fahren (Pkw und Lkw)

Methodik:

Die Evaluierung der Maßnahme hängt stark von der Annahme der Akzeptanz dieser Maßnahme bei den Fahrern ab, weswegen hier ein großer Unterschied der Wirkungen zwischen den beiden betrachteten Studien erkennbar ist. Da die Studie 4.1 nur Abschätzungen für das Jahr 2020 liefert und die Werte für 2030 aus der wohl zu optimistischen Studie stammen, wird der Erwartungswert für 2030 an die Erkenntnisse aus Studie 4.1 angepasst.

Betrachtete Quellen:

[4.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 - Moderate Annahme zu Kraftstoffsparendem Fahren

[4.2] CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland, UBA 2010 - Änderung des Verhaltens hin zu kraftstoffsparendem Fahren bei 50% der Fahrzeughalter, für Pkw und SNF, Annahme von sehr hohen Einsparpotenzialen

5 Stärkung des Schienengüterverkehrs

Methodik:

Die betrachteten Studien unterscheiden sich teilweise deutlich in der Annahme des Umfangs des Instrument, sei es die Höhe der Förderung oder deren Wirkung. Dazu besteht bei derartigen Förderinstrumenten immer die Unterschiede in der Quantifizierung der Wirkungen auf Reisezeit und auf die Reiskosten. Üblicherweise liefern diese beiden Komponenten die Inputs für die Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr. Daher unterscheiden sich grundsätzlich Studien mit unterschiedlichen Modellen auch in der Wirkung und zeigen teilweise eine deutliche Bandbreite bei der Wirkungsabschätzung.

Betrachtete Quellen:

[5.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014) - Annahme: zusätzliche Investitionen i.H.v. 1 Mrd. Euro zwischen 2016 und 2018

[5.2] Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr (2012) - Bündelung von Maßnahmen zur Verlagerung auf den Schienengüterverkehr, z.B. preisliche Maßnahmen (Lkw-Maut inkl. externe Kosten),

Beseitigung von Engpässen im Netz, längere Züge, ERTMS und weiche Maßnahmen (Revision BVWP, labelling nachhaltiger Logistik)
[5.3] CO₂ Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland (2010) - Bündelung von Infrastrukturmaßnahmen: Ausbau der Haupttrassen, Einführung von ERTMS, Förderung des kombinierten Verkehrs, Förderung der Interoperabilität

[5.4] Projektionsbericht 2017 - MMS: Sofortprogramm Seehafenhinterlandverkehr II

[5.5] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017)

6 Stärkung des Öffentlichen Personenverkehrs

Methodik:

Auch hier besteht ein wesentlicher Unterschied in der Annahme der Ausgestaltung des Instruments bzw. der Höhe der Förderung und die Art der Förderung in den betrachteten Studien woraus sich die Spannweite der Ergebnisse erklären lässt. Da der ÖV jedoch stark von den Kapazitäten in den Spitzenlastzeiten morgens und abends abhängt, wird eine eher konservative Erwartung an den Zielbeitrag angenommen. Die Maßnahmen zur klimafreundlichen Gestaltung des Personenverkehrs sind ergänzt durch die Fortsetzung der Unterstützung von Verkehrsbetrieben bei der Beschaffung von Bussen mit Hybridantrieb.

Betrachtete Quellen:

[6.1] Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2016) - Annahme: Steigerung der Regionalisierungsmittel um 1,8 % p.a., der Bundesmittel für den Personenfernverkehr, Förderung über das GVFG und Förderung alternativer Antriebe im ÖV

[6.2] Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr (2012) - Bündelung von Maßnahmen zur Verlagerung auf den Schienengüterverkehr, z.B. preisliche Maßnahmen (Lkw-Maut inkl. externe Kosten), Beseitigung von Engpässen im Netz, längere Züge, ERTMS und weiche Maßnahmen (Revision BVWP, labelling nachhaltiger Logistik)

[6.3] CO₂ Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland (2010) - Verbesserung der ÖPNV-Infrastruktur, Vorranggestaltung des ÖPNV gegenüber dem MIV und effiziente Finanzierung des ÖPNV; Ausbau des Fernverkehrsnetzes, Verbesserung des Fahrplanangebotes

[6.4] Politikszenerarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 - Steigerung der Attraktivität des ÖPNV durch: transparentere/integrierte Preissysteme, integralen Taktfahrplan, verkürzte Fahrtzeiten, verbesserte Infrastruktur, Fahrradmitnahme und Fahrradleihstationen

[6.5] Projektionsbericht 2017 - MMS: Erhöhung der Regionalisierungsmittel des Bundes auf 8,2 Mrd. € in 2016 und jährliche Steigerung danach um 1,8% bis einschließlich 2031; Unterstützung der bundesweiten Einführung des e-Tickets mit 16 Mio € zwischen 2016 und 2018

[6.6] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017)

7 Förderung für energieeffiziente Lkw und Hybrid-Lkw

Methodik:

Die betrachteten Studien unterscheiden sich grundlegend in den Annahmen. Während bei Studie [7.1] die Wirkung hauptsächlich durch eine Änderung des Produktportfolios bei den Herstellern von Lkws entsteht, wird diese bei Studie [7.2] durch eine Bewertung der Reaktion der Angebotsseite begründet. Studie [7.2] berücksichtigt darüber hinaus die steigenden Anschaffungskosten, welche zu einer pessimistischeren Annahme zur Diffusion dieser Lkw Kategorien in die Flotten ausgeht und damit in einem geringeren Reduktionspotenzial mündet. Hier wird als Studienschätzwert ein mittlerer Wert angenommen.

Betrachtete Quellen:

- [7.1] Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2016) - Annahme: Vorzeitige Markteinführung der Hersteller durch Förderung; Hybridierungs-Effekt zwischen 5% und 7%
- [7.2] Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) - Thesenpapier zum Handlungsfeld 5 Transport und Mobilität - Einsatz von technischen Lösungen zur Verbesserung der Energieeffizienz bei SNF, wie z.B. Leichtlaufreifen, verbesserte Aerodynamik, etc.
- [7.3] Projektionsbericht 2017 - MWMS - Einführung eines Förderprogramms in 2017 mit Fördervolumen i.H.v. 10 Mio Euro und einer Laufzeit zwischen 3-4 Jahre; Förderungswürdig sind NFZ ab 7,5 t zGG; Prüfung einer zeitgleichen Spreizung der Mautsätze nach Energieverbrauch
- [7.4] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Förderprogramm zur Markteinführung von energieeffizienten und/oder CO₂-armen SNF soll in 2017 mit einem Fördervolumen von 10 Mio. Euro mit einer voraussichtlichen Laufzeit von 3-4 Jahren starten. Die Förderung umfasst alle mautpflichtigen Fahrzeuge (ab 7,5 t zGG) und soll technologieoffen gestaltet werden.

8 Verlängerung des Steuerprivilegs für Erdgasfahrzeuge über 2018 hinaus

Methodik:

Die beiden betrachteten Studien widersprechen sich in der Annahme, dass CNG Fahrzeuge geringere Emissionen als vergleichbare konventionell angetriebene Diesel oder Benzin-Pkw haben. Die Hersteller haben jedoch auch bei CNG Antrieben ähnliche Effizienzgewinne umsetzen können wie bei den konventionellen Antrieben. Daher wird davon ausgegangen, dass zumindest ein kleiner Vorteil gegenüber konventionellen Pkw besteht.

Betrachtete Quellen:

- [8.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014)
- [8.2] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Die Steuerbegünstigung für beide gasförmige Kraftstoffe wurde durch das Zweite Gesetz zur Änderung des Energiesteuer- und Stromsteuergesetzes über das Jahr 2018 hinaus verlängert. Die Steuerbegünstigung für Flüssiggas läuft 2022, die für Erdgas 2026 aus. Eine Abschmelzung erfolgt bei Flüssiggas über die Jahre 2019 bis 2022 um jährlich 20%, bei Erdgas über die Jahre

2024 bis 2026 um jährlich 25%. Studie geht von keinen Vorteilen gegenüber konventionellen Pkw mit Diesel-Antrieb aus, daher Effekt gleich Null.

9 **Novelle Bundesreisekostengesetz**

Methodik:

Zu diesem Instrument wurde nur eine Studie betrachtet, weswegen die zu erwartende Wirkung der in der Studie evaluierten Wirkung entspricht.

Betrachtete Quellen:

[9.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014) - Annahme: Bis zu 15% Verlagerung vom Pkw zur Schiene für alle im ÖD Beschäftigten

[9.2] Projektionsbericht 2015 - MWMS - Setzung von Anreizen zu klimafreundlicher Mobilität in der Bundesverwaltung

10 **Unterstützung von Klimaschutzmaßnahmen im internationalen Seeverkehr**

Methodik:

Studie [10.1] hat wesentliche Annahmen aus Studie [10.2] übernommen, weswegen sich die Ergebnisse der Modellrechnungen aus beiden Studien decken.

Betrachtete Quellen:

[10.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014) - Übernahme aus technischen und operativen Änderungen zur Steigerung der Effizienz aus dem Projektionsbericht 2013

[10.2] Projektionsbericht 2013 - Annahme der einer 37% Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs in der Seeschifffahrt bis 2050

11 **Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe**

Methodik:

Während Studie [11.1] von einer pauschalen Reduktion der Transportweiten im Güterverkehr durch das Instrument ausgeht, wird bei [11.2] das Instrument mit zahlreichen anderen kleinen Maßnahmen gebündelt, woraus sich eine größere Wirkung ergibt und somit die große Spannbreite der Ergebnisse entsteht. Der zu erwartende Effekt ist aber aus Studie [11.4] entnommen, da die Maßnahme noch nicht umgesetzt ist und vermutlich erst nach 2020 Wirkung zeigt.

Betrachtete Quellen:

[11.1] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen - Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (2014) - Annahme der Reduktion der Transportweiten um 0,5% bis max. 2%

[11.2] CO₂ Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland (2010) - Internalisierung der Transportkosten, Wirtschaftsförderung mit dem Ziel der Unterstützung verkehrsarmer Handelsverflechtungen, Förderung regionaler Märkte, etc.

[11.3] Projektionsbericht 2015 - MWMS - Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe und Lastenräder

[11.4] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017) - Maßnahme wirkt sich erst nach 2020 aus, daher ist der Effekt hier gleich Null.

12 Verschärfung der CO₂-Strategie für Pkw

Methodik:

Im Gegensatz zum Projektionsbericht 2015 gehen die beiden früheren, betrachteten Studien von einer stärkeren Verschärfung der CO₂ Grenzwerte für Neuwagen bis 2030 aus. Der Projektionsbericht geht von einem Grenzwert von 87 Gramm CO₂ pro km aus, während die Politiksszenarien VI von 70 Gramm CO₂ pro km als Grenzwert bis 2030 ausgehen. Daraus ergeben sich die resultierenden höheren Beiträge zum Reduktionsziel für die beiden älteren Studien. Angesichts der steigenden Diskrepanz zwischen Realverbrauch und NEFZ Verbrauch, wird bei den Erwartungen der pessimistischer Wert aus dem Projektsbericht 2015 als realistischer abgeschätzt.

Betrachtete Quellen:

[12.1] Projektionsbericht 2015 - MMS Szenario: Annahme der CO₂-Emissions-Entwicklung der Neuwagenflotten bei Pkw bis 2021 gemäß der EU Verordnung (95 g CO₂/km) und jährliche Steigerung der Effizienz um 0.8% zwischen 2021 und 2030, zusätzlich noch mitberechnet: Wirkung der Umstellung der Kfz-Steuer

[12.2] Projektionsbericht 2013 - MwMS Szenario: Annahme, dass der Zielwert bis 2030 im Rahmen der Regulierung über die autonome Entwicklung der spezifischen Emissionen hinaus verringert wird

[12.3] Politiksszenarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 - Energiewende-Szenario (EWS): Verschärfung der Regulierung hin zu einem Zielwert der CO₂-Neuwagen-Emissionen in 2030 von 70 g CO₂/km

[12.4] Projektionsbericht 2017 - MWMS - Grenzwerte von 78 g CO₂/km nach NEFZ bis 2025 und 60 g CO₂/km nach NEFZ bis 2030

13 Verschärfung der CO₂-Strategie für leichte Nutzfahrzeuge (LNF)

Methodik:

Ähnlich wie bei der Verschärfung der CO₂ Strategie für Pkw ergibt sich auch aus unterschiedlichen Annahmen zu den Grenzwerten für LNF bis 2030 die Spannweite der Beiträge zum Reduktionsziel im Sektor Verkehr.

Betrachtete Quellen:

[13.1] Projektionsbericht 2015 - MMS Szenario: Annahme der CO₂-Emissions-Entwicklung der Neuwagenflotten bei LNF bis 2021 gemäß der EU Verordnung (147g CO₂/km) und jährliche Steigerung der Effizienz um 0.8% zwischen 2020 und 2030, zusätzlich noch mitberechnet: Wirkung der Umstellung der Kfz-Steuer

[13.2] Projektionsbericht 2013 - MwMS Szenario: Annahme, dass der Zielwert bis 2030 im Rahmen der Regulierung über die autonome Entwicklung der spezifischen Emissionen hinaus verringert wird

[13.3] Politiksszenarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 - Energiewende-Szenario (EWS): Verschärfung der Regulierung hin zu einem Zielwert der CO₂-Neuwagen-Emissionen bei LNF in 2030 von 109 g CO₂/km

[13.4] Projektionsbericht 2017 - MWMS - Effizienzsteigerungen für LNF und SNF (0,3-0,4% Verbesserung pro Tag) --> Überschneidet sich mit Instrument 14

14 Einführung einer CO2 Emissionsregulierung für schwere Nutzfahrzeuge (SNF)*Methodik:*

Die beiden betrachteten Studien gehen offensichtlich von ähnlichen Grenzwerten bis 2030 für SNF aus, weswegen die Unterschiede der Wirkung bei diesem Instrument nicht so groß sind.

Betrachtete Quellen:

[14.1] Projektionsbericht 2013 - MwMS Szenario: Annahme, dass die festzulegenden CO2 Zielwerte sich bis 2020 und 2030 im Rahmen der vorgelegten Studien bewegen

[14.2] Politikszenerarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 - Energiewende-Szenario (EWS): Reduktion der Flottenemissionen in 2020 um -15% und bis 2030 um -35% gemessen an 2010

15 Luftverkehrssteuer und ETS im Flugverkehr ohne Deckelung*Methodik:*

Zu diesem Instrument wurde nur eine Studie betrachtet, weswegen die zu erwartende Wirkung der in der Studie evaluierten Wirkung entspricht.

Betrachtete Quellen:

[15.1] Projektionsbericht 2013 - MwMS Szenario: Annahme, der ab 2013 geltenden Steuern pro Distanzklasse

16 Änderung der Besteuerung von Dienst- und Firmenwagen*Methodik:*

Zu diesem Instrument wurde nur eine Studie betrachtet, weswegen die zu erwartende Wirkung der in der Studie evaluierten Wirkung entspricht.

Betrachtete Quellen:

[16.1] Projektionsbericht 2013 - MwMS Szenario

17 Förderung der Elektromobilität*Methodik:*

Siehe Instrument 1 aus EE Verkehr

*Betrachtete Quellen:***18 Einführung der Lkw-Maut***Methodik:*

Zu diesem Instrument wurden eigene Berechnungen angestellt auf Basis des ASTRA Modells. Das Instrument umfasst die

Betrachtete Quellen:

[18.1] Eigene Berechnung

19 CO2 Regulierung für Pkw

Methodik:

Zu diesem Instrument wurde die Wirkung anhand der Daten aus dem CO2 Monitoring der EEA aus 2015 und dem ICCT Bericht aus 2016 zur Diskrepanz der NEFZ/WLTP Messwerte für Pkw/LNF und der realen Messwerte mit Zulassungszahlen und Laufleistungen aus KBA berechnet.

Betrachtete Quellen:

[19.1] Eigene Berechnungen

20 CO2 Regulierung für LNF

Methodik:

Zu diesem Instrument wurde die Wirkung anhand der Daten aus dem CO2 Monitoring der EEA aus 2015 und dem ICCT Bericht aus 2016 zur Diskrepanz der NEFZ/WLTP Messwerte für Pkw/LNF und der realen Messwerte mit Zulassungszahlen und Laufleistungen aus KBA berechnet.

Betrachtete Quellen:

[20.1] Eigene Berechnungen

21 Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements

Methodik:

Ziel des Beschlusses zur Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements ist, Pendel- und Arbeitswege erheblich nachhaltiger zu gestalten. Die Erstellung entsprechender Konzepte soll daher über eine Förderrichtlinie von BMUB und BMVI unterstützt werden. Geplante Fördersumme: 8 Mio Euro

Betrachtete Quellen:

[22.1] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms - 2. Quantifizierungsbericht (2017)

Anhang 3: Programm- und Administrationskosten

Methodik

Administrationskosten können instrumentenabhängig oder maßnahmenabhängig sein. Administrationskosten des Staates entstehen unter anderem durch die Einrichtung und den Betrieb des Systems, das zur Umsetzung des Instruments notwendig ist. Durch die Einrichtung und den Unterhalt der Umsetzung des Instruments bei den adressierten Akteuren entstehen zugleich Administrationskosten auf Seiten dieser Akteure. Bei den Investoren bzw. den ausführenden Unternehmen existieren zudem Administrationskosten durch die Informationsbeschaffung und damit zusammenhängende Personal- und Beratungskosten. Administrationskosten für die Bewertung der Umsetzung sind hingegen maßnahmenabhängig und entstehen beim Staat oder beim adressierten Akteur. Die Quantifizierung von Administrationskosten erfolgt meist auf der Grundlage von Erfahrungen aus bereits umgesetzten Instrumenten [ISI, Öko-Institut, Ecofys 2012].

Programmkosten sind die Kosten der Durchführung der Programme und teilweise auch auf Ebene von Einzelinstrumenten verfügbar. Es wird unterschieden zwischen Programmkosten, die durch die Bereitstellung der Fördergelder entstehen (Fördermittel), und Programmkosten, die für die Umsetzung der Programme notwendig sind [ISI, Öko-Institut, Ecofys 2012]. Für Programmkosten und Administrationskosten in Summe wird oft auch der sogenannte Förderhebel als Verhältnis von ausgelösten Investitionen zu eingesetzten Mitteln bestimmt.

Programmkosten und Administrationskosten fallen bei bestimmten Instrumentenkategorien nur mit Einschränkungen an. Beispielsweise fallen bei ordnungsrechtlichen Instrumenten keine Programmkosten und keine Kosten für die Überprüfung der Einsparung an. Die Methodik der Bestimmung des Förderhebels ist daher insbesondere geeignet zur Bewertung einer bestimmten Gattung von Instrumenten (vor allem Förder- und Beratungsinstrumenten). Auf anders geartete Instrumente, z.B. solche mit einer anderen Form der Kostenwälzung (u.a. das EEG) oder ordnungsrechtliche Instrumente, lässt sich das Konzept des Förderhebels jedoch nicht adäquat übertragen. Damit eignet sich die Quantifizierung dieser Kostenbestandteile nur eingeschränkt, um eine aggregierte Bewertung auf der Ebene der Steuerungsziele vorzunehmen.

Zudem werden Evaluierungsstudien erst nach und nach um Wirtschaftlichkeitskriterien erweitert. Für einige Instrumente und Programme liegen nur qualitativen Aussagen zu Programm- und

Administrationskosten vor. Die im Rahmen dieser Evaluationen verwendeten Kosten beruhen bisher oft nicht auf einer konsistenten Methodik und sind damit nur beschränkt vergleichbar. Für eine Reihe von Instrumenten liegen aus diesen Gründen keine Daten zu Programm- und Administrationskosten vor. Daher werden für die Programm- und Administrationskosten im Folgenden die dazu verfügbaren Informationen nach aktuellem Stand des Wissens zusammengetragen, nicht jedoch als Kriterium für die jeweiligen übergeordneten Steuerungsziele herangezogen. Der vorliegende Zwischenbericht soll den Stand der Arbeiten auf Basis der aktuell vorliegenden Informationen zeigen.

Für Instrumente und Programme, die hinsichtlich ihrer Programm- und Administrationskosten evaluiert wurden, liegen meist Zahlen zu Fördermitteln und ausgelösten Investitionen vor. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Zahlen teilweise für einzelne Bezugsjahre ausgewiesen sind, teilweise aber auch einen Zeitraum der Wirkung der Instrumente über mehrere Jahre betreffen.

Alle ausgewiesenen Kostendaten in diesem Kapitel werden als reale Euro mit der Preisbasis 2014 angegeben.

Stromsektor

Zentrales Instrument für die Förderung erneuerbarer Energien im Stromsektor ist das EEG. Im Rahmen des EEG erfolgt die Förderung auf Basis einer Umlage auf den Stromverbrauch. Die Programmkosten im Sinne der eingesetzten Fördermittel belief sich im Jahr 2015 auf ca. 27 Mrd. Euro [BMW 2016e]. Hinsichtlich der Verwaltungskosten veröffentlichen die Übertragungsnetzbetreiber monatliche Daten gemäß § 6 und 8 AusglMechAV für eine transparente Abbildung der Ausgabenseite. Die gesamten Kosten für IT-Infrastruktur, Personal und Dienstleistungen beliefen sich demnach im Jahr 2015 auf knapp 15 Mio. Euro [ÜNB 2016].

Im Bereich der Stromeffizienz existieren eine Reihe von Instrumenten, die sowohl die Senkung des Endenergieverbrauchs für Strom, als auch die Senkung des Endenergieverbrauchs für Wärme adressieren. Eine Trennung der Kosten der stromseitigen Wirkungen von den der wärmeseitigen Wirkungen existiert in den vorliegenden Studien jedoch nicht. Daher werden die Programm- und Administrationskosten für die Instrumente, die beide Sektoren adressieren, nur insgesamt spezifiziert.

Insbesondere für bestimmte Beratungsprogramme und Förderprogramme existiert eine relativ gute Abdeckung von Evaluationen in Bezug auf die Programm- und Administrationskosten der Instrumente. Dies gilt z.B. für das Programm Energieberatung im

Mittelstand und ebenso für Instrumente der Nationalen Klimaschutzinitiative NKI (z.B. gewerbliche Klima- und Kälteanlagen). Auch für das Marktanreizprogramm (MAP) sind Evaluationen entsprechender Indikatoren vorhanden.

Zahlen zu Verwaltungs- bzw. Administrationskosten werden deutlich weniger häufig ausgewiesen (vgl. Tabelle 24). Vereinzelt existieren Daten für einzelne Beratungsprogramme (z.B. Energieberatung im Mittelstand). Dabei wird keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Kostenkomponenten von Administrationskosten gemacht.

Tabelle A3-1: Administrations- und Programmkosten für Instrumente im Sektor Strom

Sektor Strom Instrumente	Bezugsjahr	Administrationskosten in Mio. € ₂₀₁₄ / a	Programmkosten in Mio. € ₂₀₁₄ / a	Ausgelöste Investitionen in Mio. € ₂₀₁₄ / a	Quelle
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	2015	ca. 15 Mio. Euro	27 Mrd. Euro (Gesamtvergütung, Fördermittel auf Basis der EEG-Umlage)		ÜNB (2016), BMWi, (2016c)
Energieberatung Mittelstand/KMU	2013	1,2 Mio. Euro	15,3 Mio. Euro (Beratungskosten)	147 -272 Mio. Euro (exkl./inkl. bereits geplante Maßnahmen)	IREES, Fraunhofer ISI (2014)
Öko-Design		nur qualitative Informationen verfügbar	-	-	Ecofys (2014)
KfW Energieeffizienzprogramm	2012		3.277 Mio. Euro	3.891 Mio. Euro	Prognos 2014
MAP	2013	n.v.	299 Mio. Euro (Fördermittel)	1.445 Mio. Euro	Fichtner et al (2014a)
NKI gewerbliche Klima- und Kälteanlagen	2008 bis 2011		29 Mio. Euro	153 Mio. Euro	Öko-Institut et al (2012)

Für das bezüglich der energetischen Wirkung wichtigste Instrument im Bereich der Stromeffizienz, die Ökodesign-Richtlinie, gibt es zwar Evaluationen, die auch den Teilbereich der Wirtschaftlichkeit beleuchten. Die Aussagen dazu sind in der vorliegenden

Studie jedoch rein qualitativ. In diesem Zusammenhang wird noch einmal darauf hingewiesen, dass für eine Reihe von ordnungsrechtlichen Instrumenten (u.a. Ökodesign-Richtlinie, EnEV, etc.) schon aufgrund deren Charakteristik nur Verwaltungskosten zu erheben sind.

Eine Reihe von Instrumenten (z.B. Wettbewerbliche Ausschreibungen, BAFA-Querschnittstechnologien) liegen keine ex-post Evaluationen vor, da diese Instrumente erst vor kurzem umgesetzt wurden, bzw. noch in Umsetzung sind. In der folgenden Tabelle werden die bestehenden Informationen zu Instrumenten aufgenommen, welchen im Rahmen der Bewertung der Instrumentenwirkung Effekte im Sektor Strom zugewiesen wurden.

Tabelle A3-1 gibt einen Überblick über die vorhandenen Informationen zu Administrations- und Programmkosten für Instrumente im Sektor Strom.

Sektoren Gebäude und Wärme/Kälte

Im Sektor Wärme liegen für die Förderung erneuerbarer Energien für einige Instrumente Evaluationen der Instrumente in Bezug auf Kostenaspekte vor. Die zentralen Instrumente hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Ausbau erneuerbarer Energien sind im Wärmesektor das EEG, das EEWärmeG und das MAP.

Für das MAP konnte für das Jahr 2013 ein durchschnittlicher Förderhebel von rund 5,72 Euro Investition je Euro Förderung ermittelt werden. Dieser ergibt sich aus einer Summe ausgelöster Investitionen von mehr als 1,4 Mrd. Euro im Vergleich zu Fördermitteln von ca. 300 Mio. Euro. Für das EEG liegen keine spezifischen Daten für die Förderung von erneuerbaren Energien im Wärmesektor vor. Eine derartige Trennung wäre aufgrund der notwendigen Gliederung der geförderten KWK-Anlagen in strom- und wärmeseitige Kosten auch nur über einen synthetischen Ansatz möglich.

Im Wärmesektor liegen für einige der den Endenergieverbrauch von Gebäuden betreffenden Beratungs- und Förderprogramme Zahlen zu den Programm- und Administrationskosten der Instrumente vor (siehe Tabelle A3-2). Dabei sind insbesondere Beratungsinstrumente der BAFA (Vor-Ort-Beratung und Energieberatung Mittelstand) zu erwähnen. Förderprogramme, für die Zahlen zu den Programm- und Administrationskosten erfasst wurden, sind bestimmte Programme der KfW (Energieeffizient Sanieren, Energieeffizient Bauen, KfW-Energieeffizienzprogramm, IKK/IKU Energieeffizient Bauen und Sanieren) und die Förderprogramme im Rahmen der NKI. In einzelnen Fällen liegen nur Daten über ausgelöste Investitionen vor (z.B. KfW EBS).

Tabelle A3-2: Programm- und Administrationskosten der Instrumente im Sektor Wärme

Sektor Strom Instrumente	Bezugs- jahr	Administrati- onskosten in Mio. € ₂₀₁₄ / a	Programm- kosten in Mio. € ₂₀₁₄ / a	Ausgelöste In- vestitionen in Mio. € ₂₀₁₄ / a	Quelle
MAP	2013	n.v.	299 Mio. Euro (Fördermittel)	1.445 Mio. Euro	Fichtner et al (2014a)
EEWärmeG	2009-2012	n.v.	ca. 533 Mio. Euro (Fördermittel)		
EEG		siehe Strom: Wärme nicht ge- trennt erfasst	siehe Strom: Wärme nicht ge- trennt erfasst	n.v.	
KfW Nicht- wohnge- bäude	2011 bis 2014		623 Mio. Euro ¹⁴	1.422 Mio. Euro	Fraunhofer IFAM 2015
Bafa Vor-Ort- Beratung	2012	1,2 Mio. Euro	5,0 Mio. Euro	112,7 Mio. Euro (Werte für 2010)	BAFA (2014)
Energiebera- tung Mittel- stand/KMU	2013	1,2 Mio. Euro	15,3 Mio. Euro (Beratungskos- ten)	147 -270 Mio. Euro (exkl./inkl. bereits geplante Maßnahmen)	IREES, Fraun- hofer ISI (2014)
NKI Klima- schutzkon- zepte	2008 bis 2011	n.v.	12,0 Mio. Euro	42,9 Mio. Euro	Öko-Institut et al (2012)
KfW EBS		n.v.	n.v.	Investitionsvolu- men gesamt: 34 Mrd. Euro	IWU, Fraunhofer IFAM (2015)
KfW Energie- effizienzpro- gramm	2012		3,3 Mrd. Euro	3,9 Mrd. Euro	Prognos 2014
NKI gewerbli- che Klima- und Kältean- lagen	2008 bis 2011		28,6 Mio. Euro	152,7 Mio. Euro	Öko-Institut et al (2012)

¹⁴ Teil CO₂-Gebäudesanierungsprogramm

Für die EnEV, die bezüglich der Endenergieeinsparung die größte Wirkung hat, liegen hingegen keine Informationen zu Kosten vor. Aufgrund ihrer Charakteristik als ordnungsrechtliches Instrument wären auch nur Verwaltungskosten zu erheben. Das gilt auch für andere ordnungsrechtliche Instrumente, wie die Energieauditpflicht.

Für jene Instrumente der Steigerung der Energieeffizienz, die sowohl den Stromsektor, als auch den Wärmesektor betreffen, ist eine Trennung zwischen dem Wärme- und Stromsektor nicht möglich. Die Daten zu Administrations- und Programmkosten bzw. zu ausgelösten Investitionen entsprechen daher mehrheitlich den unter für den Stromsektor ausgewiesenen Ergebnissen. Dabei ist zudem zu berücksichtigen, dass für eine Reihe von Instrumenten (z.B. Kommunale Effizienznetzwerke, BAFA-Querschnittstechnologien, Aufstockung der NAPE-Programme) keine ex-post Evaluationen vorliegen, da diese Instrumente erst vor kurzem umgesetzt wurden, bzw. noch in Umsetzung sind. In Tabelle A3-2 werden die bestehenden Informationen zu Instrumenten aufgenommen, welchen im Rahmen der Bewertung der Instrumentenwirkung Effekte im Sektor Wärme zugewiesen wurden.

Verkehrssektor

Die Erfassung von Programm- und Administrationskosten im Verkehrssektor wird dadurch erschwert, dass viele Instrumente erst vor kurzem implementiert wurden. Damit liegen gegenwärtig noch keine Daten aus ex-post-Evaluationen vor. Zudem besitzen eine Reihe von Instrumenten einen stark ordnungsrechtlichen Charakter, wodurch nur Verwaltungskosten zu erfassen sind.

Aus diesen Gründen liegen in den bekannten Studien aktuell noch keine Zahlen zu Programmkosten für den Verkehrssektor vor. Administrationskosten werden gegenwärtig ebenfalls nicht erfasst.

Literaturverzeichnis

- [AEE 2016] Agentur für Erneuerbare Energien: Metaanalyse Flexibilität durch Kopplung von Strom, Wärme & Verkehr
- [AEE 2015] Renewables Kompakt Ausgabe 27 vom 10.12.2015
- [AGEB 2016] Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2014 und Auswertungstabellen zur Energiebilanz; Berlin, Stand Juli 2016
- [AGEB 2015] Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland. 1990-2014. Stand August 2015.
- [Agora Energiewende 2017] The cost of renewable energy: A critical assessment of the Impact Assessments underlying the Clean Energy for All Europeans-Package. <https://www.agora-energie-wende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/419/The+Cost+of+Renewable+Energy/>
- [BAFA 2014] Evaluation der Energiesparberatung vor Ort, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, im Auftrag der Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- [BCG & Prognos 2018] Klimapfade für Deutschland
- [BDH 2018] Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie: Anteil der jährlichen Investitionsfälle mit Einkopplung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt. Abgerufen am 15.01.2018 von <http://www.bdh-koeln.de/presse/daten-fakten.html>
- [BMUB 2014] Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, 2014
- [BMUB 2015] Klimaschutzbericht 2015. Zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung, 2015
- [BMUB 2016] Klimaschutzbericht 2016. Zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung, 2016
- [BMWi 2014a] Mehr aus Energie machen. Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz. Dezember 2014.
- [BMWi 2014b] Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland gemäß der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz (2012/27/EU).

- [BMWi 2014c] Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2014 der Bundesrepublik Deutschland gemäß der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz (2012/27/EU).
- [BMWi 2014d] Mitteilung der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland an die Europäische Kommission gemäß Artikel 7 der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz (2012/27/EU)
- [BMWi 2016a] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Energiedaten
- [BMWi 2016b] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Zweiter Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz
- [BMWi 2016c] EEG in Zahlen, Vergütungen, Differenzkosten und EEG-Umlage 2000 bis 2017 (Stand: 14. Oktober 2016)
- [BMWi 2016d] Systemintegration erneuerbarer Energien/Ziele der Systemintegration
- [BMWi 2016e] Impulspapier: Strom 2030 – Langfristige Trends-Aufgaben für die kommenden Jahre, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016
- [BMWi & AGEE-Stat 2016] Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand Februar 2016
- [BMWi 2017a] Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2017 der Bundesrepublik Deutschland gemäß der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz (2012/27/EU).
- [BMWi 2017b] NAPE-Monitoring: NAPE-Bilanz 2017, Stand Juli 2017 (unveröffentlicht)
- [BMWi 2017c] Herbstprojektion der Bundesregierung, Oktober 2017
- [BMWi 2017d] Auswertungstabellen zu Energiebilanzen 2008 bis 2016, Stand November 2017 (vorläufige Angaben, unveröffentlicht)
- [Boßmann & Staffell 2015] Boßmann, T. & Staffell, I., The Shape of Future Electricity Demand: Exploring Load Curves in 2050s Germany and Britain, Karlsruhe

- [Breitschopf et al. 2013] Employment Impact Assessment Studies-Is There a Best Approach to Assess Employment Impacts of RET Deployment. Renewable Energy L. & Pol'y Rev., 93.
- [Bundesnetzagentur 2017] Bericht über Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen. 4. Quartal und Gesamtjahr 2016
- [Bundesnetzagentur 2016] Monitoringbericht 2016
- [Bundesregierung 2017] Projektionsbericht 2017 gemäß Verordnung 525/2013/EU, 2017
- [Bundesregierung 2016] Herbstprojektion der Bundesregierung Herbstprojektion 2016 der Bundesregierung, abgerufen am 28.10.2016 <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunktur-und-Statistiken/projektionen,did=385026.html>
- [Bundesregierung 2015] Projektionsbericht der Bundesregierung 2015
- [Bundesregierung 2013] Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG, 2013
- [Bundesregierung 2010] Energiekonzept
- [BWP 2015] Bundesverband Wärmepumpe, BWP-Branchenstudie 2015
- [CARMEN 2014] Akzeptanz für Erneuerbare Energien – Ein Leitfaden
- [Dethloff, C. 2004] Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen. Lengerich: Pabst Science Publishers
- [DBFZ et al. 2015] Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse), im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Leipzig, 2015
- [Decker & Menrad 2015] House owners' perceptions and factors influencing their choice of specific heating systems in Germany. Energy Policy 85 (2015) 150–161
- [Destatis 2017] Statistisches Bundesamt: Bautätigkeit und Wohnungen. Bautätigkeit 2016, 2017
- [Diverse] Evaluationen von Einzelinstrumenten (u.a. KfW-Programme Sonderfonds Energieeffizienz der KfW und Energieberatung Mittelstand), diverse Jahre
- [DLR et al. 2012] Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

- [DLR et al. 2010] DLR, Fraunhofer ISI, Bremer Energie Institut, Öko-Institut, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin: Ergänzende Untersuchungen und vertiefende Analysen zum EEWärmeG (Folgevorhaben), Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2010
- [e-bridge et al. 2014] „Moderne Verteilernetze für-Deutschland“ (Verteilernetzstudie)
- [Ecofys et al. 2017] Ecofys, ifeu, Fraunhofer ISI, Prognos et al: NAPE 2.0. BMWi Projekt 102/16. Version 4.0. April 2017 (unveröffentlicht)
- [Ecofys 2014] Evaluation of the Energy Labelling Directive and specific aspects of the Ecodesign Directive ENER/C3/2012-523, im Auftrag der European Commission, Directorate-General for Energy
- [Ecofys et al., 2012] Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichtes gemäß § 18 Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft.
- [Ecofys, Prognos, 2011] Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strommarkt und zur Netzintegration erneuerbarer Energien. Studie von Ecofys und Prognos im Auftrag des BMWi
- [E3M 2016] EU Reference Scenario 2016 - Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050, European Commission
- [EC 2017] Autumn 2017 Economic Forecast, European Commission
- [Fichtner et al. 2016] Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014. Evaluierung des Förderjahres 2014
- [Fichtner et al. 2014a] Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014, Evaluierung des Förderjahres 2012, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stuttgart, 2014
- [Fichtner et al. 2014b] Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014, Evaluierung des Förderjahres 2013, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Stuttgart, 2014

- [FhG ISE 2015] Sonnenfinsternis am 20. März 2015: Auswirkungen auf die Systemstabilität der deutschen Stromversorgung, Bericht
- [FhG ISE 2014] „WP Monitor“ Feldmessung von Wärmepumpenanlagen, 2014
- [FhG ISE 2013] Energiesystem Deutschland 2050; Freiburg.
- [FhG ISE 2012] Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt. Update der quantifizierten Kosten- und Nutzenwirkungen für 2010. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- [FhG ISE 2010] Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand
- [FhG ISI et al. 2018] FhG ISI, ifeu, Prgnos, SUER: Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. BMWi Projekt 63/15. Zweiter Evaluierungsbericht. Stand 13.9.2017 (unveröffentlicht).
- [FhG ISI, Consentec und IFEU 2017] Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario. Studie erstellt von FhG ISI, Consentec und IFEU im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Veröffentlichung voraussichtlich Juli 2017.
- [FhG ISI, Öko-Institut, IREES, Ecofys 2016] Entwicklung eines Konzepts für das Erreichen der nationalen Energieeinsparziele bis 2020 und bis 2050 auch unter Berücksichtigung relevanter EU-Vorgaben im Kontext einer ganzheitlichen Klima- und Energiepolitik („Aktionsplan Energieeffizienz“). (unveröffentlicht).
- [FhG ISI et al. 2015] Monitoring der Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien im Jahr 2014. Untersuchung im Rahmen des Projekts „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (ImpRES)“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- [FhG ISI et al. 2014] Kopplung von Strom- und Wärmemarkt vor dem Hintergrund eines steigenden Anteils erneuerbarer Energien. Endbericht
- [FhG ISI et al. 2014] FhG ISI, IFAM, Prognos, Ifeu, HfWU: Ausarbeitung von Instrumenten zur Realisierung von Endenergieeinsparungen in Deutschland auf Grundlage einer Kosten-/Nutzen-Analyse, Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung

des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz, Karlsruhe, 2014.

- [FhG ISI et al. 2014] FhG ISI, TU Wien, PwC: Study evaluating the current energy efficiency policy framework in the EU and providing orientation on policy options for realising the cost-effective energy efficiency/ saving potential until 2020 and beyond. Bericht für DG ENER. Karlsruhe, Wien, Rom 2014.
- [FhG ISI, Prognos, TU Wien, ECN, Comillas 2014] Estimating energy system costs of sectoral RES and EE targets in the context of energy and climate targets for 2030 - SNP 30 Scenario, 2014
- [FhG ISI, IFEA, Prognos 2014] Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) - Thesenpapier zum Handlungsfeld 5 Transport und Mobilität, 2014
- [FhG ISI/IFAM, Prognos, Ifeu, Ringel, M. 2014] Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE), 2014
- [FhG ISI, Öko-Institut, Ecofys 2012] Kosten-/Nutzen-Analyse der Einführung marktorientierter Instrumente zur Realisierung von Endenergieeinsparungen in Deutschland, Karlsruhe, Freiburg, Berlin, März 2012, im Auftrag des BMWi
- [FhG ISI et al. 2011] Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmebereich – Endbericht. Untersuchung von FhG ISI, GWS, IZES und DIW Berlin im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dezember 2011.
- [FhG IWES, FhG IBP, IFEU, Stiftung Umweltenergierecht, 2015] Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr, Endbericht
- [FhG IWES 2011] Windenergiereport Deutschland
- [Fricke, B. et al. 2016] Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung - Kommunale Masterpläne für 100 % Klimaschutz
- [Götz, K. et al. 2012] Attraktivität und Akzeptanz von Elektroautos. ISOE-Studientexte, Nr. 18
- [Gruber A., Bierdermann F., von Roon S. 2015] Industrielles Power-to-heat-Potential. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien

- [Hirzel et al. 2017] Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. Bericht zu AP2: Evaluierung des Energieeffizienzfonds – Arbeitsdokument (Stand: 09/2017). Projekt Nr. 63/15 im Auftrag des BMWi. Fraunhofer ISI, Ifeu, Prognos. Karlsruhe, Heidelberg, Basel. Überarbeitung September 2017 (unveröffentlicht)
- [ICCT 2016] From laboratory to road: A 2016 update of official and "real-world" fuel consumption and CO₂ values for passenger cars in Europe
- [IFAM 2015] Wirkungen von Förderprogrammen der KfW im Bereich Nichtwohngebäude der Förderjahre 2011 bis 2014.
- [IFEU 2016] Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050; Heidelberg, im Auftrag des UBA
- [infas & DLR 2008] Mobilität in Deutschland, 2008, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- [IREES & FhG ISI 2014] Evaluation des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“. Schlussbericht, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- [IWU 2012] Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2011. Im Auftrag der KfW-Bankengruppe.
- [IWU 2013] Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2012. Im Auftrag der KfW-Bankengruppe.
- [IWU 2014] Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2013. Im Auftrag der KfW-Bankengruppe.
- [IWU & BEI 2014] Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2013, im Auftrag der KfW Bankengruppe, Darmstadt, 2014
- [IWU 2015] Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2014. Im Auftrag der KfW-Bankengruppe.
- [ISI, INFRAS, IFEU 2012] Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr, 2012
- [Jonuschat, H., Wölk, M. und Handke, V. 2012] Untersuchung zur Akzeptanz von Elektromobilität als Stellglied im Stromnetz

- [KBA, 2016] FZ 13: Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen; 1. Januar 2016; Flensburg.
- [Langniß et al. 2013] Zwölf Jahre Marktanzreizprogramm - Eine Bilanz, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stuttgart, 2013
- [Nitsch J. 2016] Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung. Kurzstudie für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.
- [Öko-Institut & FhG-ISI 2018] Öko-Institut/Fraunhofer ISI: Politiksznarien VIII, Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS), Stand 9.1.2018, unveröffentlicht
- [Öko-Institut & FhG ISI 2017a] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 1. Quantifizierungsbericht (2016). Berlin, 11. Januar 2017
- [Öko-Institut & FhG ISI 2017b] Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. 2. Quantifizierungsbericht (2017). Vorläufige Entwurfssfassung. Berlin, Karlsruhe, November 2017 (noch nicht veröffentlicht)
- [Öko-Institut & FhG ISI 2017c] Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013
- [Öko-Institut 2017] Überprüfung der Emissionsminderung 2020 im Rahmen des Projektionsbericht 2017
- [Öko-Institut & FhG ISI 2015] Klimaschutzszenario 2050; Berlin, Karlsruhe, im Auftrag des BMUB
- [Öko-Institut & FhG ISI 2015] Projektionsbericht 2015 / Politiksznarien
- [Öko-Institut 2014] Wissenschaftliche Analysen zu klimapolitischen Fragestellungen. Quantifizierung der Maßnahmen für das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, 2014
- [Öko-Institut & FhG ISI 2013] Projektionsbericht 2013 / Politiksznarien, 2013
- [Öko-Institut DIW, FhG ISI, IEK-STE 2013] Politiksznarien für den Klimaschutz VI - Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030, 2013
- [Öko-Institut 2014b] CO₂-Emissionen aus der Kohleverstromung in Deutschland, 2014

- [Öko-Institut 2012] Evaluierung des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- [Probst 2014] Auswirkungen von Elektromobilität auf Energieversorgungsnetze analysiert auf Basis probabilistischer Netzplanung
- [Prognos et al. 2015] Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Studie erstellt von prognos AG, IFEU und IWU im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienzstrategie Gebäude, Dezember 2015
- [Prognos, FhG ISI, DLR 2015] Wissenschaftlicher Bericht zur Vorbereitung des Erfahrungsberichts zum EEWärmeG, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2015
- [Prognos, EWI, GWS 2014] Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel/Köln/Osnabrück, 2014
- [Prognos 2014a] Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012.
- [Prognos FhG ISI 2014] Studie zur Vorbereitung des Nationalen Energieeffizienz-Aktionsplans 2014 der Bundesregierung, 2014
- [Prognos 2014b] Endenergieeinsparziel gemäß Art. 7 EED und Abschätzung der durch politische Maßnahmen erreichbaren Energieeinsparungen
- [Prognos BEA 2011] Zwischenüberprüfung zum Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 2011
- [Rehtanz 2017] Verteilnetzstudie für das Land Baden-Württemberg
- [Renn, O. 2015] Aspekte der Energiewende aus sozialwissenschaftlicher Perspektive (Analyse aus der Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft)
- [Renn, O., Sager, C., Schweizer-Ries, P. 2014] Gesellschaftliche Akzeptanz für die bevorstehenden Phasen der Energiewende. FVEE-Themen 2014
- [Sauter, R. und Watson, J. 2007] Strategies for the deployment of micro-generation: Implications for social acceptance. In: Energy Policy 2007 35/5: 2770-2779

- [Schäfer, M. und Keppler, D. 2013] Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung. ztg discussion paper Nr. 34/2013
- [Schweizer-Ries, P., Rau, I. und Hildebrand, J. 2011] Akzeptanz- und Partizipationsforschung zu Energienachhaltigkeit. FVEE-Themen 2011
- [Schubert D. 2016] Bewertung von Szenarien für Energiesysteme. Potentiale, Grenzen und Akzeptanz. Schriften des Lehrstuhls für Energiewirtschaft, TU Dresden, Band 10
- [Sonnenberger, M. und Ruddat, M. 2016a] Die gesellschaftliche Wahrnehmung der Energiewende – Ergebnisse einer deutschlandweiten Repräsentativbefragung
- [Sonnenberger, M. und Ruddat, M. 2016b] Akzeptanz von Energieinfrastrukturen – Ergebnisse aus dem Akzeptanzsurvey 2015
- [ÜNB 2017a] Netzentwicklungsplan 2030, Zahlen, Daten, Fakten
- [ÜNB2017b] Netzentwicklungsplan 2030, Version 2 ausführliche Fassung
- [ÜNB 2017c] Netzentwicklungsplan 2030, Entwurf 1 ausführliche Fassung
- [ÜNB 2017d] Netzentwicklungsplan 2030, Entwurf 2 ausführliche Fassung
- [ÜNB 2016] Aktuelle Angaben der Übertragungsnetzbetreiber zu den Einnahmen- und Ausgabenpositionen nach § 3 (1) AusglMechAV (Stand 30. September 2016)
- [ÜNB 2015] Mittelfristprognose 2016-2020, 2015
- [UBA 2015] Treibhausgasneutrales Deutschland, 2015
- [UBA 2010] CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Dessau.
- [Wachsmuth, J., 2015] Wachsmuth, J., Dransfeld, B., Fekete, H., Duscha, S., Hagemann, M., Höhne, N., Reuter, M. Röben, F., How Energy Cuts Cost for a 2-Degree-Future. Studie im Auftrag der ClimateWorks Foundation, San Francisco, CA. Download: http://www.climateworks.org/wp-content/uploads/2015/11/Report_How-Energy-Efficiency-Cuts-Costs-for-a-2-Degree-Future.pdf

[Zoellner, J., Rau, I. und Schweizer-Ries, P. 2009]

Akzeptanz Erneuerbarer Energien und sozialwissenschaftliche Fragen. Universität Magdeburg: Projektendbericht