



Dokumentation

Dekarbonisierung und Sektorkopplung

Dekarbonisierung und Sektorkopplung

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 064/18
Abschluss der Arbeit: 18. Juni 2018
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zum Begriff der Sektorkopplung	4
2.	Der Zusammenhang von Energie- und Klimaschutzpolitik	4
2.1.	Nationale Klimaschutzziele: Energiekonzept 2010 und Klimaschutzplan 2050	4
2.2.	Das nationale 2020-Klimaschutzziel: Meseberger Beschlüsse, „Energiekonzept 2010“ und „Vierter Monitoringbericht zur Energie der Zukunft“	5
2.3.	„Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“: Verstärkung der Anstrengungen	6
2.4.	„Klimaschutzplan 2050“ von 2016: Emissionsminderungsziele nach Sektoren	7
2.5.	Tabellarischer Vergleich der nationalen und europäischen Klimaschutzziele	10
2.6.	Aktuelle Emissionsdaten Deutschlands	10
2.7.	Projektionen zum Erreichen des nationalen 2020-Klimaschutzziels	13
3.	Grünbuch Energieeffizienz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (2017)	14
4.	Analyse (2017) der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Sektorkopplung – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems	20
4.1.	Sektorkopplung als Chance der Optimierung	20
4.2.	Fazit und Schlussfolgerungen	22
5.	dena-Leitstudie (2018) : Integrierte Energiewende	24
5.1.	Executive Summary der Studie	25
5.2.	Zentrale Erkenntnisse der Studie, hier: Rahmenbedingungen und Investitionen für eine integrierte Energiewende	26

1. Zum Begriff der Sektorkopplung

„Sektorkopplung bzw. Sektorenkopplung ist in den letzten Jahren in der Energie- und Klimapolitik als neue Begrifflichkeit aufgetaucht. Der hohe politische Stellenwert der Sektorkopplung in der heutigen energiepolitischen Diskussion spiegelt sich unter anderem im Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016) und in dem Grünbuch Energieeffizienz (BMW 2016a) wider. Sektorkopplung soll einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele durch den verstärkten Einsatz von erneuerbarem Strom in den Sektoren Verkehr, Wärme und Industrie zur Substitution von fossilen Energieträgern leisten (siehe BMW 2016a; BMUB 2016; aber auch RP-Energie-Lexikon 2017; Wietschel 2015a). Auch in weiten Teilen der Energiewirtschaft besteht ein Interesse an Sektorkopplung zur Erschließung neuer Optimierungs- und Geschäftsmöglichkeiten innerhalb eines sich verändernden Energiesystems (vgl. BDEW 2017a; DVGW 2017). Nicht zuletzt widmet sich auch der wissenschaftliche Diskurs der Sektorkopplung.“¹

Unter energiepolitischen Aspekten wird Sektorenkopplung im EU-Kontext auch als „EU-Energiemarktdesign“ betrachtet.²

2. Der Zusammenhang von Energie- und Klimaschutzpolitik

Der nachfolgende, in diesem Kapitel dokumentierte Auszug des Sachstands WD 8-009-18: „Aktuelle Klimaschutzziele auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene. Nominale Ziele und Rechtsgrundlagen“ vom 18. Januar 2018³ beschreibt den Zusammenhang von Energie- und Klimaschutzpolitik sowie die in den Konzepten der Bundesregierung vereinbarten Ziele. Die Emissionsminderungsziele nach Sektoren finden sich in Kapitel 2.4.

2.1. Nationale Klimaschutzziele: Energiekonzept 2010 und Klimaschutzplan 2050

Die Bundesregierung hat sich erstmalig 2007 als nationales Ziel gesetzt, die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2020 **um mindestens 40% gegenüber dem Jahr 1990** zu senken. Seither hat sich jede folgende Bundesregierung zu diesem Ziel bekannt. Damit geht sie bei der Emissionsminderung **über bestehende internationale Zielvereinbarungen für 2020** (Kyoto 2. Periode und

1 Fraunhofer ISI (Hrsg) (2018): Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen. Working Paper Sustainability and Innovation No. S 01/2018, S. 1, https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2018/WP01-2018_Sektorkopplung_Wietschel.pdf (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

2 Vgl. beispielhaft: nymoen.strategieberatung (2017) EU-Energiemarktdesign: Ist der Weg der Sektorenkopplung ein Weg für Europa? Forum für Zukunftsenergien. http://www.nymoen-strategieberatung.de/uploads/tx_cedownload/Vortrag_HNymoen_20170509_01.pdf (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

3 Abrufbar unter <http://www.bundestag.de/blob/543798/743f401f49bea64a7af491c6d9a0b210/wd-8-009-18-pdf-data.pdf> (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

europäisch rechtverbindliche Zielsetzungen⁴) **hinaus**⁵. Um das Ziel zu erreichen, hat die Bundesregierung klima- und energiepolitische Programme beschlossen. Das „Energiekonzept 2010“ und der im November 2016 beschlossene „Klimaschutzplan 2050“ einbeziehen Festschreibungen der national gesetzten Zielsetzungen von einer THG-Emissionsminderung **bis 2030 um mindestens 55%, bis 2040 um mindestens 70% und bis 2050 um mindestens 80-95%** (jeweils unter das Niveau von 1990) und zum Ausbau der erneuerbaren Energien für Energieeffizienz bis 2050.

2.2. Das nationale 2020-Klimaschutzziel: Meseberger Beschlüsse, „Energiekonzept 2010“ und „Vierter Monitoringbericht zur Energie der Zukunft“

Im Rahmen ihrer Klausurtagung in Meseberg beschloss die deutsche Bundesregierung im August **2007** die Eckpunkte eines „**Integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP)**“. Dieses Programm vom Dezember 2007, das mit 14 Gesetzen und Verordnungen und im darauffolgenden Jahr weiteren Rechtssetzungsvorhaben umgesetzt wurde, ist daher auch unter dem Namen **Meseberger Beschlüsse** bekannt. Mit dem Programm sollten die europäischen Richtungsentscheidungen vom Frühjahr 2007 (zum „Klima- und Energiepaket 2020“) bezüglich der Emissionsminderungen, des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in ein nationales Maßnahmenpaket umgesetzt werden. Darin sind als **Ziele für 2020** formuliert: die **Senkung der THG-Emissionen um 40%** gegenüber 1990, die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Stromproduktion auf 25-30%, die Verdopplung des Anteils von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung auf etwa 25% oder die Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch auf 14%.

Das nationale 40%-Emissionsminderungsziel wurde von der nachfolgenden Bundesregierung im „**Energiekonzept 2010**“⁶ bestätigt. In dem Energiekonzept wurden darüber hinaus erstmals auch die langfristigen Energie- und Klimaschutzziele für Deutschland verabschiedet. Dazu gehörten auch das **80- 95 %-Minderungsziel bis 2050** und die Einführung von Zwischenzielen für 2030 und 2040: - **55% bis 2030**, - **70% bis 2040**. Zahlreiche weitere Effizienz- und Ausbauziele für erneuerbare Energie kamen hinzu:

- die Steigerung des **Anteils der erneuerbaren Energien** am Endenergieverbrauch **bis 2020 auf 18%**. Danach sollte folgende Entwicklung anzustreben sein: 30% bis 2030, 45% bis 2040, 60% bis 2050;

4 Im Gegensatz zu der europäischen Vorgabe für eine deutsche Emissionsreduktion von rund 34% (s. BMUB: https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_klimaziele_bf.pdf) für 2020 gegenüber 1990 (laut der Entscheidung zur Verteilung von Lasten, wonach Deutschland seine THG-Emissionen außerhalb des EU-Emissionshandels verglichen mit 2005 um 14% senken muss zuzüglich der Anforderungen im Rahmen des Emissionshandels), gibt sich Deutschland mit 40%-Reduktionsanforderung eine deutlich ambitioniertere Klimaschutzzielvorgabe für 2020.

5 Daneben bestehen auch noch die Verpflichtungen Deutschlands zu den schon genannten Klimazielen im Rahmen der Europäischen Union zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz.

6 Vgl. Energiekonzept. Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung 28. September 2010: https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf;jsessionid=2B8BBC7EFD657FBA26336F6F83B39EF4.s4t2?_blob=publicationFile&v=5

- die Steigerung des **Anteils an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien** am Bruttostromverbrauch bis 2020 auf **35%**. Danach soll eine Steigerung angestrebt werden: 50% bis 2030, 65% bis 2040, 80% bis 2050.
- die Senkung des Primärenergieverbrauchs 2020 gegenüber 2008 um 20% und bis 2050 um 50%.

Auf der Grundlage eines alle drei Jahre durchzuführenden wissenschaftlich fundierten Monitorings sollte zu ermitteln sein, ob sich der tatsächliche Fortschritt im Korridor des beschriebenen Entwicklungspfads bewegt und inwieweit Handlungsbedarf ausmachen ist.

Die Regierungskoalition ab 2013 erneuerte die Festlegung auf das 40%-Ziel in zahlreichen Kabinettsbeschlüssen. Zuletzt erfolgte die Festlegung im Dezember 2016 im „Fünften Monitoringbericht Energie der Zukunft“⁷(wie zuvor auch schon im vierten Monitoringbericht 2015 oder dem ersten Fortschrittsbericht zur Energiewende 2014). Auch der Deutsche Bundestag erneuerte die Unterstützung für die nationalen Klimaziele 2020 (2030, 2040, 2050) im Vorfeld der Pariser Klimakonferenz.⁸

2.3. „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“: Verstärkung der Anstrengungen

Im **Dezember 2014** hat die Bundesregierung das **Aktionsprogramm Klimaschutz 2020** beschlossen, um die bisherigen Klimaschutzmaßnahmen auszuweiten, damit das Ziel einer Minderung der nationalen Treibhausgas-Emissionen um 40% gegenüber 1990 noch erreichbar bleibt. Mit unterschiedlichen Maßnahmen (u.a. „Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)“, die „Strategie klimafreundliches Bauen und Wohnen“) sollte eine identifizierte Minderungslücke von 5-8% geschlossen werden. Mit mehr als 100 Einzelmaßnahmen, soll sich durch deren Umsetzung ein Beitrag in Höhe von 62-78 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zur Schließung der Klimaschutzlücke ergeben.

Die Umsetzung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 wird **seit 2015 in jährlichen Klimaschutzberichten überprüft**. 2015 betrug die Emissionsminderung 27% (gegenüber dem Zielwert 40% 2020).

7 Fünfter Monitoring-Bericht. Die Energie der Zukunft. Berichtsjahr 2015: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fuenfter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publication-file&v=38

8 U.a. Deutscher Bundestag. Antrag der Fraktionen von CDU, CSU und SPD. BT-Drs. 18/6642 vom 10.11.2015: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/066/1806642.pdf>

Klimapolitische Ziele der Bundesregierung

Kategorie	2014	2015*	2020	2030	2040	2050
Treibhausgas-Emissionen						
Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zu 1990	-27,7 %	-27,2 %	min. -40 %	min. -55 %	min. -70 %	min. -80 bis -95 %
Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieverbrauch						
Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	13,7 %	-	18 %	30 %	45 %	60 %
Anteil am Bruttostromverbrauch	27,4 %	31,6 %	min. 35 %	min. 50 % (2025: 40 bis 45 %)	min. 65 % (2035: 55 bis 60 %)	min. 80 %
Anteil am Wärmeverbrauch	12,5 %	13,2 %	14 %			
Anteil im Verkehrsbereich	5,6 %	5,3 %				
Reduktion des Energieverbrauchs und Steigerung der Energieeffizienz						
Primärenergieverbrauch im Vergleich zu 2008	-8,3 %	-7,6 %	-20 %	→		-50 %
Endenergieproduktivität	+1,6 % pro Jahr (2008-2014)	-	+2,1 % pro Jahr (2008-2050)			
Bruttostromverbrauch im Vergleich zu 2008	-4,2 %	-2,9 %	-10 %	→		-25 %
Primärenergiebedarf Gebäude im Vergleich zu 2008	-14,8 %	-	→ etwa -80 %			
Wärmebedarf Gebäude im Vergleich zu 2008	-9,4 %	-8,7 %	-20 %			
Endenergieverbrauch Verkehr im Vergleich zu 2005	+1,2 %	+1,3 %	-10 %	→		-40 %

*Schätzung

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Die Energie der Zukunft - Vierter Monitoringbericht zur Energiewende. Abweichungen aufgrund von Datenaktualisierungen aus: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (Stand 02/2016), Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (Stand 03/2016, 07/2016, 08/2016); Umweltbundesamt (Stand 03/2016)

2.4. „Klimaschutzplan 2050“ von 2016: Emissionsminderungsziele nach Sektoren

Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 wurde auch festgelegt, im Jahr 2016 erstmalig einen nationalen Klimaschutzplan 2050 zu verabschieden. Vereinbart wurde dies bereits mit dem Koalitionsvertrag der 18. Legislaturperiode. Danach sollten die weiteren Emissionsreduktionsschritte im Lichte der europäischen Ziele und der Ergebnisse der Pariser Klimaschutzkonferenz 2015 bis zum Zielwert von 80-95% im Jahr 2050 festgeschrieben werden.

Nach einem breiten Dialogprozess wurde der „Klimaschutzplan 2050“ im November 2016 vom Bundeskabinett beschlossen. Darin werden **neben den bestätigten Reduktionszielen** (2020: -40%,

9 UBA (2016). Klimaschutzziele Deutschlands: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/klimaschutzziele-deutschlands#textpart-2>

2030 -55%, 2040 -70%, 2050 -80-95%; der Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien bis 2050 auf 60% Prozent am Endenergieverbrauch, 2030 30%, 2040 45%; und der Senkung des Primärenergieverbrauch bis 2050 um 50% gegenüber 2008, 2020 – 20%) **erstmalig auch sektorspezifische Transformationspfade** (für Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft) beschrieben. „Dabei skizziert das Leitbild für jedes Handlungsfeld eine Vision für das Jahr 2050, während die Meilensteine und Maßnahmen auf das **Jahr 2030** ausgerichtet sind“.¹⁰

Zielemissionen für die Sektoren sind demnach:

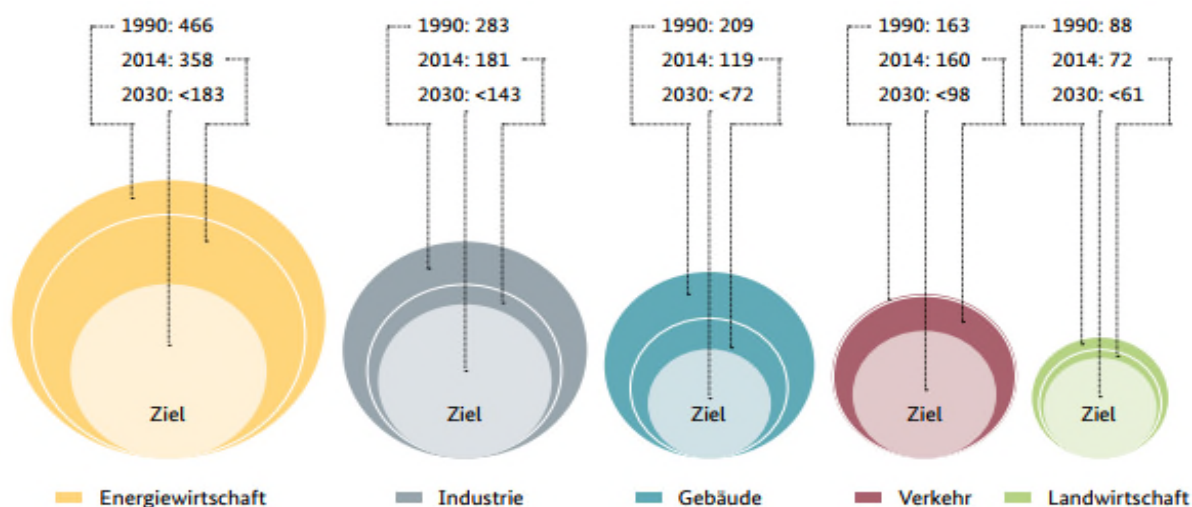
Handlungsfeld	1990 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2014 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (in Mio. Tonnen CO ₂ -Äq.)	2030 (Minderung in % gegenüber 1990)
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	181	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	58 – 61	34 – 31 %
Teilsomme	1.209	890	538 – 557	56 – 54 %
Sonstige	39	12	5	87 %
Gesamtsumme	1.248	902	543 – 562	56 – 55 %

Quelle: Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

11

10 Maßnahmen: Das Spektrum an Instrumenten und Maßnahmen schließt Gesetze und Verordnungen sowie Förderprogramme, Informations- und Kommunikationsmaßnahmen ein. Beispiele für zentrale Rechtsvorschriften mit Bezug zum Klimaschutz sind das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, die Energieeinsparverordnung, die Vorschriften zum EU-Emissionshandel und das Bundesimmissionsschutzgesetz.

11 Bundesregierung; BMUB (2016). Klimaschutzplan 2050: 8: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf



12

Insgesamt ist der Klimaschutzplan dabei als „Prozess angelegt, der neue Erkenntnisse und Entwicklungen aufnimmt, [...] der Grundphilosophie des regelmäßigen Überprüfens [folgt], kontinuierlichen Lernens und stetigen Verbesserns. Damit kann und will er nicht ein über Dekaden festgelegter detaillierter Masterplan sein.“¹³

Der Klimaschutzplan sieht vor, dass seine Überprüfung und Fortschreibung dem fünfjährigen Rhythmus der regelmäßigen Überprüfung der Beiträge des Pariser Übereinkommens folgt. Die erste Fortschreibung erfolgt zu dem Zeitpunkt, zu dem die Vertragsstaaten des Pariser Übereinkommens neue Beiträge vorlegen müssen, Ende 2019 beziehungsweise Anfang 2020. Vorgesehen ist zudem, dass der Plan im Jahr 2018 mit einem „in seiner Minderungswirkung quantifizierten Maßnahmenprogramm unterlegt [werden soll]. Dieses Programm soll sicherstellen, dass das 2030er Minderungsziel erreicht wird.“¹⁴

Im parlamentarischen Verfahren zum Klimaschutzplan und von Verbänden wie beispielsweise dem World Wide Fund For Nature (WWF) wurde auf das Fehlen einer „notwendigen gesetzlichen Verbindlichkeit der deutschen Klimaschutzziele“ hingewiesen. Der WWF Deutschland fordert diesbezüglich, „das Langfristziel für 2050 und die Sektorenziele pro Dekade gesetzlich festzuschreiben, um ihnen aus Sicht der Wirtschaftsakteure die notwendige Glaubwürdigkeit zu ver-

12 BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen: 22: https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_klimaziele_bf.pdf; Zusatzinformation der Quelle: Die Werte sind aus dem Klimaschutzplan 2050 (Kapitel 5) übernommen. Die Angaben der BMUB-Publikation basieren auf aktuellen Inventardaten und können davon abweichen. Das Handlungsfeld „Gebäude“ im Klimaschutzplan umfasst die in der BMUB-Publikation dargestellten Sektoren „Private Haushalte“ und „GHD“.

13 Bundesregierung; BMUB (2016). Klimaschutzplan 2050: 10: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf

14 BMUB (2017). Wegweiser in ein klimaneutrales Deutschland. Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie: <https://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/#c11686>

leihen und die entsprechende Planungs- und Investitionssicherheit für den langfristigen Transformationsprozess zu gewährleisten.“ Ein Klimaschutzgesetz müsse dem Klimaschutzplan folgen. Auch die im Klimaschutzplan enthaltene Entwicklung und Nachjustierung von Maßnahmenprogrammen müsse dabei Bestandteil der gesetzlichen Regelung werden, „um einen flexiblen Einsatz von Maßnahmen zur Zielerreichung zu gewährleisten“.¹⁵

2.5. Tabellarischer Vergleich der nationalen und europäischen Klimaschutzziele

Ziele	Deutschland			EU		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Treibhausgase						
Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990	mind. -40 %	mind. -55 %	mind. -80 bis -95 %	-20 %	-40 %	-80 bis -95 %
Steigerung des Anteils EE am Energieverbrauch						
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch	18 %	30 %	60 %	20 %	27 %	
Reduktion des Energieverbrauchs und Steigerung der Energieeffizienz						
Senkung des Primär- oder Endenergieverbrauchs (P/EEV)	-20% PEV ggü. 2008		-50% PEV ggü. 2008	20% (Energieeffizienzsteigerung ggü. business-as-usual)	27% (Energieeffizienzsteigerung ggü. business-as-usual)	

16

2.6. Aktuelle Emissionsdaten Deutschlands¹⁷

Der Rückgang der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2016 beträgt schätzungsweise 27,6% (1990 bis 2015: 27,9%). Der Treibhausgasausstoß 2016 wird auf fast 906 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Vergleich zu 1.251 Millionen Tonnen im Jahr 1990 geschätzt.¹⁸

15 WWF Deutschland (2017). WWF-Einschätzung des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung: https://mobil.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/WWF_Einschaetzung_des_Klimaschutzplans_2050_der_Bundesregierung.pdf

16 BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen. Klimaschutzziele Deutschland und EU: https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_klimaziele_bf.pdf.

17 Alle nachfolgenden Informationen stammen wörtlich aus: BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen: Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Berlin: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2017_bf.pdf: 9, 24, 27, 33, 37, 30.

18 BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik: 24: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2017_bf.pdf

Mit knapp 38,5% hatte die Energiewirtschaft auch 2015 den größten Anteil an den deutschen Gesamtemissionen. Dafür ist insbesondere die Verbrennung fossiler Energieträger in Kraftwerken der öffentlichen Versorgung zur Bereitstellung von Strom und Wärme verantwortlich. Fast vier Fünftel der Emissionen in der Energiewirtschaft entstehen beim Verbrennen von Braun- und Steinkohle.

Die Emissionen des Industriesektors sind für ein Fünftel (21%) des deutschen Treibhausgasausstoßes verantwortlich. Damit ist der Industriesektor die zweitgrößte Emissionsquelle, wofür insbesondere die Metallindustrie (zum Beispiel Eisen und Stahl), die Herstellung mineralischer Produkte (zum Beispiel Zement) und die chemische Industrie mit der Herstellung von Grundchemikalien verantwortlich sind. Rund zwei Drittel der Emissionen sind auf die Nutzung von Energie (Industriefeuerung) zurückzuführen und knapp ein Drittel werden bei Produktionsprozessen in der Grundstoffindustrie verursacht. In den letzten 15 Jahren sind die Emissionen im Industriesektor abgesehen von konjunkturbedingten Schwankungen nur leicht zurückgegangen.

Der Verkehrssektor verursacht knapp 18% der Emissionen in Deutschland. Damit ist der Verkehr der drittgrößte Verursacher von Emissionen in Deutschland. Die Emissionen des Verkehrssektors resultieren zu 96 Prozent aus dem Straßenverkehr.

Private Haushalte (Sektoranteil 10 %) konnten zwischen 1990 und 2015 bereits circa 35% an Emissionen einsparen, diese sind jedoch im Vergleich zum Vorjahr witterungsbedingt leicht angestiegen.

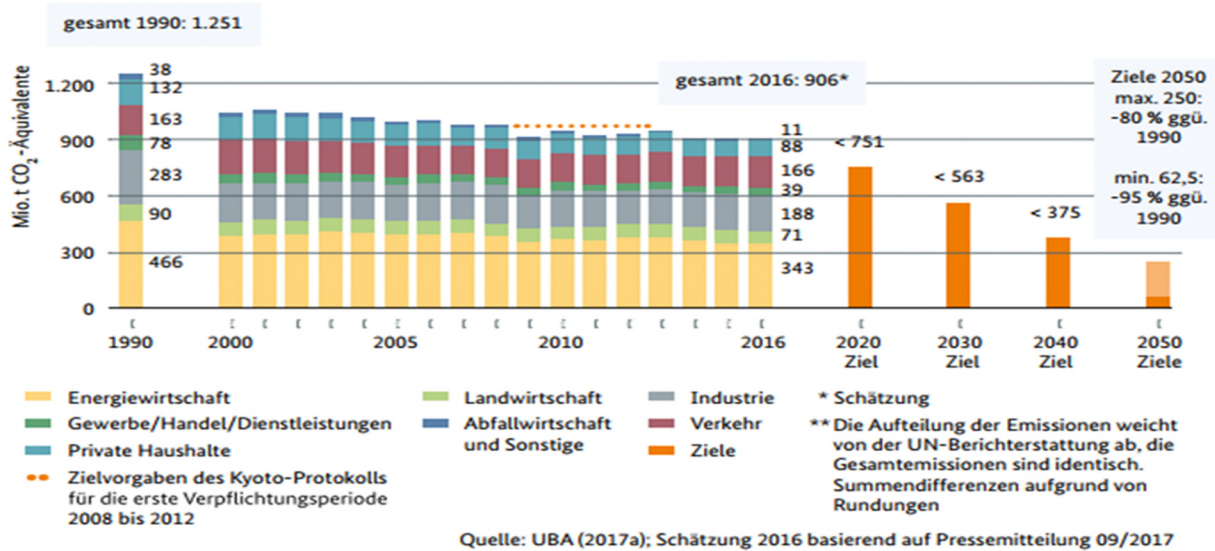
Die Treibhausgasemissionen im Gewerbe/Handel/ Dienstleistungen (GHD)-Sektor (Sektoranteil: 4%) sind seit 1990 um rund 54% gesunken.

Der stärkste Emissionsrückgang seit 1990 konnte mit über 70% in der Abfallwirtschaft (Sektoranteil: 1%) verzeichnet werden.

Der Anteil der Landwirtschaft an den deutschen Emissionen ist 2015 weiter leicht angestiegen auf über 8%. Dies ist vor allem auf extrem klimawirksame Methan- und Lachgasemissionen zurückzuführen, die unter anderem bei der Haltung von Milchkühen und durch Düngemiteleinsatz entstehen.

Der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft konnte die deutschen Emissionen im Jahr 2015 netto um 14,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente reduzieren. Im Vergleich zu 1990 speichern landwirtschaftliche Böden und die Forstwirtschaft nur noch rund halb so viele Treibhausgasemissionen.

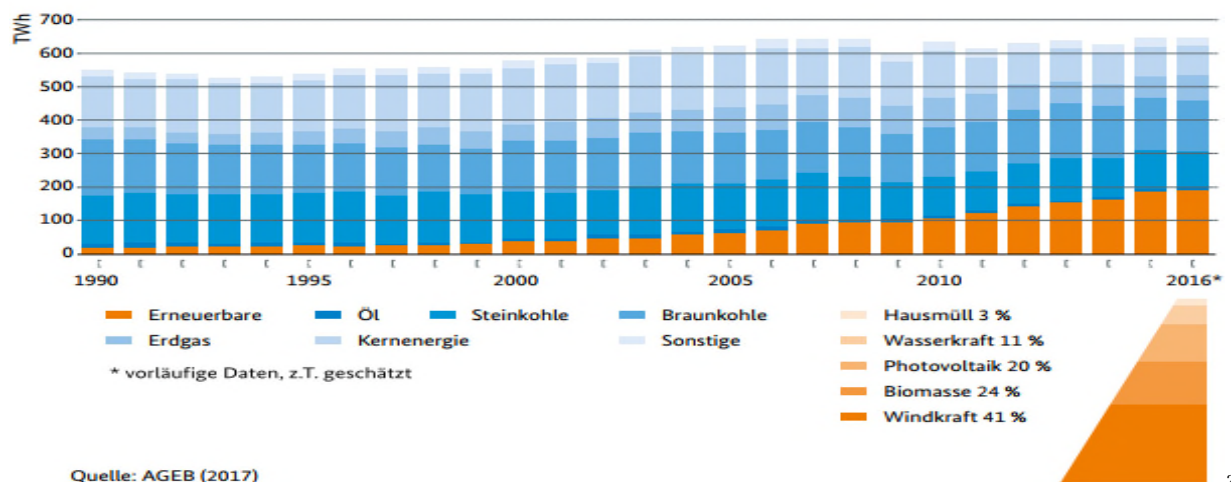
Übersicht über die Entwicklung der Treibhausgase nach Sektoren (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) in Deutschland:



19

Bezüglich des Anteils der erneuerbaren Energieträger an der Stromerzeugung lässt sich festhalten, dass Erneuerbare Energien 2016 den deutschen Bruttostromverbrauch mit einem Anteil von 31,7% dominierten. Der Anteil von Stein- und Braunkohle am deutschen Strommix wurde zwischen 1990 und 2016 um fast 9% beziehungsweise 8% reduziert. Kohlestrom deckt gut zwei Fünftel der deutschen Bruttostromerzeugung.

Zur Entwicklung der Bruttostromerzeugung nach Energieträgern:



20

19 BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen: 26.

20 BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen: 29.

2.7. Projektionen zum Erreichen des nationalen 2020-Klimaschutzziels

Im Jahr 2016 lag die Emissionsminderung bei rund -28% gegenüber 1990, die Differenz zum nationalen 2020-Ziel von -40% beträgt 12 Prozentpunkte.

Der im April 2017 vorgelegte **Klimaschutz-Projektionsbericht 2017 der Bundesregierung** prognostiziert, dass die bereits beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen dazu führen, dass die Emissionen bis zum Jahr 2020 um 35% sinken: „Für die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und ohne internationalen Luft- und Seeverkehr) ergibt sich im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) für den Zeitraum 2005 bis 2020 eine Minderung um 175 Millionen Tonnen CO₂e [Kohlendioxidäquivalente] bzw. 18%. Bis 2030 beträgt die Minderung gegenüber 2005 etwa 257 Millionen Tonnen CO₂e bzw. 26% und bis 2035 etwa 323 Millionen Tonnen CO₂e bzw. 33%. **Im Vergleich zu 1990 entspricht dies bis 2020 einer Minderung um 34,7%, bis 2030 einer Minderung um etwa 41% und bis 2035 um gut 46%.** Betrachtet man zusätzlich die im Bericht analysierten Sensitivitäten, ergibt sich ein **möglicher Korridor** der Emissionsminderung **in 2020**, welcher zwischen **33,7%** (stärkeres Wirtschaftswachstum) und **37,5%** (niedrigerer Stromexportsaldo) im Vergleich zu 1990 liegt.“²¹

In der BMUB-Publikation „Klimaschutz in Zahlen“ von April 2017 wird darauf Bezug genommen und darauf verwiesen, dass bei der Umsetzung bei „mittlerweile fast 70% der im Aktionsprogramm 2020 beschlossenen Maßnahmen“ und vollständiger Umsetzung der noch ausstehenden Maßnahmen „eine Minderung von maximal 38% bis 2020“ zu erwarten sei. Abhängig von aktuelleren Schätzungen werde „die Bundesregierung daher ab 2018, falls nötig, gezielt nachsteuern“.²²

Eine **aktualisierte Kalkulation der Agora Energiewende** (Initiative der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation) kritisiert, dass der Projektionsbericht dabei von veralteten Annahmen ausgehe.²³ Die tatsächliche Entwicklung in etlichen für den Treibhausgasausstoß relevanten

21 Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013: http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017_-_final.pdf: 29.

22 BMUB (2017). Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2017_bf.pdf: 25.

23 So ginge der Projektionsbericht davon aus, dass in allen Sektoren bis 2020 gegenüber heute noch deutliche Emissionsminderungen erfolgen: Der größte Beitrag dieser Emissionsminderungen soll dabei aus der Energiewirtschaft erfolgen, bei der allein 50 Millionen Tonnen CO₂-Einsparung erwartet werden. Aber auch im Gebäude und Industriesektor mit jeweils 15 Millionen Tonnen und im Verkehrssektor mit 10 Millionen Tonnen werden signifikante Emissionsreduktionen erwartet. Problematisch sei zu dem die Verwendung makroökonomischer Rahmendaten zu Bevölkerung, Wirtschaftswachstum, Rohstoff- und CO₂-Preise, die zum Teil nicht mehr aktuell seien. In der Darstellung der Emissionsentwicklung fuße der zudem auf den verifizierten Emissionsdaten des Jahres 2014, die vom Umweltbundesamt Anfang 2016 veröffentlicht wurden. Die Entwicklungen der Jahre 2015 und 2016 seien in dem Bericht nicht erfasst, so dass sich die im Bericht prognostizierte Emissionsminderung von 90 Millionen Tonnen im Business-as-usual-Szenario tatsächlich auf einen Modellzeitraum von sechs Jahren erstreckte, nicht auf vier. Vgl. Agora Energiewende; Patrick Graichen; Frank Peter; Philipp Litz. (2017). Das Klimaschutzziel von -40 Prozent bis 2020: Wo landen wir ohne weitere Maßnahmen? Eine realistische Bestandsaufnahme auf Basis aktueller Rahmendaten. 7.9.2017: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonens/Agora_Analyse_Klimaschutzziel_2020_07092016.pdf

Bereichen werde deutlich unterschätzt. Auf Basis neuerer Zahlen konstatiert Agora Energiewende: „Ohne weitere Maßnahmen“ würde Deutschlands Klimaschutzziel für 2020 deutlich verfehlt. „Der Ausstoß von Treibhausgasen wird im Business-as-Usual-Szenario bis 2020 gegenüber 1990 nicht um 35% zurückgehen, wie bisher von der Bundesregierung angenommen, sondern lediglich um **30-31%**.“²⁴ Es bleibe eine Lücke von rund 120 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2020 bis zum Ziel.

Laut einem Bericht der Süddeutschen Zeitung vom Oktober 2017 würden **interne Berechnungen des Umweltministeriums vom Herbst 2017** nun feststellen, dass „**ohne eine Nachsteuerung bis 2020** bestenfalls ein Minus von 32,5% zu erwarten wäre.“²⁵

3. Grünbuch Energieeffizienz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (2017)

Im Grünbuch Energieeffizienz, einem Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie vom August 2017²⁶ wird im Kapitel über **zentrale Herausforderungen der Energieeffizienz die Sektorkopplung (Kapitel 4.4)** thematisiert:

„Bei der Sektorkopplung bedient das Stromangebot die Nachfrage nach Energie in Haushalten (Wärme und Kälte) und Verkehr (Antrieb) sowie in Industrie und GHD (Wärme, Kälte und Antrieb). Sektorkopplung trägt zu den Zielen der Energiewende bei, wenn Strom aus erneuerbaren Energien energieeffizient eingesetzt wird und dadurch fossile Energieträger ersetzt werden. Sektorkopplung platziert marktbasierend neue reguläre Verbraucher am Strommarkt. Sie kann nachfrageseitige Flexibilität für den Strommarkt bereitstellen und dabei auch bei Netzengpässen systemdienlich wirken, sollte aber nicht als zielgerichtetes Instrument zur Abnahme von „Überschussstrom“ missverstanden werden. Für die energiewendetaugliche Sektorkopplung soll mittel- bis langfristig Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommen.“

These 8: Die Dekarbonisierung der Sektoren Privathaushalte, GHD, Industrie und Verkehr erfordert den Einsatz von Strom aus CO₂-freien, erneuerbaren Quellen.

Die Sektorkopplung ist erforderlich, um die weitgehende Dekarbonisierung in allen Sektoren möglichst effektiv und wirtschaftlich voranzubringen. Damit trägt sie im Zusammenspiel mit klassischen Energieeffizienzmaßnahmen und der direkten Erzeugung von Wärme und Antriebsenergie (z. B. durch Biomasse oder Solarthermie) zur Senkung von Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch bei. Allein durch Effizienzmaßnahmen und den direkten Einsatz erneuerbarer Energien in den einzelnen Sektoren lassen sich nach heutigem Kenntnisstand die jeweiligen Sektoren nicht dekarbonisieren. Um die Dekarbonisierung dennoch zu erreichen, ist der Einsatz von erneuerbarem Strom in allen Sektoren notwendig.

24 Agora Energiewende (2017).

25 Süddeutsche Zeitung vom 11.10.2017. Deutschland hinkt seinem Klimaziel hinterher: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/klimawandel-deutschland-hinkt-seinem-klimaziel-hinterher-1.3702329>

26 Grünbuch Energieeffizienz. Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (2017) https://www.bmbf.de/pub_https/gruenbuch_energieeffizienz.pdf (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

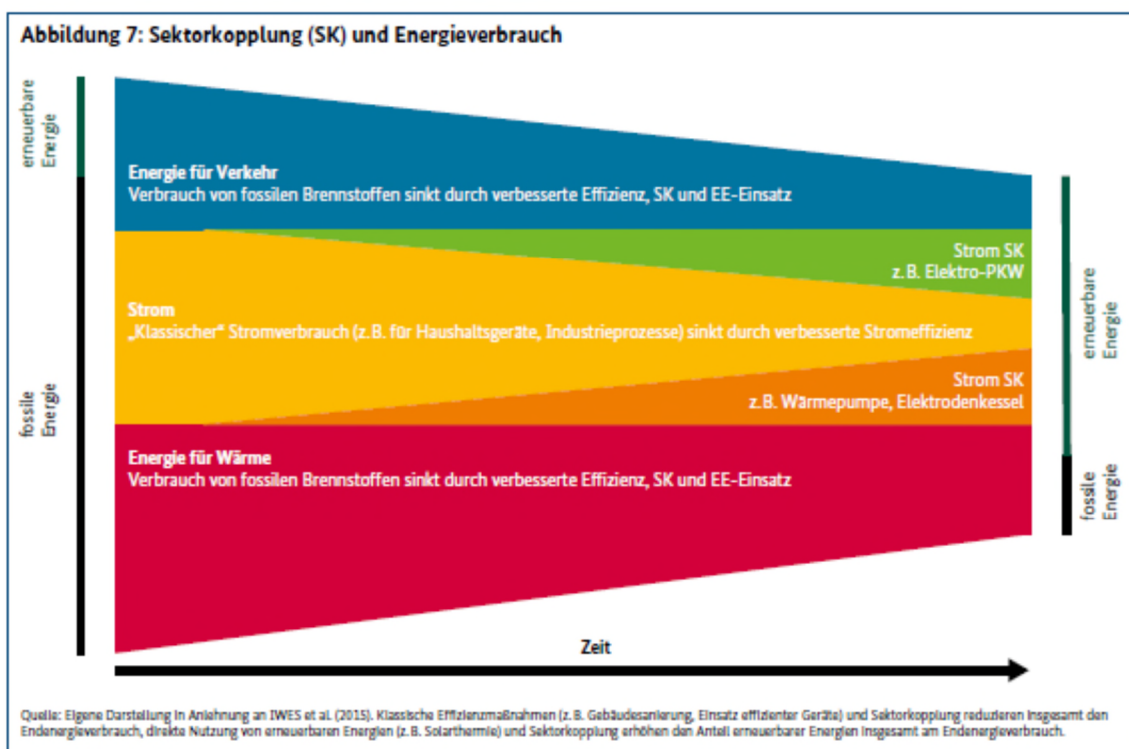
Es gilt, für den Prozess der zunehmenden Sektorkopplung frühzeitig geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen, damit die nötigen Anforderungen an Effizienz, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit erfüllt werden.

Leitfrage:

Gibt es Alternativen zur Nutzung von Strom aus CO₂-freien, erneuerbaren Quellen zur Dekarbonisierung der Sektoren Privathaushalte, GHD, Industrie und Verkehr?

These 9: Bei der Sektorkopplung werden vorrangig solche Technologien verwendet, die Strom effizient in Wärme, Kälte oder Antrieb umwandeln und somit mit wenig erneuerbarem Strom möglichst viele Brennstoffe ersetzen.

Auch Strom aus erneuerbaren Energien ist ein knappes Wirtschaftsgut und verursacht Flächen- und Ressourcenverbrauch sowie Kosten für Erzeugung, Verteilung (Netze) und Speicherung. Sinkt der Endenergiebedarf nicht, würde der Bedarf an erneuerbar generiertem Strom massiv ansteigen und die Gesamtkosten der Energiewende erhöhen.



Hinzu kommt, dass durch den vermehrten Einsatz von fluktuierenden erneuerbaren Energien auch der Bedarf von Flexibilität auf der Angebots- und Verbrauchsseite steigen kann.

Es gilt dabei der Grundsatz „Efficiency First“ als Planungsprinzip. Je geringer der Bedarf an Wärme in Industrie, GHD sowie Haushalten und je geringer der Bedarf an Antriebsenergie im Verkehrssektor ist, umso geringer ist auch der Bedarf an Energie aus erneuerbaren Energien, der

für diese Bereiche zur Verfügung gestellt werden muss, und damit die Kosten, die hieraus entstehen.

Bereits jetzt kommen vielfach stromnutzende Technologien zur Wärme- und Kälteerzeugung und zur Bereitstellung von Antriebsenergie zum Einsatz. Dabei sind zwei Arten möglich. Während zum Beispiel Klimaanlage oder elektrische Motoren Strom in Wärme, Kälte oder Antriebsenergie wandeln, erschließen andere mit Hilfe von Strom zusätzlich weitere erneuerbare Energien. So machen beispielsweise elektrisch betriebene Wärmepumpen Umweltwärme nutzbar.

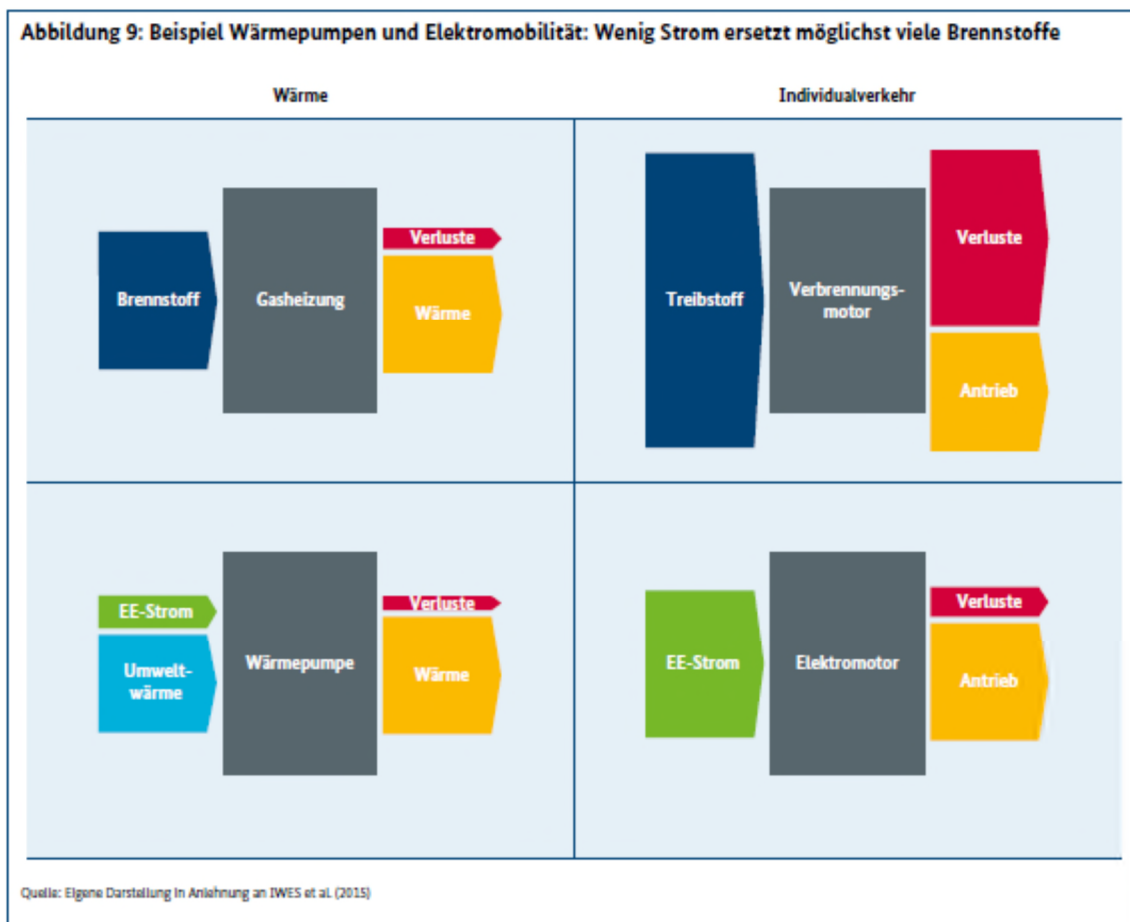
Nicht jede Sektorkopplungstechnologie, die Strom in Wärme, Kälte oder Antriebsenergie umwandelt, nutzt Strom gleich effizient. Insbesondere Technologien, die mehrere Umwandschritte voraussetzen, wie etwa die Umwandlung von Strom zunächst in Gas, das dann wiederum zur Wärmeerzeugung oder als Antriebsenergie genutzt werden soll, sind derzeit weniger effizient. Bei Anwendungen, die zur zusätzlichen Erschließung von erneuerbaren Energien führen, wie zum Beispiel Wärmepumpen, die Umweltwärme erschließen, wird der Dekarbonisierungseffekt durch den Einsatz von erneuerbar erzeugtem Strom weiter verstärkt. Aber auch zwischen den stromnutzenden Erzeugungstechnologien gibt es Unterschiede. So ist etwa die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen abhängig von der Art (Luft- oder Erd- Wärmepumpe), den berücksichtigten Qualitätsstandards, der Einstellung, dem Anwendungsgebiet (Nieder- oder Hochtemperatur) und der Temperatur der Wärmequelle der Wärmepumpe.

Abbildung 8: Darstellung verschiedener Sektorkopplungstechnologien

	Haushalte / GHD	Wärmenetze	Verkehr	Industrie	
Power-to-Heat	Wärmepumpen, direktelektrische Heizung	Großwärmepumpe, Elektrodenkessel		Prozesswärmeerzeugung in Elektrodenkesseln, Heizstab, Lichtbogen etc.	← Sektorkopplungstechnologien ← Substituierte Technologie und Energieträger
	Heizkessel (Erdgas und Heizöl)	Heizkessel (Erdgas und Heizöl)		Direktverbrennung (Erdgas)	
Power-to-Gas	Verbrennung in Heizkesseln und KWK-Anlagen	Verbrennung in Heizkesseln und KWK-Anlagen	Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor, Gasturbine	Prozesswärmeerzeugung, stoffliche Nutzung	
	Erdgas	Erdgas	Verbrennungsmotor (Benzin, Diesel, Erdgas)	Erdgas und Kohle	
Power-to-Liquid	Verbrennung in Heizkesseln		Verbrennungsmotor, Gasturbine	Stoffliche Nutzung	
	Heizöl		Verbrennungsmotor (Benzin, Diesel, Kerosin)	Erdöl-Derivate	
Direktelektrische Antriebe			Elektro-PKW, Elektro-Zweiräder, elektrisch betriebener leichter Nutzverkehr und Busse, Schienenverkehr, Oberleitungs-LKW, Oberleitungs-Busse Verbrennungsmotor (Benzin, Diesel, Erdgas)		
Strombasierte neue Verfahren				Neue Verfahren (Plasma etc.)	
				Diverse konventionelle Verfahren	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ifau und Fraunhofer ISI

Um den zusätzlichen Bedarf an erneuerbarem Strom und die damit verbundenen Kosten so gering wie möglich zu halten, sollten grundsätzlich die Technologien verwendet werden, die Strom effizient in Wärme, Kälte oder Antrieb umwandeln oder die mittels Strom möglichst viel erneuerbare Energien erschließen und somit mit wenig erneuerbarem Strom möglichst viele Brennstoffe ersetzen. Nach heutigem Kenntnisstand gilt dies vor allem für hocheffizient eingesetzte Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge. Beide benötigen vergleichsweise wenig Strom. Sie können einen großen Beitrag für die Dekarbonisierung und Effizienzsteigerung im Wärme- und Verkehrssektor leisten. Andere Technologien, wie zum Beispiel Elektrokessel und Heizstäbe oder Elektrolyseure (Power-to-Gas) kommen wegen ihres sehr viel höheren Strombedarfs nur zum Einsatz, wo (noch) keine effizienteren Technologien zur Verfügung stehen. Dies gilt etwa für die Deckung des Bedarfs an Hochtemperaturwärme in der Industrie. Auch bei sehr geringen Jahresnutzungsstunden oder einem nur sehr geringen Wärmebedarf kann unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten der Einsatz von weniger effizienten Technologien im Einzelfall sinnvoll sein. Im Verkehrssektor dürften synthetische Kraftstoffe wegen des um ein Vielfaches höheren Stromverbrauchs bei ihrer Herstellung derzeit insbesondere dort zum Einsatz kommen, wo die Verwendung von direkt elektrischen Antrieben technisch oder ökonomisch nicht sinnvoll ist. Gleichwohl sollte der Einsatz dieser innovativen Kraftstoffe in dem notwendigen umfassenden Ansatz zur Emissionsminderung im Verkehr sorgfältig mitbedacht werden.



Rahmenbedingungen und Instrumente müssen so gestaltet werden, dass technische, ökonomische oder politische Lock-in-Effekte zugunsten weniger effizienter bzw. weniger wirksamer Sektorkopplungstechnologien vermieden werden. Ein technologieneutraler Ansatz gewährleistet dabei, dass im Wettbewerb die effizienteste Technologie zuerst eingesetzt wird. Dabei gilt es, technologische Fortschritte, Investitionszyklen und Infrastrukturkosten zu beachten und für das Gesamtsystem eine Balance zwischen technischer und ökonomischer Effizienz zu erreichen, die es auch Unternehmen ermöglicht, Geschäftsmodelle zu verwirklichen. Auch eine verstärkte Erforschung und Erprobung innovativer Umwandlungstechnologien kann zu einer Verbesserung der Wirkungsgrade beitragen. Durch diesen ganzheitlichen Ansatz kann eine solche Entwicklung befördert werden.

Leitfragen:

1. Welche Instrumente sind geeignet, um bei der Sektorkopplung Pfadabhängigkeiten, die zu einer ökonomisch ineffizienten Nutzung von Strom führen, zu vermeiden?
2. Mit welchen konkreten Anwendungen und in welchem Umfang kann Sektorkopplung zur Dekarbonisierung beitragen?

These 10: Sektorkopplung bietet günstige nachfrageseitige Flexibilität zum Ausgleich des fluktuierenden Stromangebots aus erneuerbaren Energien.

Sowohl im Wärmebereich als auch im Verkehrssektor bestehen Potenziale für die Verschiebung und Zuschaltung von Lasten, um das fluktuierende Angebot aus erneuerbaren Energien relativ kostengünstig auszugleichen. Höhere Kosten entstehen derzeit durch die Umwandlung von Strom in andere Energieträger (z. B. Wasserstoff, Methan). Wärmespeicher können Energie zu einem Bruchteil der Kosten von anderen Technologien speichern. Im Verkehrsbereich können intelligente Ladestrukturen für Elektromobile Flexibilität ermöglichen. Diese Lastmanagementpotenziale können durch eine intelligente Ausgestaltung der Sektorkopplung genutzt werden. Somit werden Synergien zwischen der Sektorkopplung und dem Strommarkt 2.0 gehoben und die Kosten im Stromsektor für Flexibilitätsoptionen sowie damit letztlich auch die Gesamtkosten der Energiewende gesenkt. Sektorkopplungstechnologien sollten daher möglichst flexibel sein und, wo immer sinnvoll, im Zusammenspiel mit Speichern eingesetzt werden, damit sie entsprechend systemdienlich betrieben werden können.

Selbstverständlich muss die Nutzung von Sektorkopplungstechnologien in den einzelnen Sektoren nutzeradäquat ausgestaltet sein: Beispielsweise kann die Ladung von E-Mobilen nicht nur dann erfolgen, wenn das Stromangebot aus erneuerbaren Energien groß ist. „Mobilität“ muss dann verfügbar sein, wenn sie vom Verbraucher benötigt wird. Zusätzlich müssen Aspekte wie verfügbare Reichweite und Finanzierungsmodelle für die nötige Infrastruktur berücksichtigt werden. Auch im Wärmebereich ist eine nutzeradäquate Umsetzung maßgeblich: Verbraucher müssen Wärme und Kühlung nach ihrem eigenen Bedarf nutzen können und nicht nur in Momenten, in denen dies systemdienlich wäre. Dabei ist auch zu beachten, dass eine flexible Fahrweise von Produktionsprozessen zu Effizienzverlusten führen kann, aber auch positive Auswirkungen auf die Energieeffizienz haben kann.

Wenn der Einsatz von Sektorkopplungstechnologien möglichst systemdienlich erfolgt, schlägt sich dies in geringeren Gesamtsystemkosten nieder. Erfolgt der Einsatz hingegen nicht systemdienlich, können die Kosten für Netzausbau und -betrieb sowie Spitzenlastkapazität unnötig stark steigen. Durch die Sektorkopplung darf der Bedarf an Flexibilität nicht unnötig verstärkt werden. Der systemdienliche Einsatz wird im Strommarkt 2.0 über die Strompreissignale inklusive der Netzentgelte angereizt. Damit die Verbraucher auf Strompreissignale reagieren können, müssen gewisse Voraussetzungen erfüllt sein. Beispielsweise sollte die Anlagenauslegung eine gewisse Flexibilität erlauben, die Anlage sollte über entsprechende Schnittstellen bzw. Smart Meter steuerbar sein und der Stromliefervertrag sollte eine Reaktion auf das Strompreissignal ermöglichen. Inwiefern die Flexibilität dann im täglichen Betrieb genutzt wird, ergibt sich aus den Nutzerpräferenzen, Produktionsanforderungen und dem Wettbewerb der Flexibilitätsoptionen. Auf diese Weise können Sektorkopplung und die Erfordernisse des Strommarktes gemeinsam gedacht werden.

Leitfrage:

Wie kann gewährleistet werden, dass im Rahmen der Sektorkopplung die Bereitstellung von Flexibilität für den Strommarkt auf Basis effizienter Technologien erfolgt?

These 11: Jeder Sektor leistet einen angemessenen Beitrag zu den Kosten der Dekarbonisierung.

Sektorkopplung muss wirtschaftlich erfolgen, d. h. die gesamt- und betriebswirtschaftliche Kosteneffizienz ist zu berücksichtigen. Sie bietet die Chance, Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch sowie durch zusätzliche Flexibilitätspotenziale die volkswirtschaftlichen Kosten der Energiewende insgesamt zu senken. Davon profitieren alle Wirtschaftsakteure. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sollten Energieverbrauchsreduktionen und Treibhausgas-Minderungen durch die kosteneffizienteste Vermeidungsoption für den jeweiligen Anwendungsbereich erreicht werden. Dabei gilt es, das Gesamtsystem zu berücksichtigen. Insbesondere bei der Abwägung der Notwendigkeit staatlicher Fördermaßnahmen für die Markteinführung spezifischer Technologien – durch direkte Förderung oder durch Ausnahmetatbestände – ist dies zu berücksichtigen. Grundsätzlich sollte bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen ein technologieoffener und flexibler Ansatz verfolgt werden. Dabei ist zu beachten, dass ein Lock-in in ineffiziente Sektorkopplungstechnologien vermieden wird. Die Entscheidung zwischen den Dekarbonisierungsoptionen wird durch die Marktakteure auf Basis des Preises getroffen. Dies setzt voraus, dass staatlich induzierte Preisbestandteile fossiler und erneuerbarer Energieträger die relevanten Kosten widerspiegeln und energiewendetaugliche Entscheidungen begünstigen.

Damit die notwendigen Investitionen realisiert werden, muss der Einsatz von Sektorkopplungstechnologien auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht realisierbar sein. Das heißt, deren Verwendung muss für die Nutzer selbst wirtschaftlich sein. Dafür muss eine Refinanzierung der Investitionen auf Basis solider Geschäftsmodelle erfolgen können und Planungssicherheit bestehen. Aus Gründen der Verteilungsgerechtigkeit ist es von zentraler Bedeutung, dass die jeweiligen Sektoren einen fairen Beitrag zu den Kosten der Dekarbonisierung liefern. Daher müssen Lösungen gefunden werden, wie auch die Sektoren Privathaushalte, GHD, Industrie und Mobilität, die Strom einsetzen, einen Beitrag zur Umstellung der Stromerzeugung von fossilen auf erneuerbare Quellen leisten.

Leitfragen:

1. Mit welchen Instrumenten können frühzeitig Investitionen in technisch und ökonomisch effiziente und flexible Infrastrukturen (z. B. aus erneuerbaren Energien gespeiste effiziente Wärmenetze) angestoßen werden?
2. Wie können in den verschiedenen Sektoren die Wettbewerbsbedingungen zwischen erneuerbarem Strom und fossilen Brennstoffen verbessert werden? Und wer sollte diese wann festlegen?²⁷
4. **Analyse (2017) der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Sektorkopplung – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems²⁸**

Ausgangspunkt der Analyse der acatech war die These, dass die Energiewende mehr sein müsse als nur eine Stromwende: „Denn ihr wichtigstes Ziel, die drastische Absenkung der Treibhausgasemissionen der Energieversorgung, ist nur erreichbar, wenn die Emissionen in allen Verbrauchssektoren signifikant reduziert werden. Wie kann dies bei der Wärmeversorgung des Gebäudebereichs gelingen, wo heute immer noch überwiegend fossile Energieträger – Erdgas und Heizöl – eingesetzt werden? Und wie im Bereich der Mobilität, die dominant auf fossilen Kraftstoffen basiert? Welche Möglichkeiten bieten sich in der Industrie, wo ebenfalls heute die meisten Prozesse fossile Energieträger nutzen? Und gibt es dafür übergreifend wirkende Entwicklungen und Rahmenbedingungen?“²⁹

4.1. Sektorkopplung als Chance der Optimierung

Nach der Beschreibung der Ausgangslage, nämlich des Energiesystems in Deutschland heute, einer Übersicht über die wichtigsten Energieträger, die Anforderung der Sektoren (originäre Stromanwendungen, Niedertemperaturwärme, Prozesswärme und andere Energieträger in der Industrie, Verkehr) und aktuellen Trends im Energiesystem (Wärme, Strom, Verkehr, Gesamtbeachtung und Vergleich mit den Zielen der Energiewende) widmet sich das dritte Kapitel den Optionen zur Optimierung des Gesamtsystems – Sektorkopplung als Chance:

„Sektorkopplung zielt vor allem darauf ab, Strom aus erneuerbaren Energien (insbesondere Windkraft und Photovoltaik) in großem Umfang im Wärme- und Verkehrssektor sowie in der Industrie zu nutzen. Dabei kann Strom direkt als Endenergie eingesetzt werden, im Falle der Elektromobilität beispielsweise im Elektromotor (mit Batterie) oder im Falle der Beheizung von Gebäuden durch Wärmepumpen. Oder er kann dazu genutzt werden, andere Energieträger wie Was-

27 Ebd. S. 29-34.

28 acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Sektorkopplung« – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems (November 2017) https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/pdf/ESYS_Analyse_Sektorkopplung.pdf (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

29 Ebd. S. 3.

serstoff oder synthetische Brenn- und Kraftstoffe herzustellen. Im ersten Fall ist die Rede von einer direkten Elektrifizierung, im zweiten Fall von einer indirekten Elektrifizierung, da der Strom nicht als Endenergie genutzt wird.

Ähnliches wie für den Strom aus Wind- und Solarenergie gilt insofern auch für die Biomasse, als eine Nutzung in unterschiedlichen Sektoren möglich ist: Biomasse kann direkt durch Verbrennung für die Wärmebereitstellung genutzt oder in flüssige oder gasförmige Energieträger umgewandelt werden, die wiederum in unterschiedlicher Weise, zum Beispiel als Biokraftstoffe im Verkehrssektor, verwendet werden können. Auch für die tiefe Geothermie gilt grundsätzlich Ähnliches, mit allerdings deutlich kleineren Potenzialen. Solarthermie kann dagegen – zumindest unter den Strahlungsbedingungen in Deutschland – nur der direkten Wärmebereitstellung dienen und so zur Minderung der Verwendung fossiler Brennstoffe und der damit verbundenen Emission von Treibhausgasen beitragen. Im Sinne einer nachhaltigen Gestaltung des Gesamtsystems muss daher auch der mögliche Beitrag dieser Energieträger und ihr Zusammenspiel im Rahmen der Sektorkopplung analysiert werden. Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass bei Biomasse und tiefer Geothermie eine bedarfsgerechte Verfügbarkeit gegeben ist.

Parallel zur Sektorkopplung sind Energieeinsparungen beim Energieverbrauch und Energieeffizienz von großer Bedeutung, Letztere sowohl im Gesamtenergiesystem als auch bei einzelnen Technologien und in den Umwandlungsketten. Energieeinsparungen werden durch unterstützende Technologien und Technologieweiterentwicklungen sowie durch geändertes Verbraucherverhalten bewirkt. Sie können durch geeignete wirtschaftliche Anreize und regulatorische Rahmenbedingungen in die Wege geleitet und forciert werden. Obwohl sie für das Erreichen der ambitionierten Ziele und damit für das Gelingen der Energiewende von herausragender Bedeutung sind, können sie hier nicht weiter diskutiert werden. Gleiches gilt für die Energieeffizienz. Obwohl sie auch nicht Thema dieser Analyse ist, wird sie im nächsten Unterkapitel kurz angeschnitten, um ihre Bedeutung für den Erfolg der Energiewende herauszustellen und ihre Einordnung in Bezug auf die Sektorkopplung zu gewährleisten. Abschnitt 3.2 blickt dann auf die Industrie und untersucht deren Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen. In den weiteren Unterkapiteln werden dann die verschiedenen Sektorkopplungstechnologien im Detail betrachtet, Potenziale abgeschätzt sowie Herausforderungen und Hemmnisse benannt.“³⁰

Nach einem Kapitel über die Sektorkopplung in wissenschaftlichen Energie- und Klimaschutzszenarien und einem Kapitel mit Modellrechnungen - einer quantitativen Untersuchung wichtiger Systemzusammenhänge - werden im sechsten Kapitel die politischen Rahmenbedingungen – Regulierungen, Märkte, Infrastrukturen – thematisiert. Im Einzelnen geht es um die Preisierung von CO₂ in der EU, die Auswirkungen eines einheitlichen CO₂-Preissignals für die deutsche Energiewende, energiebezogene Steuern, Abgaben und Umlagen in Deutschland, Auswirkungen heterogener Regulierung auf die Sektorkopplung, Strompreise und ihre Bedeutung für die Sektorkopplung, die Bereitstellung von Infrastrukturen und den Umgang mit Unsicherheiten und disruptiven Entwicklungen.

4.2. Fazit und Schlussfolgerungen

Das **Fazit der Studie** lautet wie folgt:

„Die Energiewende ist ein ambitioniertes gesellschaftliches – in seiner Dimension vielleicht mit der deutschen Wiedervereinigung vergleichbares – Großprojekt, das einen substanziellen Umbau des deutschen Energieversorgungssystems bedingt. Sie erstreckt sich über mehrere Generationen, geht weit über eine Änderung der Techniken zur Stromerzeugung hinaus und hat Einfluss auf viele Lebensbereiche. Die vorliegende Analyse des Energiesystems und seiner potenziellen zukünftigen Entwicklungen zu einem integrierten Gesamtsystem hat wichtige Erkenntnisse hervorgebracht, die nachfolgend in zwölf knapp gefassten Thesen zusammengefasst werden. Basierend auf den bisherigen Beschlüssen des Bundestags einschließlich des Ausstiegs aus der Kernenergie sowie der Ziele der Bundesregierung zur Minderung der Treibhausgasemissionen werden verschiedene Optionen für die Zukunft (Zeitraum: 2017 bis 2050) entwickelt. Dabei werden die drei Hauptziele der Energiewende – Klimaschutz, Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit – im Gegensatz zur Realität klar priorisiert, weil man nur mit dieser Prämisse zu aussagekräftigen Ergebnissen kommt:

1. Vorrang hat die Erreichung der Klimaziele als Hauptmotivation für die Energiewende.
2. Die Versorgung muss wie bisher vollständig gesichert sein, da sonst die Akzeptanz der Energiewende infrage steht.
3. Alle möglichen Maßnahmen zur Erreichung dieser beiden Hauptziele werden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit optimiert.

Unter diesen Voraussetzungen kommt die Analyse zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Trotz beeindruckender Fortschritte in den vergangenen Jahren lässt sich heute (Mitte 2017) durch Extrapolation der bisherigen Entwicklungen bereits klar absehen, dass die meisten **Einzelziele der Energiewende** teilweise sehr signifikant **verfehlt werden**, wenn keine substanziellen Veränderungen stattfinden.
2. Diese notwendigen Veränderungen erfordern eine **systemische Betrachtung und ganzheitliche Optimierung des Energiesystems** und darauf abgestimmt einen Umbau beziehungsweise eine Weiterentwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen. Insbesondere müssen die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr gekoppelt und gemeinsam optimiert werden („**Sektorkopplung**“).
3. Wenn die ehrgeizigen, zuletzt in Paris international vereinbarten Klimaziele erreicht werden sollen, muss der Ausbau der erneuerbaren Energien **Windkraft und Photovoltaik stark erhöht** werden. Je nach Reduktionszielen ist eine bis zu siebenfache Steigerung erforderlich. Die damit und mit dem korrelierten Ausbau der Stromnetze verknüpften **Akzeptanzprobleme** stellen eine große Herausforderung an die Politik dar.
4. Lediglich eine drastische **Senkung des Energieverbrauchs** durch Erhöhung der Effizienz und durch Einsparungen, eine verstärkte Nutzung weiterer erneuerbarer Energien wie **Biomasse, Solarthermie und Geothermie** sowie der Import erneuerbarer, synthetischer Brenn- und Kraftstoffe

kann den genannten Ausbaubedarf an Windkraft und Photovoltaik signifikant verringern helfen. Allerdings sind in den nächsten drei Fortschritte erforderlich als bisher.

5. Trotz des starken Ausbaus der fluktuierenden erneuerbaren Energien Windkraft und Photovoltaik werden auch in Zukunft **konventionelle thermische Kraftwerke** (Gas sowie Gas-und-Dampf-Kraftwerke) mit insgesamt vergleichbarer Kapazität wie heute benötigt, um die **Versorgungssicherheit** auch in Zeiten sogenannter „kalter Dunkelflauten“ zu gewährleisten. Allerdings erfordern Investitionen und Betrieb dieser Kraftwerke **neue Finanzierungsmodelle** und somit **neue Marktrahmenbedingungen**, da sie nur noch für vergleichsweise wenige Betriebsstunden pro Jahr benötigt werden und somit unter den gegenwärtigen Bedingungen nicht wirtschaftlich betrieben werden können.

6. Zusätzlich zu den Reservekraftwerken werden verschiedene Typen von **Energiespeichern** benötigt, um Systemdienstleistungen zu übernehmen, Spitzen von Verbrauch und Angebot abzufedern und die Gesamtkosten zu minimieren. Je nach CO₂-Einsparzielen (zwischen 60 und 90 Prozent Reduktion) bedarf es bis 2050 **Batterien** (insgesamt 20 bis 65 Gigawattstunden) und **thermischer Speicher** (1,2 bis 2,5 Terawattstunden) sowie **Elektrolyseure** zur Wasserstoffherzeugung (Kapazität von 15 bis 30 Gigawatt) und **Synthesanlagen** zur Umwandlung von Wasserstoff in synthetische Gase und Kraftstoffe (Kapazität von 15 bis 45 Gigawatt).

7. Die Entwicklung entsprechender Märkte sowie der Aufbau von Produktionsanlagen und Infrastrukturen im erforderlichen Umfang brauchen Jahrzehnte. Damit die verabschiedeten Klimaschutzziele erreicht werden können, muss deshalb **zügig mit diesem Aufbau begonnen** werden. Wird verzögert oder nicht mit hinreichender Intensität begonnen, drohen Kostensteigerungen und Kapazitätsengpässe in den nächsten Phasen der Energiewende, oder die Klimaschutzziele werden nicht erreicht.

8. Voraussetzung hierfür ist die Schaffung **geeigneter gesetzlicher** und zusätzlicher **regulatorischer Rahmenbedingungen** beziehungsweise der Umbau des bisherigen regulatorischen Rahmens. Da die dazu erforderlichen demokratischen Prozesse aufwendig und zeitintensiv sind und die Bürgerinnen und Bürger eingebunden und überzeugt werden sollten, müssten diese Prozesse zeitnah auf den Weg gebracht werden.

9. Die Umsetzung der erforderlichen ganzheitlichen Transformation des Energiesystems erscheint unwahrscheinlich, wenn es nicht gelingt, die Vielfalt der sektorspezifischen Regulierungen drastisch zu reduzieren und zu vereinheitlichen. Aus ökonomischen Gründen bietet sich als vernünftigste Lösung ein **einheitlicher Preis für CO₂-Emissionen** an, wobei ein deutlich verbessertes, alle Sektoren umfassendes Europäisches Emissionshandelssystem oder eine einheitliche CO₂-Steuer oder eine Mischform mit einem Preiskorridor zur Auswahl stehen. Es ist wahrscheinlich, dass der einheitliche CO₂-Preis durch **Zusatzmaßnahmen** flankiert werden muss, um beispielsweise soziale oder wirtschaftspolitische Schieflagen zu vermeiden oder Marktversagen auszugleichen.

10. Natürlich ist die Energiewende mit großem Aufwand und **hohen Kosten** verbunden. Während bei einem eher bescheidenen CO₂-Einsparziel von 60 Prozent (2050 im Vergleich zu 1990) kaum höhere Gesamtkosten zu erwarten sind als bei Extrapolation der heute absehbaren Gesamtkosten bei konstanten Energiepreisen, steigen die Gesamtkosten mit zunehmendem CO₂-Reduktionsziel überproportional an. Falls beispielsweise 2050 ein CO₂-Reduktionsziel von 85 Prozent erreicht werden soll, sind Gesamtmehrkosten von gut 2 Billionen Euro über gut dreißig Jahre zu erwarten.

Diese Kosten verringern sich deutlich, wenn der **Energieverbrauch** durch mehr Effizienz und Einsparungen **drastisch gesenkt** werden kann.

11. Die angegebenen Kosten sind makro-ökonomische systemische Mehrkosten, die keine externen Kosten enthalten. Außerdem sind volkswirtschaftliche Effekte wie die Schaffung lokaler **Wertschöpfung und Beschäftigungseffekte** ebenso wenig berücksichtigt wie die technologischen Chancen, die das Großprojekt Energiewende eröffnet. Gerade ein Hochtechnologieland wie Deutschland, dessen Wirtschaft stark vom Technologieexport abhängt, sollte jedoch das Ziel verfolgen, führend in der **Entwicklung von Technologien** zu sein, denen aller Voraussicht nach weltweit eine wachsende Bedeutung zukommen wird.

12. Während die Klimaschutzziele als globale Herausforderung eigentlich alle Nationen adressieren, wird der Umbau des Energiesystems in den einzelnen Ländern und Regionen eher als lokale Aufgabe angesehen. Das trifft insbesondere auch auf die deutsche Energiewende zu. Dabei wäre ein sehr viel stärkeres **gemeinsames Vorgehen** zumindest **in Europa** höchst wünschenswert, weil dadurch Synergien entstehen könnten. Diese könnten durch Aufgabenteilung und Optimierung zu Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen führen und letztlich den Gemeinschaftsgedanken fördern.“

5. dena-Leitstudie (2018) : Integrierte Energiewende³¹

Zusammen mit rund 60 Partnern aus Wissenschaft, Politik und unterschiedlichen Wirtschaftszweigen und Sektoren hat sich diese am 4. Juni 2018 veröffentlichte Studie zum Ziel gesetzt, mögliche Transformationspfade zu einem klimafreundlichen Energiesystem im Jahr 2050 zu identifizieren. Sie untersucht den Einfluss der Sektoren Strom, Gebäude, Verkehr und Industrie und ihre gegenseitigen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten, um eine Gesamtstrategie über alle Sektoren ableiten zu können. Fazit:

„Die Integrierte Energiewende beinhaltet viel mehr als Sektorkopplung. Es geht um das komplexe Zusammenspiel von verschiedenen Infrastrukturen und Märkten, von Kundenverhalten, regulatorischen Rahmenbedingungen und einer Vielzahl neuer Technologien und Geschäftsmodelle, die über die einzelnen Sektoren hinweg wirken. Das heißt auch: Wir müssen uns von manchen, eher einfachen Vorstellungen aus der Vergangenheit verabschieden. Energiewende muss grundsätzlich neu gedacht werden, insbesondere der gegenwärtige politische Rahmen.“³²

Die dena-Leitstudie gibt zahlreiche Handlungsempfehlungen. Die zentralen Ergebnisse der Studie werden darüber hinaus in elf Fragen und Antworten kurz zusammengefasst.³³ In der Executive Summary der Kurzfassung heißt es u.a.:

31 dena-Leitstudie (2018): Integrierte Energiewende https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9262_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_Ergebnisbericht.pdf Langfassung der Studie: https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

32 Andreas Kuhlmann: Vorwort der dena-Leitstudie. Ebd. S. 5.

33 Vgl. <https://www.dena.de/de/integrierte-energiewende/> (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

5.1. Executive Summary der Studie

„Eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 80 Prozent und auch um 95 Prozent bis 2050 ist grundsätzlich erreichbar. Dies setzt aber deutlich weiter gehende Maßnahmen als bisher geplant in allen Sektoren voraus, befördert durch ein hohes Engagement aller Beteiligten, passende politische Rahmenbedingungen sowie einen Diskurs über die Verteilung der Kosten der Energiewende. Ein „Weiter so“ reicht nicht aus: Selbst bei einer anspruchsvollen Fortschreibung aktueller Entwicklungen, beispielsweise beim Zubau der erneuerbaren Energien, würde nur eine Treibhausgasreduzierung von rund 62 Prozent im Jahr 2050 erreicht. Da sich die möglichen Transformationspfade und damit verbundene Treibhausgasreduzierungen in den Sektoren bereits 2030 deutlich unterscheiden und der obere Rand des Korridors sehr weitreichende Strategien erfordert, muss in dieser Legislaturperiode eine Entscheidung zu den angestrebten Klimazielen fallen. Nur so kann in den einzelnen Sektoren rechtzeitig die Entwicklung und breite Markteinführung der notwendigen neuen Technologien starten.“³⁴

Weiter heißt es: „Eine Senkung des Endenergieverbrauchs durch umfassende Energieeffizienzanstrengungen in allen Sektoren (Effizienzgewinne allein in der Industrie 26 bis 33 Prozent bis 2050) sowie der Ausbau erneuerbarer Energien sind Grundvoraussetzung zur Erreichung der Klimaziele. Dritter entscheidender Faktor sind synthetische erneuerbare Energieträger, die zum Großteil nach Deutschland importiert werden. Sie decken im Jahr 2050 zwischen 150 und 900 Terawattstunden jährlich (TWh/a) in allen Anwendungsbereichen ab, die sich durch eine direkte Nutzung erneuerbaren Stroms nicht oder nur schwer von Emissionen befreien lassen. Diese „Green PowerFuels“ schließen zugleich Lücken, die perspektivisch durch Umsetzungshemmnisse entstehen können (zum Beispiel Akzeptanz für neue Windenergieanlagen).“³⁵

Zu den Rahmenbedingungen für die Wirtschaft ist zu lesen: „Ein nachhaltiges Energiesystem in Deutschland benötigt die Ausgleichsmöglichkeiten eines weiterentwickelten europäischen Strombinnenmarkts, einen internationalen Handel für synthetische erneuerbare Energieträger und die weitere Kostendegression bei zentralen Energiewendetechnologien durch globale Nachfrage. Die Energiewende kann nur gelingen, wenn sie auch industrie- und wirtschaftspolitisch ein Erfolg ist. Dafür braucht es einerseits Instrumente zum Schutz der deutschen Industrie vor Wettbewerbsnachteilen aufgrund im internationalen Vergleich höherer deutscher Klimaschutzanforderungen (Carbon-LeakageSchutz) und internationale Vereinbarungen für den globalen Handel. Andererseits bietet der weltweit wachsende Bedarf an Energiewendetechnologien auch Exportchancen für die deutsche Wirtschaft.“³⁶

Im Hinblick auf die **Kosten verweisen die Autoren der Studie auf die „Systemgrenzen“, die begrenzte Aussagemöglichkeiten der Szenarioanalyse:** „Eine wichtige Grenze der Studie besteht bezüglich der möglichen Aussagen zu den Kosten der Energiewende. Untersucht wurden die

34 dena-Leitstudie (2018): Integrierte Energiewende https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9262_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_Ergebnisbericht.pdf, S. 6. (zuletzt aufgerufen am 18.6.2018)

35 Ebd.

36 Ebd. S. 7.

Mehrkosten verschiedener Transformationspfade im Energiesektor und in den energieverbrauchenden Sektoren zum Erreichen der Klimaziele im Vergleich zu einem nicht zielerreichenden Referenzszenario. Auf dieser Basis können die Transformationspfade bewertet und verglichen werden, es können aber keine Aussagen zum Kostenoptimum des Gesamtsystems gemacht werden.

Es war im Rahmen der dena-Leitstudie außerdem nicht möglich, die Investitionen im Industriesektor realistisch abzuschätzen. Zum einen sind die Anlagen im industriellen Bereich meist sehr individuell ausgelegt; es lassen sich deshalb kaum Standardinvestitionskosten bestimmen. Zum anderen handelt es sich teilweise um Technologien, die noch zu entwickeln sind oder deren weitere Entwicklung mit Unsicherheiten behaftet ist. Eine wissenschaftlich fundierte Benennung der notwendigen Investitionskosten ist nicht möglich. Ebenso wenig können im Rahmen der Studie Aussagen über die positiven volkswirtschaftlichen Effekte einer erfolgreichen Energiewende getroffen werden, beispielsweise wie viele Arbeitsplätze durch die Investitionen entstehen, wie sich die Wertschöpfung der deutschen Industrie entwickelt oder welche Folgekosten für Mensch und Umwelt vermieden werden.

Alle ermittelten Kosten zur Transformation des Energiesystems wurden aus volkswirtschaftlicher Perspektive betrachtet. Es wurde nicht geprüft, ob sich Maßnahmen aus einzelwirtschaftlicher Perspektive lohnen und welche Verteilungswirkungen entstehen. Für eine Bewertung der Transformationspfade und deren gesellschaftlicher und gesamtwirtschaftlicher Wirkungen müssen sich weitere Studien anschließen. Hierin könnten dann die betriebswirtschaftliche Umsetzung der Transformation und die konkreten Auswirkungen auf die Bürger, speziell auf die Wohn- und Energiekosten, aber auch zu Beschäftigungseffekten und inländischer Wertschöpfung, untersucht werden. Solch eine weiterführende Analyse wäre maßgeblich für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende, die letztlich durch die Einzelakteure, also durch die Unternehmen und privaten Verbraucher vollzogen wird.³⁷

5.2. Zentrale Erkenntnisse der Studie, hier: Rahmenbedingungen und Investitionen für eine integrierte Energiewende³⁸

Zur Frage, welche **Rahmenbedingungen und Investitionen** eine integrierte Energiewende benötigt, verweisen die Autoren auch auf den **internationalen Kontext**: „Der Erfolg der Energiewende in Deutschland ist stark davon abhängig, dass die Energiewende auch international erfolgreich ist. Erstens ist das zukünftige deutsche Energiesystem weiterhin in den europäischen Energiebörsenmarkt integriert und eng mit den internationalen Energiemärkten verbunden. Energieautarkie ist kein Ziel der Energiewende. Deutschland benötigt nicht nur eine hohe inländische Erzeugung erneuerbarer Energien, sondern auch den intensiven Stromaustausch mit dem europäischen Ausland – je nach Szenario und Jahr beträgt der Importsaldo zwischen –62 und +155 TWh/a¹ – sowie Importe klimafreundlicher synthetischer Energieträger aus dem europäischen und außereuropäischen Ausland in Höhe von 25 bis 744 TWh/a in 2050.

37 Ebd. S. 11.

38 Übersicht der elf Kapitel vgl. ebd. S. 12.

Zweitens hängt die zeitnahe und kostengünstige Verfügbarkeit von Energiewendetechnologien davon ab, dass internationale Märkte für sie entstehen. Neue Technologien werden nicht nur von deutschen Unternehmen und auch nicht nur für Deutschland als alleinigen Absatzmarkt entwickelt. Um die notwendigen Kostendegressionen zu erreichen, müssen internationale Märkte für Energiewendetechnologien entstehen.

Drittens benötigen Industriebranchen und Produktkategorien, die im internationalen Wettbewerb stehen, verbindliche Handelsvereinbarungen, damit die Klimaschutzpolitischen Anforderungen an Unternehmen unterschiedlicher Länder ausgeglichen werden.³⁹

Zu den **möglichen Investitionskosten für die verschiedenen Szenarien:**

„Ein breiter Technologiemarkt führt zu geringeren Mehrkosten.

Die in der dena-Leitstudie modellierten Szenarien, die den Zielkorridor von 80 bis 95 Prozent weniger CO₂-Emissionen bis 2050 erreichen, erfordern erhebliche Mehrinvestitionen im Vergleich zu einem Referenzszenario, das die CO₂-Emissionen nur um 62 Prozent reduziert. Diese zur Erreichung der Klimaziele notwendigen Investitionen öffnen vielfältige Chancen für diejenigen Unternehmen, welche die dafür erforderlichen neuen Produkte und Dienstleistungen mit innovativen Technologien und Geschäftsmodellen erfolgreich anbieten. Andere Unternehmen dagegen würden in diesen Szenarien besonderen Herausforderungen gegenüberstehen.

Die geringsten Mehrkosten entstehen in dem Szenario, welches das 80-Prozent-Ziel in einem Energiesystem mit breitem Technologiemarkt erfüllt; kumuliert bis zum Jahr 2050 belaufen sie sich auf etwa 1,2 Billionen Euro.³ Am höchsten sind die Mehrkosten mit 2,2 Billionen Euro in dem Szenario, das das 95-Prozent-Ziel in einem Energiesystem mit einem hohen Grad an strombasiereten Anwendungen in allen Sektoren erreicht. Ein Energiesystem mit einem Mix unterschiedlicher Energieträger, -infrastrukturen und -anwendungen (einschließlich bereits weitreichenden Einsatzes strombasierter Anwendungen) ist also kostengünstiger als ein System mit einem in allen Verbrauchssektoren besonders hohen Anteil an Elektrifizierung.

In den das Klimaziel erreichenden Szenarien betragen die Kapitalkosten für Investitionen in Energieeffizienz und die Umstellung von Anwendungstechnologien bis 2050 insgesamt 1,1 bis 1,9 Billionen Euro. Hierzu gehören Investitionen in Gebäudesanierungen und Heizungen, neue Fahrzeuge und Verkehrsinfrastrukturen wie Ladesäulen sowie in Kraftwerke, Power-to-X-Anlagen und Erneuerbare-Energien-Anlagen. Hinzu kommen beispielsweise die Kosten für den weiteren, über die heutige Planung hinausgehenden Stromnetzausbau in Höhe von 80 bis 110 Milliarden Euro auf Übertragungsnetzebene sowie 140 bis 250 Milliarden Euro auf Verteilnetzebene.⁴ In den 95-Prozent-Szenarien bedingt die Nutzung von klimafreundlichen synthetischen Brenn- und Kraftstoffen weitere Kosten von 450 bis 810 Milliarden Euro. Die kumulierten Mehrkosten reduzieren sich dagegen um 670 bis 790 Milliarden Euro aufgrund eingesparter Mehrkosten für Primärenergie wegen der gesteigerten Energieeffizienz.

Die hier ermittelten Mehrkosten für die 80- und 95-ProzentSzenarien beziehen sich lediglich auf Energieerzeugung, inklusive Verteilung und Speicherung sowie Importe und Energieverwendung, inklusive der Investitionen in Energieeffizienz und Umstellung von Anwendungstechnologien. Auswirkungen auf Arbeitsplätze oder industriepolitische Effekte wie auch das Entstehen neuer Geschäftsmodelle für den nationalen oder internationalen Markt wurden nicht untersucht. Die Modellierungen der dena-Leitstudie lassen also keine volkswirtschaftlichen Aussagen zu. Ebenso wenig lassen sich einzelwirtschaftliche Bewertungen vornehmen oder Aussagen über die Kostenverteilung auf die Bürgerinnen und Bürger und die Sozialsysteme treffen.

Auch die spezifisch zur Erreichung der Energiewendeziele notwendigen Investitionskosten der Industrie sind nicht quantifiziert. Diese Mehrinvestitionen müssten allen Szenarien entsprechend zugerechnet werden und die Kostendifferenz zwischen den Technologiemix- und den Elektrifizierungsszenarien würde sich tendenziell eher vergrößern.

Investitionsbedarf erstreckt sich über alle Sektoren.

Die zuvor geschilderten zusätzlichen Kapitalkosten gegen- über dem Referenzszenario von 1,1 bis 1,9 Billionen Euro für eine erfolgreiche Energiewende bis 2050 veranschaulichen die Dimension des Investitionsbedarfs zur Zielerreichung über die Jahre hinweg. Besonders sichtbar wird dies im Gebäudebereich. Hier beträgt der zusätzliche Investitionsbedarf rund 450 Milliarden Euro in den Technologiemixszenarien und bis zu 1 Billion Euro, wenn auf einen hohen Grad an Elektrifizierung gesetzt wird. Ein entscheidender Faktor ist die jährliche Sanierungsrate. Sie variiert von 1,4 Prozent im Technologiemixszenario bis rund 2 Prozent im Elektrifizierungsszenario. Alle Sektoren zusammengerechnet erreichen die durchschnittlichen jährlichen Mehrinvestitionen 30 Milliarden Euro im günstigsten und bis zu 50 Milliarden Euro im investitionsintensivsten Szenario.⁴⁰

* * *