



ABSCHLUSSBERICHT ZUM ENAVI-SCHWERPUNKT WÄRMEWENDE

SEKTORKOPPLUNG, NUTZERINTEGRATION & FLEXIBLE, INTELLIGENTE STEUERUNG

GEFÖRDERT VOM



IMPRESSUM

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstraße 2

79110 Freiburg

Tel +49 (0) 7614588-0

Fax: +49 (0) 7614588-9000

www.ise.fraunhofer.de

Verantwortliche Redakteure

Christoph Kost: Christoph.Kost@ise.fraunhofer.de

Christoph Schick: Christoph.Schick@ier.uni-stuttgart.de

Benjamin Grosse: grosse@tu-berlin.de

Johannes Kochems: kochems@tu-berlin.de

Autoren

Denise Albert: denise.albert@ikem.de

Katiryna Basinkevich: Katiryna.Basinkevich@iass-potsdam.de

Ruben Bischler: bischler@mpa-ifw.tu-darmstadt.de

Julian Brandes: Julian.Brandes@ise.fraunhofer.de

Sophia Büermann: Sophia.Bueermann@iass-potsdam.de

Stefan Fidaschek: stefan.fidaschek@zsw-bw.de

Tobias Fleiter: Tobias.Fleiter@isi.fraunhofer.de

Hannes Gaschnig: hannes.gaschnig@iass-potsdam.de

Robert Germeshausen: robert.germeshausen@zew.de

Joachim Globisch: Joachim.Globisch@isi.fraunhofer.de

Benjamin Grosse: grosse@tu-berlin.de

Judith Heilig: Judith.Heilig@ise.fraunhofer.de

Philipp Jahnke: philipp.jahnke@bbh-beratung.de

Johannes Kochems: kochems@tu-berlin.de

Christoph Kost: Christoph.Kost@ise.fraunhofer.de

Joachim Müller-Kirchenbauer: sekretariat@er.tu-berlin.de

Laura Nitsch: laura.nitsch@bbh-beratung.de

Ricarda Pfeiffer: sektorenkopplung@er.tu-berlin.de
Andreas Püttner: andreas.puettner@zsw-bw.de
Rainer Quitzow: rainer.quitzow@iass-potsdam.de
Matthias Rehfeldt: matthias.rehfeldt@isi.fraunhofer.de
Christoph Schick: Christoph.Schick@ier.uni-stuttgart.de
Joschka Selinger: joschka.selinger@ikem.de
Philip Sterchele: Philip.Sterchele@ise.fraunhofer.de
Lukas Vorwerk: lvo@wip.tu-berlin.de
Marten Westphal: mwe@wip.tu-berlin.de
Steffi Weyand: S.Weyand@iwar.tu-darmstadt.de
Patrick Wolf: patrick.wolf@zsw-bw.de

DOI: „<https://doi.org/10.24406/ise-n-574616>“



Der Bericht entstand im Verbundvorhaben „ENavi: Energiewende-Navigationssystem zur Erfassung, Analyse und Simulation der systemischen Vernetzungen“, Förderzeichen 03SFK4N0, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF.

Bildnachweis

Titelbild: Bildagentur [Beispiel: FONA/photothek, Ute Grabowsky]

Weitere Bilder: Bildagentur oder ©IASS

Datum

12/2019

INHALT

1	Einleitung	9
2	Ausgangslage und Problematik	11
3	Schwerpunktthema Wärmewende und Struktur des Berichts	13
3.1	Ziel und Status des Berichts	13
3.2	Berichtsstruktur	15
4	Rahmenszenario für den Wärmesektor	16
5	Entwicklung des Policy Packages im Wärmesektor	17
5.1	Entwicklung und Integration der Methodik für das Schwerpunktthema Wärmewende auf Basis des inter- und transdisziplinären Forschungsprozesses von ENavi	18
5.2	Vorgehen zur Ermittlung und Zusammenfassung von Hemmnissen und Maßnahmen	18
5.3	Ermittelte Hemmnisse und Maßnahmen	19
5.4	Vorgehen zur Zusammenstellung geeigneter Maßnahmen und Ableitung des Policy Packages	22
5.5	Policy Package im Schwerpunktthema Wärmewende	22
5.6	Bewertung von Konsistenz bzw. Wechselwirkungen der Maßnahmen des Policy Packages	29
6	Ausgewählte Folgenabschätzungen und Bewertungen von Policy Package Maßnahmen	32
6.1	Multikriterielle Bewertung für den transdisziplinären Dialog	32
6.2	Analyse der Auswirkungen der „Policy Packages“ auf die Transformation des deutschen Energiesystems mit Hilfe von REMod	34
6.3	Rolle und Einfluss von Prosumern im sektor-integrierten Energiesystem	37
6.4	Energieträgerpräferenzen der Industrie: Erkenntnisse aus neu erhobenen Verhaltensparametern	43
6.5	Rechtswissenschaftliche Folgenabschätzung zu den Maßnahmen des Policy Packages	50
6.6	(Institutionen-)Ökonomische Analyse der Maßnahmen des Policy Packages	59
6.7	Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Power-to-Heat	65
6.8	Technologie- & Innovationsanalysen im Wärmesektor	72
6.9	Wirkung von EE-Quoten im Gebäudebestand: Das Beispiel des EWärmeG in Baden-Württemberg	79
6.10	Kurzstudie zur Bewertung der gesundheitlichen und ökologischen Folgen der „Policy Packages“	82
6.11	Legitimität/Akzeptanz einer CO ₂ -Bepreisung im Wärmesektor	88
6.12	Einzelwirtschaftliche Analyse ausgewählter Technologien zur dezentralen Wärmebereitstellung für private Haushalte in Abhängigkeit vom CO ₂ -Preis	92
7	Zentrale Schlussfolgerungen und Ausblick	101
8	Literatur	106

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: CO ₂ -Emissionen für Raumwärme und Warmwasser (Haushalte und GHD); historisch und Regression; Zielwerte nach Klimaschutzplan 2030 und interpoliert. Datenquelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; eigene Analyse (IER)	9
Abbildung 2: Techno-ökonomische Veränderungsoptionen der Wärmewende, in Anlehnung an (Göllinger, Gaschnig 2016) und (acatech 2017)	12
Abbildung 3: Herangehensweise und Abdeckung des Wärmeschwerpunktthemas durch ENavi.....	14
Abbildung 4: Illustrativer Zusammenhang zwischen Roads und techno-ökonomischen Veränderungsoptionen – Beispiel zweier unterschiedlicher Pfade (nur illustrativ). Die gestrichelten Linien in blau und rot illustrieren jeweils die Phase dominanter Ausprägung im Zeitverlauf.....	15
Abbildung 5: Der ENavi-Prozess, bestehend aus insgesamt fünf Schritten.....	17
Abbildung 6: Vorgehen zur Zusammenfassung der Maßnahmen	18
Abbildung 7: Entwicklung der Wärmetechnologien bis zum Jahr 2050 im BAU-Szenario in [%] der Anzahl der Anschlüsse.....	36
Abbildung 8: Entwicklung der Wärmetechnologien bis zum Jahr 2050 im Szenario „Marktregulierung“ in [%] der Anzahl der Anschlüsse	36
Abbildung 9: Entwicklung der Wärmetechnologien bis zum Jahr 2050 im Szenario „Marktregulierung“ in [%] der Anzahl der Anschlüsse	37
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Modellierungsansatzes mit modell-endogener Abbildung von Prosumern.	39
Abbildung 11: Zusammenspiel zwischen Systemperspektive (links) und Akteursperspektive (rechts) bei der Herleitung der verschiedenen Kostenkomponenten. Nummern in Kreisen beziehen sich auf die jeweilige Gleichung (unten stehend).....	40
Abbildung 12: Normierte Systemkosten versus normierte Prosumer-Energievollkosten (FCOE) als Funktion der Eigenverbrauchsquote.	41
Abbildung 13: Normierte Energievollkosten für Prosumer und Non-Prosumer als Funktion der Eigenverbrauchsquote	41
Abbildung 14: Maximale Rückspeisung in das Verteilnetz, pro Prosumer-Haushalt, als Funktion der Eigenverbrauchsquote.....	42
Abbildung 15: Wärmegestehungskosten ausgewählter Dampferzeuger (Modellrechnung mit FORECAST).....	46
Abbildung 16: Grafische Darstellung des methodischen Vorgehens.....	66
Abbildung 17: Übersicht der betrachteten Maßnahmen und Maßnahmengestaltungen in der Portfoliomatrix.....	68
Abbildung 18: Klassifizierung der Maßnahmen	70
Abbildung 19: Anzahl der Patentanmeldungen der anmeldestärksten Wärmetechnologien am europäischen Patentamt (EPA) nach Ländern.....	73
Abbildung 20: Systemkosten von dezentralen und zentralen Solarthermieanlagen mit Prognosewerten.	75
Abbildung 21: Anzahl Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt im Bereich Solarthermie.	75
Abbildung 22: Anzahl deutscher Inventionen nach Technologiebereich.....	76
Abbildung 23: Investitionskosten von Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Prognosewerten.	78
Abbildung 24: Investitionskosten von Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Prognosewerten.....	79
Abbildung 25: Anzahl Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt im Bereich Wärmepumpen	79

Abbildung 26: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Folgenabschätzung der Transformationspfade nach Indikatoren.	85
Abbildung 27: Emissionsminderungen im Gebäudesektor	93
Abbildung 28: Anteile der Energieträger für Wärmebereitstellung	93
Abbildung 29: Kosten und Emissionen ausgewählter Technologien zur Wärmebereitstellung	94
Abbildung 30: Technologiespezifische Wärmegestehungskosten und Emissionen.....	98
Abbildung 31: Wärmegestehungskosten im Technologievergleich.....	99
Abbildung 32: Sensitivitätsanalyse zur Höhe des CO ₂ -Preises im Technologievergleich.....	100

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht zu zusammengefassten Hemmnissen	19
Tabelle 2: Auszug zusammengefasster Maßnahmen	20
Tabelle 3: Parametrierung der Kernmaßnahme „CO ₂ -Bepreisung“	23
Tabelle 4: Parametrierung der Maßnahme „Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten“	25
Tabelle 5: Parametrierung der Maßnahme „Verbot konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen“	26
Tabelle 6: Parametrierung der Maßnahme „Erhöhung der EE-Quoten“	27
Tabelle 7: Überblick über die flankierenden Maßnahmen	28
Tabelle 8: Überblick über Das Policy Package im Wärmeschwerpunkt von ENavi	29
Tabelle 9: Ergebnisse der Cross-Impact-Bilanzanalyse für das Policy Package im Wärmeschwerpunkt in ENavi	31
Tabelle 10: Die zehn Bewertungskriterien in Enavi (Quitow et al. 2018)	33
Tabelle 11: Übersicht über die definierten Szenarien mit den zugeordneten Maßnahmen entsprechenden „Policy Packages“	35
Tabelle 12: Ergebnisse für die betrachteten Maßnahmenausgestaltungen (gerundet)	69
Tabelle 13: Bestand, Zubau und Endenergieverbrauch (Wärme) von Solarthermieanlagen in Deutschland seit 2000.	73
Tabelle 14: Marktpotenzial sowie mögliche Wärmeerzeugung solarer Wärme (und Kälte) in Deutschland und international nach Szenarien.	74
Tabelle 15: Forschungsausgaben des Bundes für Solarthermie, solare Kälte und solare Prozesswärme.	76
Tabelle 16: Bestand, Wärmebereitstellung, durchschnittliche thermische Leistung und durchschnittliche Jahresarbeitszahl von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Deutschland seit 2000.	77
Tabelle 17: Bestand, Wärmebereitstellung, durchschnittliche thermische Leistung und durchschnittliche Jahresarbeitszahl von Sole-Wasser-Wärmepumpen in Deutschland seit 2000.	77
Tabelle 18: Entwicklung von Jahresarbeitszahl und durchschnittlicher Heizleistung von Luft-Wasser-Wärmepumpen.	78
Tabelle 19: Entwicklung von Jahresarbeitszahl und durchschnittlicher Heizleistung von Sole-Wasser-Wärmepumpen.	78
Tabelle 20: Forschungsausgaben des Bundes für Wärmepumpen und Kältemittel	79
Tabelle 21: Untersuchte Indikatoren und Zuordnung zu den Bewertungskriterien	83
Tabelle 22: Betrachtete Wärmeerzeuger und zugehörige Annahmen.	84
Tabelle 23: Änderungen der Gesundheits- & Umweltindikatoren von 2015 zu 2050 in den drei Szenarien.	86
Tabelle 24: Die berücksichtigten Stakeholder im Überblick	89
Tabelle 25: Geäußerte Argumente für und gegen eine (sektorübergreifende) CO ₂ -Bepreisung	91
Tabelle 26: Geäußerte Bedingungen der Stakeholder für die Einführung eines CO ₂ -Preises	91
Tabelle 27: Übersicht der betrachteten Wärmebereitstellungsoptionen	94
Tabelle 28: Preis für Energieträger	96
Tabelle 29: Emissionsfaktoren	96
Tabelle 30: Technologiespezifische Parameter	97
Tabelle 31: Technologieübergreifende Parameter	97

Tabelle 32: Folgenabschätzung nach Bewertungskriterien	101
Tabelle 33: Schlussfolgerung nach Maßnahmen	103

1 EINLEITUNG

Der Wärmebereich stand bislang im Schatten der öffentlichen Diskussion zur Energiewende, die maßgeblich von Fragen der Elektrizitätsversorgung und seit kurzem auch von der Mobilität geprägt ist. Dabei trägt die Wärmeversorgung in Haushalten, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie (inklusive Prozesswärme in der Industrie) zu mehr als der Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs bei. Anders als bei der Stromversorgung spielen erneuerbare Energieträger hier bislang nur eine geringfügige Rolle. Das Hauptaugenmerk im Wärmesektor liegt zurzeit auf der Verbesserung der Energieeffizienz, sowohl bei der Wärmedämmung der Gebäude als auch bei der Umwandlung von Primärenergie in die benötigte Energiedienstleistung. Dies hat in den vergangenen knapp zwei Jahrzehnten seit 1990 messbare Erfolge gezeigt: So konnten beispielsweise die CO₂-Emissionen im Gebäudewärmebereich gegenüber 1990 um mehr als 40 % gesenkt werden, maßgeblich durch die Sanierung der Gebäudehülle, Steigerung der Energieeffizienz der Wärmbereitstellung, durch einen Energieträgerwechsel von Öl und Kohle zu Gas sowie durch Energieeffizienzmaßnahmen.

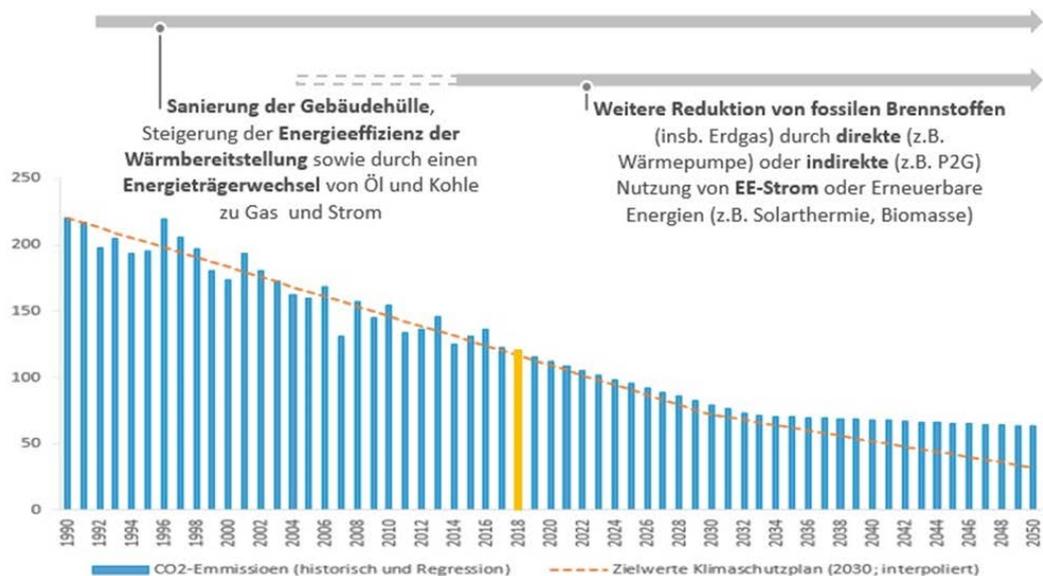


ABBILDUNG 1: CO₂-EMMISSIONEN FÜR RAUMWÄRME UND WARMWASSER (HAUSHALTE UND GHD); HISTORISCH UND REGRESSION; ZIELWERTE NACH KLIMASCHUTZPLAN 2030 UND INTERPOLIERT. DATENQUELLE: ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN; EIGENE ANALYSE (IER)

Allerdings werden die bisherigen Anstrengungen nicht ausreichen, um die langfristigen Dekarbonisierungsziele bis 2050 aus dem Klimaschutzplan 2030 zu erreichen (Abbildung 1). Zur Erreichung einer Treibhausgasneutralität bis 2050 ist eine komplette Defossilisierung des Wärmesektors auf Null Treibhausgasemissionen bis 2050 zu erreichen. Bis 2030 werden zwar Öl- und Kohle-basierte Wärmetechnologien im Haushaltsbereich weitgehend ersetzt sein, jedoch wird danach die nahezu vollständige Substitution fossilen Erdgases durch direkte oder indirekte Stromanwendungen bzw. Erneuerbare

erbare Energien zwingend notwendig für die weitere Defossilisierung. Hält man sich zugleich die dem Wärmesektor immanente Trägheit durch lange Sanierungszyklen und Lebensdauern der Technologien von rund 30 Jahren vor Augen, wird deutlich, dass die notwendigen Aktionen für ein Gelingen der Wärmewende bereits heute, d. h. 30 Jahre vor Zielerreichung 2050 eingeleitet werden müssen. Dabei ist zudem auch die zeitlich sinnvolle Reihenfolge bzw. Abstimmung von verschiedenen Maßnahmen (z. B. Einsatz Wärmepumpe im Bestand und Sanierung Gebäudehülle) und der daraus resultierende Koordinationsbedarf bereits aus heutiger Sicht zu berücksichtigen.

Die im deutschen Energiekonzept von 2010¹ vorgesehenen Effizienzsteigerungen (u. a. eine Verdoppelung der Sanierungsrate von 1 % auf 2 % p.a., eine Reduktion des Wärmeverbrauchs um 20 % bis 2020 sowie eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs von Gebäuden um 80 % bis 2050 im Vergleich zu 2008) werden bislang nicht erreicht, weil die Sanierungskosten oftmals nicht in einem förderlichen Verhältnis zu den heutigen Energiekosten stehen. Ebenso stockt der Ausbau bzw. der klimaverträgliche Umbau der Fernwärmeinfrastruktur, weil ökonomische und regulative Rahmenbedingungen oftmals unattraktiv sind. Gleichzeitig gibt es zu geringe Anstrengungen, die Defossilisierung des Wärmesektors ähnlich systematisch anzugehen wie beim Stromsektor.

Das deutsche Energiekonzept von 2010 setzte die Reduktion der THG-Emissionen von 80–95 % im Jahre 2050 im Vergleich zum Jahre 1990 zum Ziel². Als Reaktion auf das Klimaabkommen von Paris folgten mit dem Klimaschutzplan 2050 die Festlegung des mittelfristigen und sektorspezifischen (Zwischen-)Ziels zur Senkung der THG-Emissionen für 2030 sowie Leitbilder und strategische Maßnahmen für jedes Handlungsfeld³. Sektorspezifisch sticht vor allem der Gebäudesektor mit deutlich höheren Zielen (66–67 %) bis 2030 im Vergleich zur Vorgabe für Deutschland insgesamt (55–56 %) und für jeden anderen Sektor hervor.

¹ Bundesregierung (2010).

² Bundesregierung (2010).

³ BMUB (2016).

2 AUSGANGSLAGE UND PROBLEMATIK

Das ENavi-Konsortium hat deshalb die Wärmeversorgung als einen seiner drei Anwendungsschwerpunkte gewählt. Aus rein technischer Sicht sind die Kernelemente einer zukünftigen Wärmeversorgung mit drastisch reduzierten Klimagasemissionen grundsätzlich umsetzbar und bekannt: Neben der Absenkung des Energieverbrauchs, beispielsweise durch baulichen Wärmeschutz im Gebäudesektor, werden in Einzelgebäuden neben anderen erneuerbaren Energien wie Solarthermie, Geothermie oder Bioenergie insbesondere Wärmepumpen eine zentrale Rolle spielen. Zugleich können Sanierungsmaßnahmen und intelligente Gebäudetechnik den Wärmeverbrauch merklich reduzieren und Flexibilität für die Vernetzung zwischen den Sektoren schaffen. Eine zunehmende Digitalisierung und ein vernetzter Betrieb der Gebäudeenergieanlagen sind hier weitere Stränge von notwendigen Entwicklungen im Wärmebereich. Allerdings sind hier auch wesentliche nichttechnische Hemmnisse zu verzeichnen, beispielsweise die lokale Optimierung (Eigennutzung und deren Verrechnung) und offene Fragen des Nutzerverhaltens. In verdichteten Räumen haben emissionsfreie Wärmenetze, die verschiedenste Wärmequellen nutzen, ein großes Potenzial. Im Bereich der industriellen Prozesswärme können durch die Schließung von Stoffkreisläufen, den Einsatz erneuerbarer Energieträger bzw. erneuerbar erzeugten Stroms, innovative Produktionsprozesse und CO₂-Nutzung deutliche Fortschritte im Klimaschutz erzielt werden. Auf lange Sicht können zudem Power-to-X-Anwendungen (PtX) eine wichtige Rolle spielen durch Herstellung erneuerbarer Energieträger, insbesondere Power-to-Gas-Anwendungen (PtG), die synthetisches mit Erneuerbaren Energien erzeugtes Erdgas erzeugen. Dieses synthetische Erdgas kann zwischengespeichert und im Wärmesektor als Endenergie eingesetzt werden. Gerade in diesem Kontext kann die regionen- und länderübergreifende Vernetzung mit Import von EE-Strom und PtX-Produkten stärker zunehmen und die Integration der Energieversorgung weiter erhöhen.

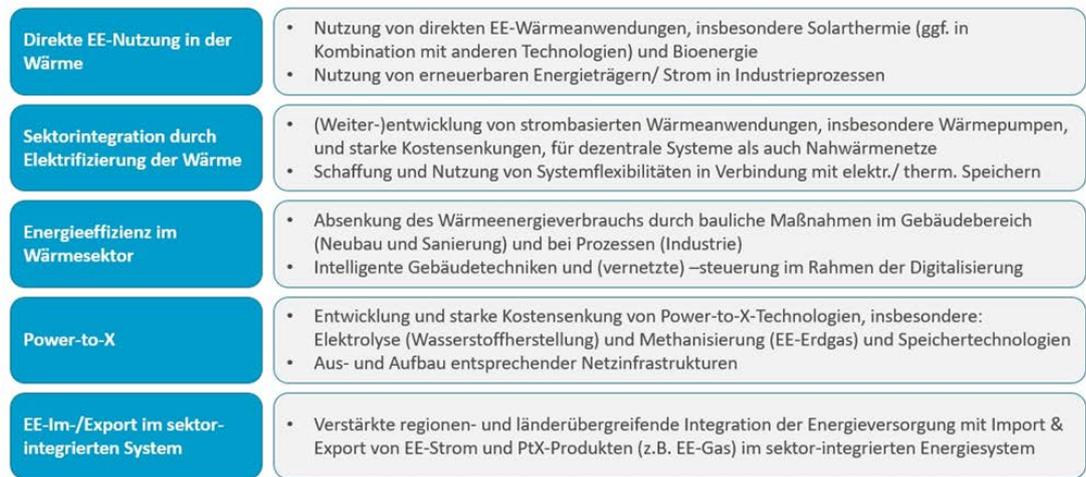


ABBILDUNG 2: TECHNO-ÖKONOMISCHE VERÄNDERUNGSOPTIONEN DER WÄRMEWENDE, IN ANLEHNUNG AN (GÖLLINGER, GASCHNIG 2016)⁴ UND (ACATECH 2017)⁵

Abbildung 2 stellt diese Entwicklungsstränge der Wärmewende in Form von techno-ökonomischen Veränderungsoptionen dar. Dabei ist wesentlich, dass es sich nicht um eine konsekutive Darstellung (fester zeitlicher Abfolge der Veränderungsoptionen) handelt, sondern Entwicklungen zum Teil parallel stattfinden. Dabei bestehen wichtige Pfadabhängigkeiten, d. h. Interdependenzen zwischen den einzelnen Veränderungsoptionen, etwa bei der Frage des Verhältnisses von Elektrifizierung und PtX.

Gleichzeitig sind diese techno-ökonomischen Entwicklungsstränge in gesellschaftliche, rechtliche und politische Kontexte eingebettet. Die Gründe dafür, dass derartige Maßnahmen nicht in viel größerem Umfang eingeleitet und umgesetzt werden, liegen bei weitem nicht nur im Bereich von Kosten und Wirtschaftlichkeit, sondern haben auch viel mit den Informationsdefiziten verschiedener Akteure, ineffizienten oder nicht diskriminierungsfreien Marktstrukturen, dem Eigentümer-Nutzer-Dilemma und etlichen weiteren Hemmnissen zu tun. Neben Einzeluntersuchungen zu den oben genannten Technologien wurde innerhalb von ENavi deshalb eine umfassende Hemmnisanalyse für den Wärmebereich vorgeschlagen und durchgeführt, um im nächsten Schritt markt- und akteurspezifische Konzepte und Lösungsansätze zu entwickeln. Dies umfasst auch eine Analyse der rechtlichen Hemmnisse und Optionen zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens.

⁴ Göllinger, T; Gaschnig, H. (2016), Abb. 3.6.

⁵ ACTECH, Umbach, E. (2017).

3 SCHWERPUNKTTHEMA WÄRMEWENDE UND STRUKTUR DES BERICHTS

3.1 Ziel und Status des Berichts

Der vorliegende Bericht gibt eine Übersicht über die im gesamten Projektverlauf entstandenen Arbeiten im Rahmen des Schwerpunktthemas Wärmewende (SP 2) im Kopernikus Projekt ENavi. Den Fokus des Berichts bilden die Entwicklung eines Policy Packages im Wärmesektor, d. h. eines auf die Dekarbonisierung abzielenden Politikmaßnahmenbündels, sowie die daran anknüpfenden Folgenabschätzungen sowie Bewertungen der vorgeschlagenen Maßnahmen aus den einzelnen Perspektiven.

Der Kerngedanke des ENavi-Schwerpunktthemas „*Wärmewende durch Sektorkopplung, Nutzerintegration und flexible, intelligente Steuerung*“ besteht in einem ganzheitlichen Betrachtungs- und Bewertungsansatz, der die Bereiche Technologie, Ökonomie, Ökologie, Sozial- und Rechtswissenschaften miteinander in Beziehung setzt und damit den zentralen ENavi-Prozess (s. hierzu Kapitel 0) einer ganzheitlichen, inter- und transdisziplinären Herangehensweise aufgreift. Die Wärmewende und ihre verschiedenen Einzelaspekte sollen dabei sowohl aus Sicht der einzelnen betroffenen und handelnden Akteure als auch aus Perspektive des Gesamtsystems untersucht werden (Abbildung 3), um daraus am Ende Handlungs- und Umsetzungswissen in Form von Policy Packages (Politikmaßnahmenbündel) ableiten und analysieren zu können. Hierzu werden disziplinspezifische Analysen und Folgenabschätzungen durch Einbindung von Praxisakteuren in einen transdisziplinären Diskurs sowie durch Zusammenführung mithilfe eines multikriteriellen Bewertungskatalogs⁶ zu einem inter- und transdisziplinären Gesamtbild kombiniert.

Zusätzlich muss im Wärmebereich zwischen Raumwärme und Warmwasser im Gebäudebereich (Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)) und Prozesswärme in der Industrie unterschieden werden. Diese verlangen nicht zuletzt wegen der verschiedenen Temperaturniveaus nach unterschiedlichen Dekarbonisierungsansätzen. Abbildung 3 stellt auch diese Dimension dar und ordnet die einzelnen Beiträge des Berichts – die im nachfolgenden Abschnitt 3.2 noch einmal dargestellt werden – entlang der betrachteten Dimensionen ein. Dabei wird einerseits die beschriebene breite Herangehensweise deutlich. Ebenso ersichtlich sind jedoch die „weißen Flecken“, welche in ENavi aufgrund der Breite des Themenspektrums und des Forschungsfokus der Partner zunächst noch offenbleiben und die den weiteren Forschungsbedarf illustrieren.

⁶ Quitzow, R. et al.(2018).

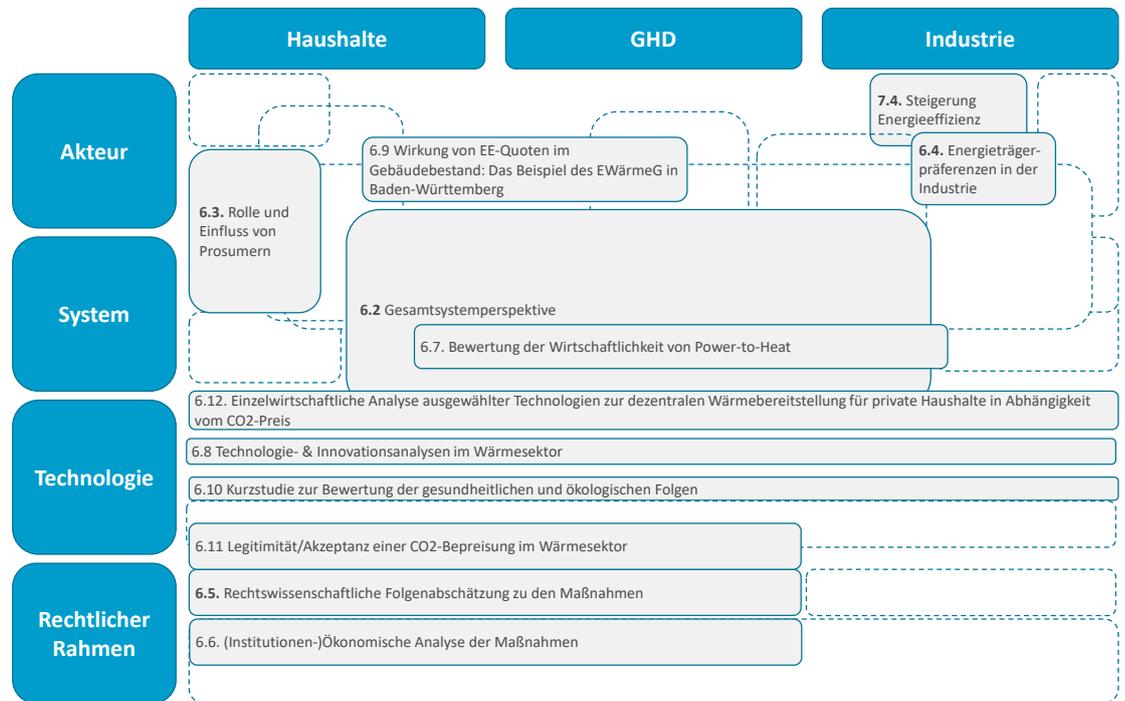


ABBILDUNG 3: HERANGEHENSWEISE UND ABDECKUNG DES WÄRMESCHWERPUNKTTHEMAS DURCH ENAVI

Methodische Klammer der einzelnen Beiträge ist die Erarbeitung einer „Roadmap“ im Sinne einer „Landkarte möglicher Transformationspfade“ auf Basis der in Abbildung 2 dargestellten techno-ökonomischen Veränderungsoptionen. Dabei enthalten die einzelnen Roads (Pfade) grundsätzlich alle Veränderungsoptionen

- Direkte EE-Nutzung in der Wärme
- Sektorintegration durch Elektrifizierung der Wärme
- Energieeffizienz im Wärmesektor
- Power-to-X
- EE-Im- & Export im sektorintegrierten System jedoch in jeweils unterschiedlichen Ausprägungen, illustrativ dargestellt in Abbildung 4.

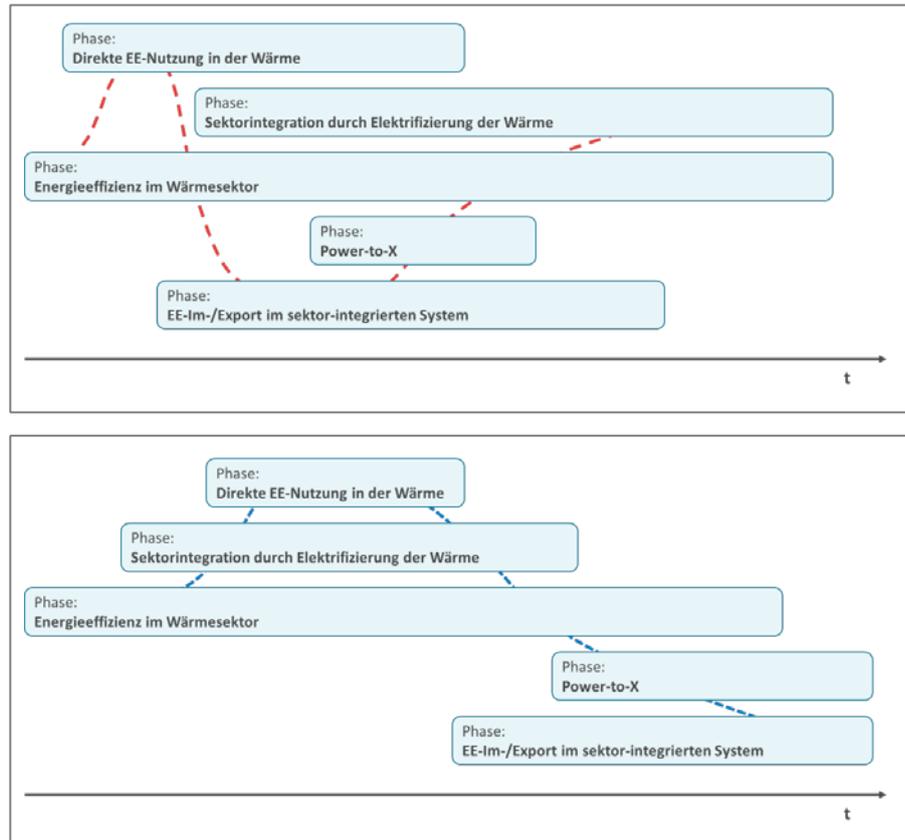


ABBILDUNG 4: ILLUSTRATIVER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ROADS UND TECHNO-ÖKONOMISCHEN VERÄNDERUNGSOPTIONEN – BEISPIEL ZWEIER UNTERSCHIEDLICHER PFADE (NUR ILLUSTRATIV). DIE GESTRICHELTEN LINIEN IN BLAU UND ROT ILLUSTRIEREN JEWEILS DIE PHASE DOMINANTER AUSPRÄGUNG IM ZEITVERLAUF

3.2 Berichtsstruktur

Der vorliegende Bericht ist wie folgt strukturiert. Nach der Einleitung, Ausgangslage und Vorgehen folgt die Beschreibung des Analyserahmens bzw. die Einordnung der Analysen in ein langfristiges Szenario der Energietransformation und Klimaschutzmaßnahmen. Daran anschließend wird ein Policy Package, bestehend aus mehreren Politikmaßnahmen, entwickelt, welche zur Zielerreichung als notwendig eingestuft werden. Diese werden dann in einer Folgeabschätzung analysiert sowie in einer Gesamtbewertung bzw. Einschätzung eingeordnet. Abschließend fasst dieser Bericht zentrale Schlussfolgerungen zusammen und ordnet weiteren Forschungsbedarf ein.

4 RAHMENSZENARIO FÜR DEN WÄRMESEKTOR

Der vorliegende Bericht ordnet die Analysen in folgende Rahmenannahmen bzgl. der Entwicklung im deutschen Energiesystem unter Berücksichtigung der CO₂-Reduktionsmaßnahmen zur Sicherstellung des Klimaschutzes ein. Das zu untersuchende Zielsystem soll im Bereich einer CO₂-Emissionsreduktion von 80 bis 95 % CO₂-Minderung bis 2050 gegenüber 1990 liegen. Außerdem sollen die Zielwerte des Klimaschutzplans von 72 Mio. t CO₂ Emissionen im Gebäudebereich bis 2030 ungefähr erreicht werden. Das Zielsystem in 2050 beinhaltet praktisch eine komplette Defossilisierung des Gebäudebereichs, da die CO₂-Restmenge voraussichtlich in anderen Sektoren sinnvoller eingesetzt sind (auch im Fall von 80% Reduktion). Berücksichtigt werden sollte außerdem eine konstante Bevölkerungsentwicklung (inkl. Trends bei Verstädterung, Komfort). Die Dekarbonisierungsstrategien in den Einzelanalysen sollen außerdem mit einbeziehen, dass folgende zentrale Bestandteile und Stellschrauben hierfür mit hoher Wahrscheinlichkeit umgesetzt werden:

- Hohe Sanierungsrate
- Hohe Anforderungen an Neubau
- Elektrifizierung durch Wärmepumpen
- EE-Wärme aus Solarthermie, Geothermie und Biomasse
- Wärmenetze (inkl. Abwärme)
- Option: „Grüne Gase“
- Digitalisierung und Flexibilisierung als wichtige Aktionsfelder zur Realisierung der Ziele
- CO₂-Preise zur Zielerreichung im Bereich 100 – 400 EUR₂₀₁₈/t in 2050

Diese Bestandteile oder Stellschrauben sollen Optionen bzw. Zielwerte darstellen, in deren Lösungsraum sich die Analysen in Bezug auf die Policy Packages bewegen sollten, um eine gewisse Vergleichbarkeit der Analysen zu ermöglichen.

5 ENTWICKLUNG DES POLICY PACKAGES IM WÄRMESEKTOR

Ziel des Schwerpunktthemas Wärmewende ist es, unterschiedliche Transformationspfade für die Wärmewende bzw. Energiewende aufzuzeigen, die spezifischen Charakteristika der Pfade zu beschreiben, die für das Eintreten einzelner (gewünschter) Pfade verantwortlichen Maßnahmen („Policy Packages“) sichtbar zu machen sowie (un)erwünschte Wirkungen der Pfade und der damit verbundenen Maßnahmen aufzuführen (Folgenabschätzung). Diese Maßnahmen und Folgen sollen anknüpfend multikriteriell bewertet werden. Die Grundlage für die Erreichung dieses Ziels bildet der im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte ENavi-Prozess (Abbildung 5). Dieser iterative Prozess sieht auf allen Ebenen eine Befragung und Einflussnahme von Stakeholdern im Rahmen eines transdisziplinären Diskurses vor und wird flankiert anhand von Feldexperimenten und Reallaboren zur praxisnahen Erprobung von Forschungsergebnissen.



ABBILDUNG 5: DER ENAVI-PROZESS, BESTEHEND AUS INSGESAMT FÜNF SCHRITTEN

In den Schwerpunktthemen von ENavi ist dieser Grundprozess durchlaufen worden, wobei die Detailausgestaltung in der forschungs- und praxisseitigen Umsetzung je Schwerpunktthema erfolgte. Nachfolgend ist entsprechend dargelegt, wie die Umsetzung im Schwerpunktthema Wärmewende erfolgt ist.

Die Policy Packages (Politikmaßnahmenbündel) stellen – wie aus der Prozessdarstellung ersichtlich ist – ein zentrales Element von ENavi dar, da sie entscheidend die Erfolgsaussichten in Bezug auf eine wirksame Dekarbonisierung des Wärmesektors bzw. Energiesystem beeinflussen. Entsprechend soll im Folgenden darauf fokussiert werden, wie zur Ableitung eines (breit angelegten und damit sehr stark auf Effektivität ausgerichteten) Policy Packages für den Wärmesektor vorgegangen wurde. Aufgrund der iterativen Natur des Prozesses kann dieser grundsätzlich für anknüpfende wissenschaftliche Analysen zur Entwicklung, Folgenabschätzung und Bewertung weiterer Policy Packages erneut durchlaufen werden.

5.1 Entwicklung und Integration der Methodik für das Schwerpunktthema Wärmewende auf Basis des inter- und transdisziplinären Forschungsprozesses von ENavi

Der inter- und transdisziplinäre Forschungsprozess ist ein Kernprozess innerhalb des Forschungsprojekts Kopernikus ENavi, welcher als Leitlinie für die Bündelung und Zusammenführung der Forschungsaktivitäten innerhalb des Forschungsprojektes dient.⁷ Im Kern steht die Bewertung eines Politikmaßnahmenbündels innerhalb eines iterativ angelegten Prozesses und unter transdisziplinärer Integration aller beteiligten Interessensgruppen (s. Abbildung 5). Vorbereitend zur Zusammenstellung eines Politikmaßnahmenbündels lassen sich die zu adressierenden Problemstellungen und Hemmnisse ausarbeiten. Für diese können wiederum Maßnahmen abgeleitet werden, aus denen sich letztlich das Policy Package speist. Im Folgenden ist der Prozessablauf zur Ermittlung von Hemmnissen und Maßnahmen der Wärmewende sowie zur Ableitung des eigentlichen Policy Packages dargelegt. Ferner werden Zwischenergebnisse in Form von (zusammengefassten) Hemmnissen, welche der Umsetzung der Wärmewende entgegenstehen, sowie Maßnahmen zur Adressierung dieser, aufgezeigt.

5.2 Vorgehen zur Ermittlung und Zusammenfassung von Hemmnissen und Maßnahmen

Die Methode zur Generierung von Hemmnissen und Maßnahmen basiert auf mehreren Umfragephasen, einer Diskussion mit Stakeholdern und einer jeweils anschließenden Konsolidierung sowie Diskussion der Ergebnisse. Die Ergebnisse der Umfragen werden zu zusammengefassten Hemmnissen und Maßnahmen kombiniert. Hierbei werden zunächst offensichtliche Duplikate bei Hemmnissen und Maßnahmen entfernt. Anschließend wird in einem agglomerativen Verfahren jeweils dann eine neue Zusammenfassung definiert, wenn sich einzelne Hemmnisse oder Maßnahmen nicht einer bereits vorhandenen Zusammenfassung zuordnen lassen. Entschieden wird hierbei nach dem Grad der strukturellen Ähnlichkeit, d. h. der inhaltlichen Überschneidung. In einer weiteren Iteration wird jeweils geprüft, ob eine weitere Zusammenfassung möglich ist, die sicherstellt, dass die jeweiligen Hemmnisse sowie die Maßnahmen auf möglichst gleichen Ebenen hinsichtlich der Spezifität ihrer Wirkung ansetzen. Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die Prozessschritte am Beispiel der Maßnahmenzusammenfassung.

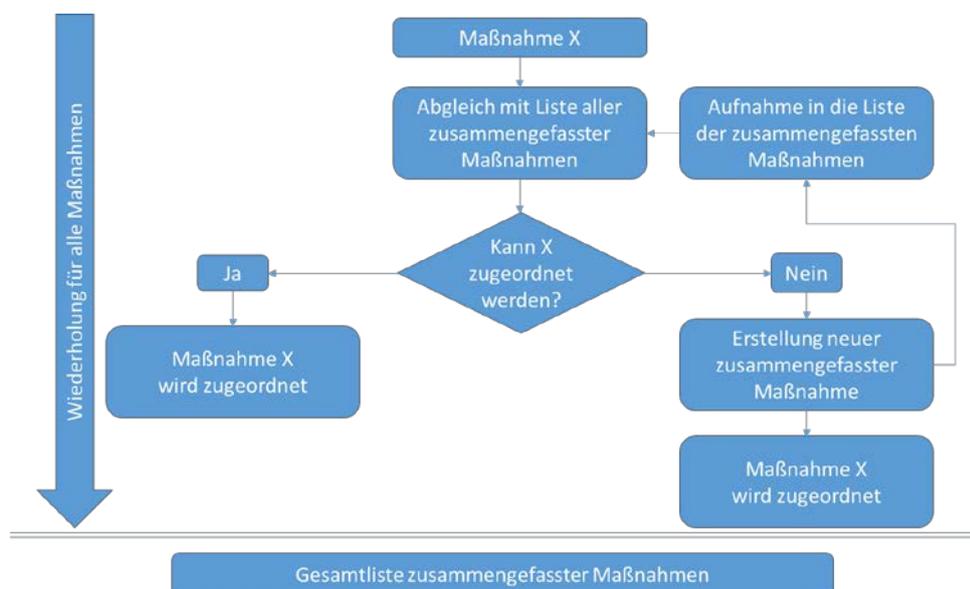


ABBILDUNG 6: VORGEHEN ZUR ZUSAMMENFASSUNG DER MAßNAHMEN

⁷ Quitzow, R. et al. (2018).

In einer ersten Umfrage innerhalb des Forschungskonsortiums wurden Hemmnisse der Wärmewende sowie potenzielle Gegenmaßnahmen abgefragt, wobei Angaben zu den Adressaten der Maßnahme, im Sinne der betroffenen Politik- bzw. Governance-Ebene, möglichen Konflikten oder Komplementaritäten sowie weitere Konkretisierungen zu machen waren.

Die hieraus auf Basis des obigen Vorgehens abgeleiteten zusammengefassten Hemmnisse und Maßnahmen wurden mit den Autoren der Einzelhemmnisse und Einzelmaßnahmen rückgespiegelt und Anpassungsvorschläge eingefügt.

In einer dritten Umfrage wurden Einschätzungen zur erwarteten Effektivität der Maßnahmen im Sinne der erzielten Klimaschutzwirkung sowie zum Wirkungshorizont der Maßnahme abgefragt. Ebenso wurde abgefragt, für welche Maßnahmen Folgeabschätzungen und Bewertungen innerhalb des Forschungsprojekts von Kopernikus ENavi möglich sind. Diese Abfrage diente zur Selektion von Maßnahmen, für die ein weiteres Durchlaufen des ENavi-Prozesses infrage kommt und die folglich in den weiteren ENavi-Prozess eingespeist werden können. Angaben mit Einschätzungen zu Effektivität bzw. Zeithorizont der Maßnahmen, welche auf einer nominalen Skala beruhten, wurden kodiert, um sie in eine ordinale Skalierung zu überführen.

Die Ergebnisse der Umfragen wurden abschließend im Rahmen eines Stakeholder-Workshops validiert und ergänzt. Die Stakeholder hatten zur Aufgabe, Hemmnisse sowie blinde Flecken der bisherigen Analysen und divergierende Einschätzungen zu nennen und zu diskutieren. In einer zweiten Diskussionsrunde sollten vorhandene Maßnahmen diskutiert und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Die Ergebnisse des Stakeholder-Workshops wurden im Anschluss in die vorhandenen Listen der Hemmnisse und Maßnahmen eingeordnet und zur Validierung bzw. Erweiterung der Zusammenfassungen von Hemmnissen und Maßnahmen genutzt.

5.3 Ermittelte Hemmnisse und Maßnahmen

In nachfolgenden Ausführungen liegt der Fokus auf einer Darstellung der zusammengefassten Hemmnisse sowie einer Diskussion exemplarischer Maßnahmevorschläge, anhand derer die Vorgehensweise der Zusammenfassung dargelegt und sich ergebende mögliche Probleme diskutiert werden. Eine vollständige Liste zu Hemmnissen und Maßnahmen ist der Prozessstudie „Hemmnisse der Wärmewende und mögliche Policy-Maßnahmen“ zu entnehmen.⁸

Insgesamt wurden mithilfe der dargelegten mehrstufigen Vorgehensweise 61 Einzelhemmnisse identifiziert und 125 Einzelmaßnahmen abgeleitet. Hieraus wurden wiederum 11 zusammengefasste Hemmnisse sowie 42 zusammengefasste Maßnahmen kondensiert.⁹ Aus den Analysen konnten die nachfolgenden elf zusammengefassten Hemmnisse entwickelt werden (Tabelle 1).

TABELLE 1: ÜBERSICHT ZU ZUSAMMENGEFASSTEN HEMMNISSEN

Nr.	Hemmnis
1	Langfristiger Charakter, hohe Kosten und technische Restriktionen von Modernisierung und Sanierung
2	Hohe Technologiekosten behindern den Einsatz klimafreundlicher Wärmesysteme
3	Transparenz und Informationsverfügbarkeit zu klimaverträglichen Wärmetechnologien bzw. Förderangeboten ist gering und eine hohe Komplexität liegt vor
4	Unzureichende regulatorische (ordnungsrechtliche) Anforderungen an die Klimaverträglichkeit des Gebäudesektors (Grenzwerte, Standards, ...)
5	Abgaben, Umlagen und Steuern behindern Stromeinsatz zur Wärmebereitstellung sowie systemdienlichen Anlagenbetrieb
6	Unwissenheit über, Fehlen bzw. mangelnder Einsatz von Akteuren behindert die Umsetzung einer klimaverträglichen Wärmeversorgung (Fehlen institutioneller Rahmenbedingungen)
7	Risiken und Unsicherheiten behindern Investitions- und Pfadentscheidungen

⁸ Grosse, B. und Kochems, J. (2019).

⁹ Für eine detaillierte Darlegung der Ergebnisse siehe Grosse, B. und Kochems, J. (2019).

8	Fehlgeleitete oder fehlende Anreizstrukturen und Fördertatbestände zur klimaverträglichen Gebäudewärmeversorgung (KfW-Förderung, Anreizprogramme, ...)
9	Keine adäquate Bepreisung des CO ₂ -Beitrags des Energieträgereinsatzes (Kosten der Energieträger)
10	Einfluss von lokalen Akteuren auf die Nutzerpräferenzen / Technologiewahl bei der Gebäudewärmeversorgung
11	Hemmnisse für den Einsatz digitaler Technologien zur Unterstützung der Wärmewende (Datenschutz, -sicherheit, -verfügbarkeit, -nutzbarkeit)

Die zusammengefassten Maßnahmen können prinzipiell auch mehrere zusammengefasste Hemmnisse adressieren, wodurch sich ihre Wirkungsbreite und ggf. auch ihre Effektivität vergrößert. Im Folgenden werden exemplarische zusammengefasste Maßnahmen aufgelistet und diskutiert, die als besonders effektiv hinsichtlich des Klimaschutzbeitrages eingeschätzt wurden (Ausprägung: hoch oder sehr hoch).

TABELLE 2: AUSZUG ZUSAMMENGEFASSTER MAßNAHMEN

Zusammengefasste Maßnahme Nr.	Maßnahme	Nr. der adressierten zusammengefassten Hemmnisse (max. 3)
5	Einführung einer allgemeinen direkten oder indirekten CO ₂ -Bepreisung	2, 5, 9
1	Investitionsanreize für Wärmebereitstellungstechnologien	1, 2, 8
2	Verpflichtende Vorschriften zum Einbau von EE-Wärmetechnologien bei Neu- und Umbau	1, 2, 4
6	Einführung eines verbindlichen Sanierungsplans für Gebäude (zeitlich oder ereignisbezogen)	3, 6
7	Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Netznutzungsentgelten	5, 9
14	Verbot konventioneller Wärmebereitstellungstechnologien	2,4
11	Kommunale Wärmekonzepte	4
17	Verschärfung der Bau- und Sanierungsvorschriften	4
24	Untersuchung von Anpassungsmöglichkeiten des rechtlich-regulatorischen Rahmens im regionalen Umfeld	5
31	Reformierung der oftmals sektor- bzw. infrastrukturbezogenen (Anreiz-)Regulierungsregime um eine sektor- bzw. infrastrukturübergreifende Optimierung zu ermöglichen	6

Es ist festzustellen, dass viele von den als tendenziell besonders wirksam eingestuften Maßnahmen besonders auf die Hemmnisse 2, 4 und 5 abzielen, während die Hemmnisse 10 und 11 nicht angesprochen werden. Dabei ist zu beachten, dass Hemmnis 11 erst durch die Diskussion im Stakeholder-Kreis ergänzt worden ist und diesem daher keine Maßnahmen aus dem Expertenkreis ursprünglich entgegenwirken.

Ebenso ist festzustellen, dass nicht alle Maßnahmen nur auf ein bestimmtes Hemmnis wirken. Dies gilt speziell für die Maßnahme einer *direkten oder indirekten CO₂-Bepreisung*. Diese spezielle Maßnahme kann auf viele Hemmnisse wirken, wobei die operative Ausgestaltung aus rechtlich-regulatorischer Perspektive noch präzisiert werden muss und die Effektivität der Bepreisung ebenfalls stark von der Umsetzung, d. h. der Parametrierung und ggf. Flankierung, der Maßnahme abhängt. Insgesamt ist anzunehmen, dass durch eine adäquate Bepreisung der Klimawirksamkeit einer Techno-

logie bzw. der mit ihr verbundenen Emissionen, eine erhöhte Bereitschaft besteht, klimafreundliche Technologien einzusetzen. Dies gilt insbesondere, wenn die Kosten für den Technologieanwender für nicht klimaverträgliche Technologien deutlich höher liegen als für klimafreundliche Technologien. Es ist allerdings zu beachten, dass je nach Ausgestaltung der Maßnahme verschiedene Technologiepfade vorstellbar sind, die weiterhin zu (sozialen) Verteilungseffekten hinsichtlich der Kosten für die Wärmebereitstellung führen können. Die Ausgestaltung der Maßnahme ist daher umfassend zu analysieren und eine sozialverträgliche Wärmewende zu gewährleisten.

Dem Kostenargument gegenüber stellt die *Einführung von Investitionsanreizen* ebenfalls eine Maßnahme dar, die über finanzielle Anreize die Umsetzung der Wärmewende beschleunigen soll. Durch den freiwilligen Charakter ist die Bewertung der Maßnahme allerdings schwieriger als bei einer (wie auch immer gearteten) CO₂-Bepreisung. So muss überprüft werden, wie Investitionen in den Wärmemarkt dringen sowie welche Zyklen typischerweise für Investitionen bestehen. Allerdings können durch Investitionsanreize technische Entwicklungen beeinflusst werden, sodass speziell investitionsintensive Technologien früher zum Einsatz kommen als traditionelle, weniger kapitalkostenintensive Technologien. Dies führt darüber hinaus dazu, dass Lernkurven bereits früher begonnen und schneller durchschritten werden, sodass diese Technologien mittelfristig zu den Investitionsausgaben für traditionelle Technologien aufschließen können. Zudem wird die Gefahr eingedämmt, dass sozioökonomische Verteilungseffekte auftreten, da die Investitionen mit hoher Wahrscheinlichkeit eine „Sowieso“-Maßnahme darstellen und so lediglich die Rangfolge der Technologien bzgl. Vollkosten im Wärmebereich verändert wird.

Die Maßnahmen *„verpflichtende Vorschriften zum Einbau von EE-Wärmetechnologien bei Neu- und Umbau“*, *„Einführung eines verbindlichen Sanierungsplans für Gebäude (zeitlich oder ereignisbezogen)“* und *„Verschärfung der Bau- und Sanierungsvorschriften“* stellen ordnungspolitische Entscheidungen hinsichtlich der technischen Umsetzung der Wärmewende dar. Die Maßnahmen eignen sich insgesamt gut für eine modellbasiert Analyse, da die Maßnahmen durch ihren Top-Down-Charakter gut in techno-ökonomische Modellierungsumgebungen eingepasst werden können. Es ist allerdings fraglich, inwieweit die Durch- bzw. Umsetzbarkeit der Maßnahmen möglich ist, da sie unmittelbare Investitionsverpflichtungen nach sich ziehen und somit Kosten bei Investoren erhöhen bzw. entstehen lassen können. Soziale Verteilungseffekte können sind bei den Maßnahmen nur eingeschränkt auftreten, speziell vor dem Hintergrund der Debatte um kostengünstiges Wohnen ist allerdings mittelbar davon auszugehen, dass mindestens Kaltmieten steigen und somit soziale Verteilungseffekte auftreten können.

Die weiteren oben genannten Maßnahmen, die *„Überarbeitung Steuern, Abgaben, Umlagen und Netznutzungsentgelte“*, die *„Kommunale[n] Wärmekonzepte“*, die *„Untersuchung von Anpassungsmöglichkeiten des rechtlich-regulatorischen Rahmens im regionalen Umfeld“* und die *„Reformierung der oftmals sektor- bzw. infrastrukturbezogenen (Anreiz-)Regulierungsregime um eine sektor- bzw. infrastrukturübergreifende Optimierung zu ermöglichen“*, zielen zwar auf unterschiedliche Hemmnisse ab, sind aber vor allem durch ihr sektorenkoppelnde Spezifität geprägt. Die (sinnvolle) Integration von EE-Strom in den Wärmesektor sowie die regionale, sektorengekoppelte Wärmewende stellen zusammen elementare Bestandteile der Wärmewende dar. Die Überwindung des bislang nicht-integrierten, sektorenspezifischen Einsatzes von Energie bzw. die Bereitstellung von Wärme muss hierbei sowohl regulatorisch-rechtlich als auch finanziell und (kommunal-)nachfrageseitig koordiniert werden. Dies ist nur durch den Einsatz eines Bündels von Maßnahmen zu erwarten. Allerdings ist die Bewertung dieses Bündels nicht trivial lösbar, da – mitunter nur begrenzt auflösbare – Interdependenzen zwischen den Maßnahmen bestehen können.

Wie oben beschrieben, lassen sich auf Basis der aufgestellten Maßnahmenliste (Tabelle 2) verschiedene Maßnahmenbündel zusammenstellen, die für eine Bewertung in Policy Packages weitergenutzt werden können. Es ist dabei zu beachten, dass Maßnahmen hierbei Interdependenzen aufweisen können und dies speziell zu analysieren ist. Eine erste Einschätzung dazu wurde im Rahmen der Analysen qualitativ durchgeführt (s. Kapitel 7), allerdings sind weitere fundierte Analysen notwendig, um ebenfalls quantitative Auswirkungen zu vergleichen.

5.4 Vorgehen zur Zusammenstellung geeigneter Maßnahmen und Ableitung des Policy Packages

Auf Basis der Zusammenstellung der zusammengefassten Maßnahmen wurde im Schwerpunkt Wärmewende ein Policy Package zusammengestellt. Hierfür wurden mehrere Stränge parallel verfolgt:

- Die Maßnahmenauswahl erfolgte aus dem zuvor vorgestellten Pool von zusammengefassten Maßnahmen. Hierdurch wurde einerseits sichergestellt, dass ein übergreifender Charakter der gewählten Maßnahmen gegeben ist und andererseits Forschungsschwerpunkte innerhalb des Projekts angemessen reflektiert werden.
- Eine systematische Literaturanalyse sowie eine Auswertung laufender politischer Diskussionen in Bezug auf die Maßnahmen(vorauswahl) dienen zur Gewährleistung, dass das Policy Package in wissenschaftlicher und politischer Hinsicht den aktuellen Wissens- und Diskussionsstand reflektiert.
- Eine Rückspiegelung und Ko-Entwicklung der Maßnahmen mit Stakeholdern diene zur Sicherstellung, dass den Maßnahmen eine praktische Relevanz beigemessen wird und die Belange der betroffenen Stakeholder berücksichtigt sind.
- Durch regelmäßige Diskussionen und Rückspiegelungen von Maßnahmen innerhalb des Forschungskonsortiums sowie einer Teilgruppe mit dem Ziel der Detailausgestaltung des Policy Packages konnte innerhalb des Forschungskonsortiums eine Art gegenseitige Validierung erzielt werden.

Die Kriterien für die letztendliche Auswahl von Maßnahmen des Policy Packages waren die nachfolgenden, wobei sich eine Gewichtung der Kriterien implizit aus der Prozessgestaltung, den ausgewerteten Publikationen sowie den geführten Diskussionen ergibt:

- die Effektivität einer Maßnahme im Sinne ihrer antizipierten Klimaschutzwirkung sowie ihres Wirkungshorizonts
- Abschätzungen in Bezug auf die (ökonomische) Effizienz einer Maßnahme
- eine Bewertung zur grundsätzlichen Komplementarität bzw. Kombinierbarkeit einer Maßnahme
- Verteilungswirkungen sowie die Möglichkeit einer sozialverträglichen Maßnahmenausgestaltung

Die zur Bewertung der Kriterien erforderlichen Vorab einschätzungen wurden basierend auf Projektergebnissen, Erfahrungswerten sowie existierender Literatur generiert. Zur Plausibilisierung des Maßnahmenbündels wurde eine systematische Analyse von Wechselwirkungen der Maßnahmen durchgeführt (s. Kapitel 5.6).

5.5 Policy Package im Schwerpunktthema Wärmewende

Nachfolgend wird das zu analysierende Policy Package beschrieben. Dieses zielt auf die langfristige Defossilisierung des Wärmesektors ab. Es umfasst eine gesamtwirtschaftlich wirkende Kernmaßnahme, weitere zentrale Maßnahmen für Teilsysteme sowie flankierende Maßnahmen, die die Kern- und zentralen Maßnahmen unterstützen. Die adressierten Ziele werden jeweils dargelegt, ebenso wie die Angabe, welche Governance- und Systemebenen adressiert werden. Die Folgenabschätzungen und Bewertungen fügen sich in das in Kapitel 0 dargelegte Rahmenszenario ein. Darüber hinaus wird in den disziplinspezifischen Analysen (Kapitel 0) eine sinnvolle Parametrierung und Detaillierung innerhalb des jeweiligen Rahmens gewählt, auch um disziplinenbezogene Unterschiede angemessen zu adressieren: So ist etwa aus Sicht der Rechtswissenschaften von Belang, welche Instrumentenausgestaltung gewählt wird und wie eine rechtliche Verankerung aussehen sollte, während aus energiesystemanalytischer Sicht vor allem die Höhe von Preisen bzw. Kosten maßgeblich ist. Für quantitative Analysen wurde auf die genannten Bandbreiten der Werte (etwa für einen CO₂-Preis) zurückgegriffen.

Zentrale Maßnahmen: CO₂-Bepreisung als technologieübergreifende Kernmaßnahme

Die Kernmaßnahme bildet die Einführung einer technologieübergreifend wirkenden CO₂-Bepreisung.¹⁰ Diese wird um weitere technologiespezifische Instrumente (zentrale Maßnahmen für Teilsysteme) ergänzt. Im Folgenden wird zunächst die konkrete Ausgestaltung der Kernmaßnahme CO₂-Bepreisung vorgestellt, anschließend wird auf die teilsystembezogenen Maßnahmen eingegangen. Die Kernmaßnahme im Policy Package des Schwerpunktthemas Wärmewende ist die Ausführung einer CO₂-Bepreisung, welche technologieübergreifend auf den Betrieb von Wärmeerzeugern wirkt und somit treibhausgasintensive Wärmebereitstellungsmöglichkeiten verteuert. Zusätzliche Lenkungswirkung entfaltet die Kernmaßnahme hinsichtlich der Effizienz des Energieeinsatzes u. a. im Bereich der Gebäudeeffizienz. In diesem Sinne entfaltet die Maßnahme eine *systemische* Wirkung, welche zu einem kostenoptimalen Zusammenspiel von Dekarbonisierung der Erzeugung und Reduktion der Nachfrage führt. Hinsichtlich der Ausgestaltung der Maßnahme stellen sich einige Fragen, welche für eine Folgenabschätzung relevant sind. Nachfolgend wird eine Konkretisierung der Maßnahme vorgestellt (Tabelle 3), wobei abweichende Ausgestaltungen – je nach Disziplin – zum Zeichen einer möglichst umfassenden Folgenabschätzung einzubeziehen sind.

TABELLE 3: PARAMETRIERUNG DER KERNMAßNAHME „CO₂-BEPREISUNG“

Kurzbeschreibung des Instruments	Besteuerung des CO ₂ -Gehaltes fossiler Energieträger bzw. indirekte Bepreisung über eine gewichtete Energiesteuer entsprechend der im Gesamtprozess der Wärmeerzeugung verursachten CO ₂ -Emissionen.
Zentrales Ziel	Durch Preissignale sollen Anreize gesetzt werden, die fossilen CO ₂ -Emissionen der Wärmeversorgung stärker zu berücksichtigen. Durch die Bepreisung von Treibhausgas-Emissionen der (fossilen) Primärenergieträger werden Preissignale mit Lenkungswirkung gesetzt, die über die gesamte Energielieferkette auch beim Endenergie-Verbraucher ankommen. Dadurch werden Entscheidungen über Investition in und Betrieb von Wärmeerzeugungsanlagen sowie Effizienzmaßnahmen beeinflusst. Die Defossilisierung des Gebäudebereichs soll somit durch Pönalisierung von nicht treibhausgasneutralen Energie- bzw. Wärmebereitstellungsoptionen erreicht werden.
Weitere Ziele	Eine sektorübergreifende CO ₂ -Bepreisung in Zusammenhang mit der sektorübergreifenden Anpassung von Abgaben/ Umlagen/ Entgelten ermöglicht die Realisierung von einem Gesamtsystemoptimum für Strom, Wärme und Verkehr. In diesem Sinne kann eine CO ₂ -Bepreisung einen wichtigen Beitrag zur stärkeren Nutzung von Sektorkopplungspotenzialen leisten. Konkret auf das deutsche Energiesystem angewendet ist dies insbesondere in Hinblick auf die stärkere Nutzung von Power-to-Heat-Potenzialen relevant, welche durch im sektoralen Vergleich hohe Strompreise heute in vielen Fällen wirtschaftlich nicht darstellbar sind.
Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen	Sofern allein durch Preissignale technisch-systemische Maßnahmen nicht angereizt oder erwünschte Effekte (wie Lernkurveneffekte oder Kostendegressionen) nicht erreicht werden, ist eine Kombination mit weiteren, technologiespezifischen (Förder-) oder (Anreiz-)Instrumenten erforderlich. Ein Beispiel ist, dass die notwendige Höhe einer CO ₂ -Preisung (kurzfristig) politisch nicht durchsetzbar sein kann. In Zusammenhang mit der Kernmaßnahme sind weitere Fragestellungen zu klären: Es müsste geprüft werden, ob die Einnahmen durch die CO ₂ -Bepreisung eingesetzt werden sollten, um weitere Finanzierungszwecke mit Klimaschutzbezug zu erfüllen, wie den Ausbau des EE-Stroms oder von Stromnetzen. Es ist also zu klären, wohin die Mittel fließen sollen und inwieweit eine aufkommensneutrale Ausgestaltung erfolgen kann. Es stellen sich Fragestellungen, ob der EE-Stromsektor unterstützt werden sollte, ob Steuern, Abgaben und Umlagen insgesamt gesenkt werden, ganz wegfal-

¹⁰ Aus Gründen der Lesbarkeit wird in diesem Dokument CO₂ als Platzhalter für alle Arten von Treibhausgasen verwendet. Bei den betrachteten Maßnahmen, insbesondere bei einer Bepreisung, sollen andere Treibhausgase proportional zu ihrer Klimawirkung berücksichtigt werden.

	len oder anders ausgestaltet werden...								
Höhe	Gestaffelter Satz, der turnusweise ansteigend gestaltet wird. Aus aktuellen Studien ergeben sich folgende erste Stützwerte ¹¹								
	Preise in €₂₀₁₈/t CO₂-eq.								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>2020</th> <th>2030</th> <th>2040</th> <th>2050</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35-70 [5]</td> <td>55 [2] 70-180 [5]</td> <td>65 [1] 113 [2]</td> <td>100 [1] 124 [2] 280 [4] 400 [6]</td> </tr> </tbody> </table>	2020	2030	2040	2050	35-70 [5]	55 [2] 70-180 [5]	65 [1] 113 [2]	100 [1] 124 [2] 280 [4] 400 [6]
	2020	2030	2040	2050					
35-70 [5]	55 [2] 70-180 [5]	65 [1] 113 [2]	100 [1] 124 [2] 280 [4] 400 [6]						
Umsetzender / Governance-Ebene	Bundesgesetzgeber bzw. europäischer Gesetzgeber								
Systemische Wirkung	Breite Systemwirkung auf alle Wärmebereitsteller; ausschließlich preisliche Wirkung								
Konfliktpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Mit weiteren Maßnahmen der CO₂-Bepreisung (z.B. Handelssystemen wie EU ETS); eingeschränkt mit Förderinstrumenten, die identische Zielstellungen verfolgen. • Soziale Verteileffekte: CO₂-Bepreisung kann zu einer Verteuerung von Energie – insbesondere im Wärmesektor - führen. Dies belastet niedrigere Einkommensklassen im besonderen Maße. Zur Abfederung der unerwünschten Belastungswirkungen sollte über gleichzeitige soziale Ausgleichsmechanismen nachgedacht werden. • Pfadabhängigkeiten: Auswirkungen auf den Bezug von Strom aus den Netzen der allgemeinen Versorgung und z.B. synthetischem Methan hieraus: Aktuell vergleichsweise schlechte CO₂-Bilanz – perspektivisch (bei höheren EE-Anteilen) Nutzung von Strom aus den Netzen der allgemeinen Versorgung aber gewünscht. • Ggf. Wettbewerbsnachteile ggü. Staaten ohne CO₂-Bepreisung, insbesondere im CWE-Stromnetzverbund (DE, BENELUX, AT, FR)¹². • Ggf. zunehmende Importabhängigkeiten (z.B. ggü. CO₂-neutralem Atomstrom aus Frankreich). • Verlagerung von Emissionen in (Nachbar-)Staaten ohne CO₂-Bepreisung durch Energieimporte und/oder Industrieabwanderung (Carbon Leakage). • Verwaltungsaufwand für Erhebung (und Rückerstattung). • Steuerungswirkung durch Anpassung der verbrauchsgebundenen Kosten greift wegen hohem Mietanteil in Deutschland nur bedingt (Investoren sind vom Verbrauch nicht betroffen und entscheiden nach Investitionsausgaben). • Begünstigt auch Heizen mit Biomasse, wobei Nebeneffekte zu beachten sind (z.B. Feinstaub, Flächenkonkurrenz für Nahrungsmittel etc.). 								
Adressaten der Maßnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Direkt: Verursacher von Treibhausgasen bei der Erzeugung von Energie (Wärme) aus fossilen Primärenergieträgern • Indirekt: Nutzer fossiler Primärenergie (durch Weitergabe von CO₂-Kosten innerhalb der Wertschöpfung an Endkunden)¹³ 								
Einführungszeitpunkt	01.01.2020								

QUELLEN: [1] FRAUNHOFER ISI ET AL. (2017, S. 10), [2] PROGNOSE UND BCG (2018, S. 28—29); ANGELEHNT AN IEA (2016); [3] EWI ER&S (2018, S. B – 390); [4] ENAVI SPT1-

¹¹ Zu beachten: Teilweise werden hier lediglich 80%-Dekarbonisierungsszenarien betrachtet. Teilweise sind die Erfordernisse im Wärmesektor nicht adäquat repräsentiert (Fokus Stromsektor). Die angegebenen Preise sind daher tendenziell niedriger als für eine (nahezu) vollständige Dekarbonisierung des Wärmesektors notwendig.

¹² Abhängig von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahme und der Behandlung von Stromimporten und (Vor-)Produkten, die mit nicht-bepreisten Energieträgern im Ausland hergestellt wurden.

¹³ Siehe auch Unterpunkt „Konfliktpotenzial“

Zentrale teilsystembezogene Maßnahmen

Ergänzend zur technologie- und sektorübergreifenden CO₂-Bepreisung sind weitere Maßnahmen in Betracht zu ziehen. Diese sind notwendig um Herausforderungen und Probleme, wie bspw. die Investition in eine „falsche“ Wärmebereitstellungstechnologie aufgrund langer Investitionszyklen bei anfänglich niedrigem CO₂-Preis zu verhindern. Sie greifen somit Fragestellungen auf, die durch eine CO₂-Bepreisung allein voraussichtlich nicht adäquat adressiert werden. Die Wirkung der CO₂-Bepreisung wird so unterstützt und ggf. unerwünschte Nebenwirkungen werden unterbunden.

› Überarbeitung Abgaben, Umlagen und Entgelten im Stromsektor

Im Fokus der Maßnahme „Überarbeitung Abgaben, Umlagen und Entgelten im Stromsektor“ stehen vielmehr zentrale Herausforderungen, die im Rahmen von Neuregelungen zu betrachten sind als detaillierte und parametrisierte Neuregelungsvorschläge. Die nachfolgenden Ausführungen fokussieren auf die größten Kostenblöcke in den Endkundenbestandteilen, welche die größten Preishebel für Endkunden darstellen.

TABELLE 4: PARAMETRIERUNG DER MAßNAHME „ÜBERARBEITUNG VON STEUERN, ABGABEN, UMLAGEN UND ENTGELTEN“

Kurzbeschreibung des Instruments	Anpassung der Struktur und Höhe von Abgaben, Umlagen und Entgelten oder weitgehender Ersatz durch die Einnahmen der CO ₂ -Bepreisung ¹⁴ .
Problemstellung	Der Endkundenstrompreis wird maßgeblich durch regulatorische Preiskomponenten wie Steuern, Abgaben und Umlagen bestimmt. Das bestehende System aus Steuern, Abgaben und Umlagen sollte daher so angepasst werden, dass die Preisrelationen zwischen den Energieträgern wenig treibhausgasintensive bzw. treibhausgasneutrale Bereitstellungsoptionen attraktiver machen. Insbesondere betrifft dies die (flexible) strombasierte Wärmebereitstellung mit Power-to-Heat-Anwendungen aus weit überwiegend erneuerbarem Strom. Dabei ist insbesondere das Zusammenspiel mit einer CO ₂ -Bepreisung von Relevanz. Der Ausgestaltungsrahmen umfasst dabei zwei grundsätzliche Optionen: CO ₂ -Preise + angepasste Abgaben/Umlagen/Entgelte oder CO ₂ -Preise als (weitgehender) Ersatz für bisherige Abgaben/Umlagen/Entgelte.
Zentrales Ziel	Anpassung der Preisrelationen zwischen den Energieträgern zur Lenkung von Investitionsentscheidungen mit dem Fokus auf die Neugestaltung der Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten im Stromsektor, um künftig die Attraktivität von strombasierten Wärmeerzeugungstechnologien zu erhöhen. Der Abbau sektoraler Ungleichheiten bei diesen kann somit dazu führen, ein sektorübergreifendes Optimum zu finden. Dieses ist effizienter als Einzeloptimierung der Sektoren und gewinnt bei zunehmender Sektorintegration zusätzlich an Relevanz.
Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen	Eine Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten im Energiesystem und mit Bezug zum Wärmesektor erübrigt sich nicht durch eine CO ₂ -Bepreisung, da speziell die Kosten von strombasierten Wärmeerzeugungstechnologien durch weitere Preisbestandteile des Energieträgers Strom geprägt sind und entsprechend der Wettbewerbsnachteil des erneuerbaren Stroms erhalten bleibt.
Stromnetzentgelte	Eine besondere Rolle spielen Stromnetzentgelte zur Refinanzierung der notwendigen Netzinfrastruktur und deren Betrieb.

¹⁴ Nutzung zur Querfinanzierung der Netzentgelte stellt eine genehmigungsbedürftige Beihilfe dar.

	Status quo: Ein Teil des Netzentgeltaufkommens wird in Form volumetrische Netzentgelte erhoben, d. h. Netzkosten werden auf Endverbrauch heruntergebrochen und in EUR/MWh bepreist. Anders als bei der mit variablen Kosten behafteten Erzeugung spielen bei Netzen jedoch variable Kosten nur in deutlich geringerem Umfang (z. B. für die Verlustenergiebeschaffung) eine Rolle. Es liegen vor allem Fixkosten (für die Infrastruktur) vor. Kostentreibend ist in der Regel ein Kapazitäts- bzw. Leistungsbedarf (auch wenn die Netznutzung nur an wenigen Stunden im Jahr erfolgt, die entsprechende Netzinfrastruktur muss vorhanden sein). Daher ist grundsätzlich über stärkere Kapazitäts- oder Leistungspreis-Komponenten (EUR/MW bzw. EUR/MW/a) anstatt Arbeitspreisen (EUR/MWh) nachzudenken, welche gleichzeitig einer Flexibilisierung des Strombezugs (für den Einsatz im Wärmesektor) nicht entgegenstehen sollten. Hieraus resultierende Verteilungswirkungen sind zu berücksichtigen und ggf. durch flankierende Mechanismen zu adressieren.
Umsetzender / Governance-Ebene	Bundesgesetzgeber
Systemische Wirkung	Spezifische Wirkung; ausschließlich preisliche Wirkung
Konfliktpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Verbrauchskostenbasierter Ansatz greift wegen hohem Mietwohnanteil in Deutschland nur bedingt (Investoren sind vom Verbrauch nicht betroffen und entscheiden nach Investitionsausgaben) • Potenziell konfliktäre Wirkungen innerhalb der Detailausgestaltung (z.B. markt- vs. netzorientierte Ausrichtung von Preiskomponenten) • Senkung des Strompreises durch Anpassung der Abgaben, Umlagen und Entgelte verringert Effizienzreize beim Stromverbrauch, so dass flankierende Effizienzmaßnahmen sinnvoll sein können.
Komplementäre Wirkungen	keine
Adressaten der Maßnahme	Strombasierte Wärmeerzeuger (Power-to-Heat) und andere Stromverbraucher
Einführungszeitpunkt	01.01.2020

QUELLEN: [1] ECOFYS (2014), [2] E4TECH UND FRAUNHOFER IEE (2017, S. 52-56), [3] CONSENTEC UND FRAUNHOFER ISI (2018, S. 58-83), [4] E-BRIDGE; ZEW UND TU CLAUSTHAL (2018, S. 38-54)

› Stufenweises Verbot konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen

TABELLE 5: PARAMETRIERUNG DER MAßNAHME „VERBOT KONVENTIONELLER WÄRMEERZEUGUNGSANLAGEN“

Kurzbeschreibung des Instruments	Ordnungsrechtliches Verbot konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen
Zentrales Ziel	(Neu-)Investitionen in Wärmeerzeugungsanlagen, die einer Erreichung der Klimaschutzziele im Wärmesektor klar entgegenstehen, sollen über direkte Verbote vermieden werden.
Weitere Ziele	Durch direkte Verbote können im Kontext einer (gestaffelten) CO ₂ -Bepreisung auch einzelwirtschaftliche Fehlentscheidungen verhindert werden, die zukünftig hohe Kosten nach sich ziehen.
Durchführung	Erlass eines Gesetzes zum Verbot fossiler Wärmebereitstellung nach den Vorbildern Schweden oder Österreich
Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen	Sofern durch eine CO ₂ -Bepreisung und /oder eine Reform der Abgaben, Umlagen und Entgelte Investitionen in bestimmte (mit fossilen Brennstoffen betriebene) Wärmeerzeugungstechnologien nicht rechtzeitig entgegengewirkt werden kann, sind direkte Verbote in Betracht zu ziehen, um die Erreichung der Klimaschutzziele im Wärmesektor sicherzustellen. Dies ist bspw. notwendig, wenn die erforderliche Höhe des CO ₂ -Preises unerwünschte Verteilungs-

	effekte hervorruft und dadurch politisch (kurzfristig) nicht durchsetzbar ist. Ein ordnungsrechtliches Verbot konventioneller Wärmebereitstellung kann somit eingesetzt werden, falls – beispielsweise auch für eine Übergangszeit – davon ausgegangen wird, dass sich langfristig einstellende Preise keine hinreichende Wirkung auf zeitnah anstehende (Re-)Investitionsentscheidungen ausüben. Ferner setzt ein ordnungsrechtliches Verbot direkt bei den Investoren an. Vor dem Hintergrund des hohen Mietwohnanteils in Deutschland, kann ein solches Verbot damit eine sinnvolle Ergänzung zur CO ₂ -Bepreisung darstellen, die nur beim Verbraucher ansetzt (Adressierung des Vermieter-Mieter-/Investor-Nutzer-Dilemmas).“
Umsetzender / Governance-Ebene	Bundesregierung
Systemische Wirkung	Eingeengte Systemwirkung auf potenzielle Investoren in fossile Wärmebereitstellungstechnologien
Konfliktpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Umgang mit gas- und ölbasierten Heiztechnologien, die potenziell auch mit regenerativen (biogenen oder synthetischen) Brennstoffen betrieben werden können, Stichwort: Pfadabhängigkeiten (Ausschluss möglicher Dekarbonisierungspfade) • Umgang mit Bestandsanlagen?
Komplementäre Wirkungen	keine
Adressaten der Maßnahme	Investoren / Gebäudeeigentümer (privat und gewerblich)
Einführungszeitpunkt	01.01.2020

› Erhöhung der EE-Quoten

TABELLE 6: PARAMETRIERUNG DER MAßNAHME „ERHÖHUNG DER EE-QUOTEN“

Kurzbeschreibung des Instruments	Anpassung der EE-Quoten bspw. aus EEWärmeG bzw. GEG
Zentrales Ziel	Ein Mindestanteil von EE an der Wärmeversorgung von Neubauten, für die in der Regel besonders gute Voraussetzungen für die Einbindung solcher Technologien bestehen, wird direkt vorgeschrieben. Dadurch sollen der Anteil von EE an der Wärmeversorgung gesamthaft erhöht und technologiespezifische Lernkurveneffekte und Kostendegressionen gezielt erwirkt werden.
Weitere Ziele	Durch Quoten können im Kontext einer (gestaffelten) CO ₂ -Bepreisung auch einzelwirtschaftliche Fehlentscheidungen und hiermit verbundene Pfadabhängigkeiten verhindert werden, die zukünftig hohe Kosten nach sich ziehen.
Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen	Sofern durch eine CO ₂ -Bepreisung Investitionen in EE-Wärmeerzeugungstechnologien nicht rechtzeitig angereizt werden, können EE-Quoten eine sofortige Erhöhung CO ₂ -neutraler Technologien erzwingen. Ferner können auf diese Weise „Stranded Investments“ verhindert werden.
Durchführung	Die erforderlichen Mindestquoten für erneuerbare Energieträger werden graduell erhöht. Existierende Ersatzmaßnahmen werden analog verschärft.
Umsetzender / Governance-Ebene	Bundesregierung
Systemische Wirkung	Eingeengte Systemwirkung auf Investoren, die neue Gebäude errichten oder Vorhandene umfangreich renovieren
Konfliktpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Umgang mit Bestandsgebäuden? • Maßgabe der Wettbewerbsfähigkeit einer Technologie? • Speziell bei Biomasse als EE sind Nebeneffekte zu beachten (z.B. Feinstaub, Flächenkonkurrenz für Nahrungsmittel etc.)

Komplementäre Wirkungen	keine
Adressaten der Maßnahme	Gebäudeinvestoren / -eigentümer (Neubau)
Einführungszeitpunkt	01.01.2020

Flankierende Maßnahmen

Neben der vorgestellten Kernmaßnahme sowie den zentralen teilsystembezogenen Maßnahmen, umfasst das Policy Package flankierende Maßnahmen, die spezifische Herausforderungen adressieren. Sie unterstützen so Kern- und zentrale Maßnahmen, durch das Füllen von Abdeckungslücken oder das Auflösen von Inkonsistenzen. Bei einer Umsetzung des vorgeschlagenen Policy Packages sind diese flankierenden Maßnahmen ebenfalls zu berücksichtigen. Ein Überblick über diese flankierenden Maßnahmen findet sich in Tabelle 7.

TABELLE 7: ÜBERBLICK ÜBER DIE FLANKIERENDEN MAßNAHMEN

Maßnahme	Beschreibung und Begründung
Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärme-konzepte	Zukünftig sind wichtige Pfadentscheidungen (z. B. hinsichtlich des Auf- / Ausbaus von Wärmenetzen oder des Fortbestands, Aus- oder Rückbaus von Gasinfrastruktur) zu treffen, die ein koordiniertes Vorgehen erfordern. Aufgrund des lokalen Charakters der Wärmeversorgung, sollten Kommunen in die Planung einbezogen werden. Ein Ansatzpunkt hierfür sind kommunale Wärmepläne. Die Kommunen können solche Pläne aufgrund ihrer Selbstverwaltungshoheit erstellen, die hierzu erfolgreichen Informationen sind ihnen jedoch nicht zugänglich. Hier könnte ein Übermittlungsanspruch bezüglich relevanter Energiedaten unter Berücksichtigung des Datenschutzes ggü. Energieunternehmen, öffentlichen Stellen und Bezirksschornsteinfegern Abhilfe schaffen. Die Informationen sollten die vorhandenen Wärmenetze, Wärmespeicher, Wärmeerzeuger und Wärmeverbraucher umfassen.
Abschaffung der Förderung für konventionelle Wärmebereitstellung/ Wärmebereitstellungstechnologien	Alle Arten der Förderung konventioneller Wärmebereitstellung(stechnologien) durch öffentliche Träger werden ab 2020 eingestellt. Dies ist notwendig, damit keine dem CO ₂ Preis konträren Instrumente erhalten bleiben. Die Maßnahme ist erforderlich, sofern für ein ordnungsrechtliches Verbot der Erzeugungstechnologien bzw. Energieträger eine Übergangsfrist vorgesehen wird und etwa kohle- oder ölbasierte Wärmebereitstellungen früher verboten werden als solche, die fossile Gase nutzen. Insofern kann die sofort zu realisierende Abschaffung der Förderung dafür sorgen, dass „Stranded Investments“ in konventionelle Wärmebereitsteller unterbleiben.
Erweiterung der Energiebesteuerung auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Stromerzeugung und Senkung der Stromsteuern	Aktuell ist die Verstromung fossiler Energieträger aus der Energiesteuer ausgenommen. Hier sollte die Energiesteuer ausgeweitet werden, um den Einsatz fossiler Energieträger für die Stromerzeugung zu verteuern. Die Stromsteuer sollte auf das europarechtliche Mindestmaß reduziert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit von Strom zu gewährleisten. Dies könnte insbesondere im Zusammenhang mit einer CO ₂ -Bepreisung als Input-Besteuerung bei der Stromerzeugung aufgegriffen werden.
Finanzielle Unterstützung für Sanierungsmaßnahmen	Finanzielle Unterstützungsmaßnahmen sollen den Einsatz effizienter Wärmetechnologien fördern, um die Ressourcen sparsam einzusetzen. Dies kann die Lenkungswirkung des CO ₂ -Preises unterstützen und zur Überbrückung finanzieller Engpässe bei einzelnen Akteuren beitragen. Neben einem möglichen Ausbau der bestehenden Fördermechanismen (KfW, BAFA) ist hier besonders eine steuerliche Absetzbarkeit zu nennen.

Überblick über das Policy Package

Wie dargelegt, steht im Zentrum des Policy Packages eine CO₂-Bepreisung als zentrale technologieübergreifende Maßnahme, die durch weitere zentrale teilsystembezogene Maßnahmen sowie flankierende Maßnahmen ergänzt wird. Durch das Maßnahmenbündel sollen treibhausgasintensive Wärmebereitstellung verteuert und Investitionen in treibhausgasneutrale Wärmebereitstellungsoptionen sowie die Hebung von Effizienzpotenzialen angereizt werden. Umgesetzt werden könnte die Maßnahme als Input-Besteuerung bei der Stromerzeugung oder als indirekte Bepreisung über eine gewichtete Energiesteuer entsprechend der im Gesamtprozess der Wärmeerzeugung verursachten fossilen CO₂-Emissionen. Anknüpfungspunkte bieten sich auch hinsichtlich nationaler oder internationaler Emissionshandelssysteme.¹⁵ Entsprechend angepasst werden sollte die Stromsteuer. Die EEG-Umlage könnte gegebenenfalls durch die Steuereinnahmen (teilweise) finanziert werden, um den Stromsektor zu entlasten. Auch die übrigen Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelte sollten an ein System mit CO₂-Preis angepasst werden. Flankierend kommt ein stufenweises Verbot konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen in Betracht sowie die Erhöhung der EE-Quoten für Neubauten. Begleitet werden könnten diese Maßnahmen von Informationsansprüchen für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte und die Förderung konventioneller Wärmebereitstellung sollte beendet werden. Die nachfolgende Tabelle fasst die Maßnahmen des Policy Packages auf einen Blick zusammen.

TABELLE 8: ÜBERBLICK ÜBER DAS POLICY PACKAGE IM WÄRMESCHWERPUNKT VON ENAVI

Maßnahme	Einordnung
CO ₂ -Bepreisung	Zentrale Maßnahme des Policy Packages (technologieübergreifend)
Verbot konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen	Zentrale teilsystembezogene Maßnahme
Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten	Zentrale teilsystembezogene Maßnahme
Erhöhung der EE-Quoten	Zentrale teilsystembezogene Maßnahme
Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte	Flankierende Maßnahme
Abschaffung der Förderung für konventionelle Wärmebereitstellung	Flankierende Maßnahme
Erweiterung der Energiebesteuerung auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Stromerzeugung und Senkung der Stromsteuern	Flankierende Maßnahme
Finanzielle Unterstützung für Sanierungsmaßnahmen	Flankierende Maßnahme

5.6 Bewertung von Konsistenz bzw. Wechselwirkungen der Maßnahmen des Policy Packages

Zur Bewertung der Konsistenz der Maßnahmenzusammenstellung wurde eine separate Analyse mithilfe einer Cross-Impact-Bilanzanalyse durchgeführt. Dieses Verfahren kann zur Analyse von Wechselwirkungen in komplexen, interdisziplinären Systemen durch Experteneinschätzungen herangezogen werden.¹⁶ Eine Bewertung potenzieller Konflikt- bzw. Synergiepotenziale der Maßnahmen erfolgt anhand einer paarweisen Bewertung der Maßnahmenrelation. Diese wird auf einer diskreten Skala mit folgenden Ausprägungen bewertet:

+2: deutlich unterstützend

+1: unterstützend

0: keine Wechselwirkung bzw. Redundanz

¹⁵ BReg (2019).

¹⁶ Weymer-Jehle, W. (2015); Der hier zum Einsatz kommende Ansatz lehnt sich methodisch an das in Weymer-Jehle (2014) dargestellte Beispiel an: Weymer-Jehle, W. (2014), S. 3-7.

-1: hemmend

-2: stark hemmend

x: Bewertung nicht sinnvoll/möglich

Die Bewertung wurde zur Erhöhung der Objektivität der Einschätzung von verschiedenen Personen unabhängig voneinander vorgenommen. Die Bewertungsansätze wurden anschließend abgeglichen und Mittelwerte gebildet. Die Mittelwerte wurden auf die nächste diskrete Einstufung gerundet.

Nachfolgende Tabelle 9 fasst die Ergebnisse der Einschätzungen (Mittelwerte) zusammen. Die Einträge in der Tabelle beantworten die Fragestellung, wie sich eine Umsetzung der in den Tabellenzeilen aufgelisteten Maßnahmen auf die Maßnahmen in den Tabellenspalten auswirkt unter der Prämisse, dass die in den Spalten aufgeführten Maßnahmen bereits umgesetzt sind. Die Wechselwirkungen zwischen den zentralen teilsystembezogenen Maßnahmen untereinander sowie mit den flankierenden Maßnahmen werden jeweils unter der Prämisse beurteilt, dass die Kernmaßnahme einer CO₂-Bepreisung realisiert wird.

TABELLE 9: ERGEBNISSE DER CROSS-IMPACT-BILANZANALYSE FÜR DAS POLICY PACKAGE IM WÄRMESCHWERPUNKT IN ENAVI

		KM		Zt M1	Zt M2	Zt M3		FM 1	FM 2	FM 3	FM 4	
Kernmaßnahme												
KM	CO ₂ -Bepreisung	x		x	x	x		x	x	x	x	KM
Zentrale teilsystembezogene Maßnahmen												
ZtM1	+ Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten	2		x	2	2		2	1	2	1	ZtM 1
ZtM2	+ Verbot (v. Investitionen in) konventionelle Wärmeerzeugungsanlagen	2		2	x	1		2	2	2	1	ZtM 2
ZtM3	+ Erhöhung der EE-Quoten (im Neubau)	2		2	0	x		2	1	2	1	ZtM 3
Flankierende Maßnahmen												
FM1	+ Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte	1		1	1	1		x	1	1	1	FM 1
FM2	+ Abschaffung der Förderung für konventionelle Wärmebereitstellung (Kessel&E-Träger)	1		1	0	1		1	x	1	1	FM 2
FM3	+ Erweiterung der Energiebesteuerung auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Stromerzeugung und Senkung der Stromsteuern	0		0	0	0		0	0	x	0	FM 3
FM4	+ Finanzielle Unterstützung für Sanierungsmaßnahmen	1		1	1	1		1	2	1	x	FM 4

Die Matrix zeigt, dass nach Ansicht der Autoren zwischen den Maßnahmen des Policy Packages keine Konfliktpotenziale bestehen und die Wechselwirkungen der Maßnahmen neutral bis stark synergetisch ausfallen. Insofern kann dies als Bestätigung der Maßnahmenzusammenstellung gewertet werden und als Indiz dafür, dass Kannibalisierungseffekte bzw. ungewünschte Nebenwirkungen in Bezug auf die primär intendierte Wirkung des Policy Packages (Dekarbonisierung des Wärmesektors) voraussichtlich nicht zu erwarten sind.

6 AUSGEWÄHLTE FOLGENABSCHÄTZUNGEN UND BEWERTUNGEN VON POLICY PACKAGE MAßNAHMEN

Nachdem in den vorausgehenden Kapiteln eine grundlegende Einordnung der Arbeiten im Schwerpunktthema Wärmewende erfolgt ist und das Vorgehen zur Entwicklung des Policy Packages sowie das eigentliche Policy Package vorgestellt wurden, steht eine Folgenabschätzung sowie Bewertung des Policy Packages bzw. der enthaltenen Maßnahmen an. Im Folgenden wird nun das entworfene Policy Package in Einzelbeiträgen auf seine Wirkung und Folgen untersucht. Die Einzelbeiträge greifen hierbei auch Einzel- oder Teilaspekte des Packages auf, gehen also mitunter auf einzelne Maßnahmen ein. Die Einzelfolgenabschätzung erfolgt somit recht disziplinen- und kriterienspezifisch in Bezug auf die Wirkung der Maßnahmen. Es wird jeweils angegeben, welche Maßnahmen des Policy Packages (primär) adressiert werden (s. Kapitel 5.5 für eine Darstellung) und welche Kriterien des multikriteriellen Bewertungsansatzes aus ENavi zugrunde gelegt wurden. Abschließend werden dann die Einzelbeiträge in Form eines Fazits zusammengeführt. Der für die Einzelbeiträge zur Anwendung kommende multikriterielle Bewertungsansatz ist im folgenden Teilkapitel überblicksartig dargelegt.

6.1 Multikriterielle Bewertung für den transdisziplinären Dialog

Die multikriterielle Bewertung stellt innerhalb des transdisziplinären Forschungsansatzes von ENavi die Schnittstelle zwischen Forschenden unterschiedlicher Disziplinen und Akteurinnen und Akteuren aus Praxis und Politik dar. Durch den Dialog unterschiedlicher Akteursgruppen über Handlungsoptionen sollte das Projekt einen Beitrag zur Gestaltung einer nachhaltigen Energiewende-Politik leisten. Das Ziel des ENavi-Prozesses war es daher Maßnahmenbündel zu konzipieren, die nicht nur die Erreichung der erklärten Energiewende-Ziele der Bundesregierung ermöglichen, sondern auch andere wichtige Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung berücksichtigen. Diese unterschiedlichen Aspekte sind im Bewertungsansatz in Form von zehn Bewertungskriterien aus drei Kriterien-Clustern verankert (siehe Tabelle 10).

Jedes der zehn Bewertungskriterien setzt sich aus mehreren Unterkriterien zusammen. Jedes Unterkriterium umfasst eine methodische Anleitung zu seiner Erfassung bzw. Messung, die fallspezifisch entwickelt werden muss. Gemeinsam bilden die Ergebnisse der Bewertung auf Basis der Unterkriterien das Gesamtergebnis für das jeweilige Kriterium. Dabei ist zu beachten, dass eine zusätzliche Konkretisierung der Kriterien bei der Anwendung auf unterschiedliche Maßnahmenbündel erfolgen kann. Innerhalb der Bewertungskriterien können demnach auch unterschiedliche Schwerpunkte in Form von Unterkriterien gesetzt werden. Zudem werden einzelne Aspekte nur dann detailliert behandelt, wenn sie für das jeweilige Thema und die damit verbundenen gesellschaftlichen Diskussionen relevant sind. Im Dialog mit den Praxisakteurinnen und -akteuren können im Einzelfall auch weitere Kriterien und Unterkriterien aufgenommen und bestehende weiter differenziert werden. In ihrer Gesamtheit vermitteln die Bewertungskriterien somit ein ausgewogenes und umfassendes Bild über *ex ante* abgeschätzte Wirkungen von alternativen und komplementären Handlungsoptionen.

TABELLE 10: DIE ZEHN BEWERTUNGSKRITERIEN IN ENAVI (QUITZOW ET AL. 2018)¹⁷

Cluster	Bewertungskriterium	Kurzbeschreibung
Beiträge zu zentralen energie- und klimapolitischen Zielsetzungen („Zieldreieck“)	 Effektivität	Mit dem Kriterium „Effektivität“ wird der Grad der Erreichung von Zielen untersucht, die für die Energiewende in Deutschland insbesondere von Seiten der Bundesregierung gesetzt werden. Dies umfasst die Bereiche Treibhausgas-Emissionen, Anteil Erneuerbarer Energien, Energieverbrauch und -effizienz, sowie Kernenergieausstieg, jeweils konkretisiert anhand ausgewählter Indikatoren.
	 Resilienz	Das Bewertungskriterium Resilienz überprüft, ob Maßnahmen Gestaltungsprinzipien und -elemente ‚Resilienter Systeme‘ berücksichtigen. Diversität, Redundanz, Feedbackmechanismen, flexible Kopplungen, Subsidiarität und Modularität tragen dazu bei, dass das System mit höherer Wahrscheinlichkeit seine Systemleistung auch bei Turbulenz und äußeren Störungen aufrechterhalten kann. Besonders gut eignet sich das Leitkonzept ‚Resiliente Systeme‘ bei der Vorbereitung auf Überraschungen und Unvorhergesehenes.
	 Kosteneffizienz / Gesamtkosten	Das Kriterium „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“ adressiert die Kosten aus den Maßnahmenbündeln für Unternehmen, Sektoren und die Volkswirtschaft insgesamt, je Einheit der Erreichung eines bestimmten Ziels (vgl. insbesondere Ziele des Effektivitäts-Kriteriums, z. B. Kosten je t CO ₂ -Reduktion). Diese werden um die absolut anfallenden Kosten aus den Maßnahmenbündeln für Unternehmen, Sektoren und die Volkswirtschaft sowie deren Anteile an der Wertschöpfung (sektorale Ebene) bzw. am Bruttoinlandsprodukt (gesamtwirtschaftliche Ebene) ergänzt.
Wichtige Bereiche, in denen Nebenwirkungen von Energiepolitik auftreten	 Förderung des sozialen Zusammenhalts	In diesem Kriterium wird sozialer Zusammenhalt anhand von drei Aspekten definiert: die Bereitschaft in der Gesellschaft, durch gemeinsame Aktivitäten zur Erreichung der Energiewendeziele beizutragen, die wirtschaftliche Fähigkeit des Staates, die Daseinsvorsorge für die Menschen zu gewährleisten sowie die wirtschaftliche Belastung der einkommensärmeren Haushalte durch Energiekosten.
	 Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt	Wirtschaftliche Planungssicherheit wird hier als Möglichkeit definiert, bei getätigten oder geplanten Investitionen, über einen bestimmten Zeitraum hinweg, ein Mindestmaß an Rendite zu realisieren. Beiträge zur wirtschaftlichen Wohlfahrt werden bezogen auf die Bereiche Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit, Innovationskraft und Schaffung von Arbeitsplätzen, jeweils auf einzel- und gesamtwirtschaftlicher Ebene betrachtet.
	 Schutz der menschlichen Gesundheit	Gegenstand des Kriteriums ist der Schutz der menschlichen Gesundheit vor negativen Einwirkungen durch schädliche Stoffe sowie Lärm oder Strahlen, die im Zusammenhang mit der Produktion, dem Transport oder der Nutzung von Energie in Deutschland stehen. Mit Blick auf das Energiesystem wird die „Output-Seite“, d. h. die (negativen) Gesundheitswirkungen, betrachtet und nicht die „Input-Seite“ (Gesundheits-Grundversorgung, Ausgaben für Gesundheit, usw.).
	 Umwelt- und Ressourcenschonung	Sowohl die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen in ausreichender Menge und Qualität („Quellen“) als auch die Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen („Senken“) sind essenziell für die Überlebens- und Entwicklungsfähigkeit heutiger und kommender Generationen. Aus diesem Grund werden im vorgestellten Bewertungsansatz die Verbräuche erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Ressourcen adressiert.
Vereinbarkeit mit rechtlichen, politischen und ethischen Normen / Orientierungen	 Legalität	Legalität als Bewertungskriterium beschreibt die Eigenschaft einer staatlichen Maßnahme als mit dem geltenden Recht vereinbar oder unvereinbar. Im Rahmen dieser Vereinbarkeitsprüfung werden die handelnden Akteursgruppen und ihre Kompetenzbereiche, die rechtliche Handlungsform sowie in Abhängigkeit dazu die jeweiligen Voraussetzungen des geltenden Rechts erfasst.
	 Legitimität	Die Legitimität von politischen Maßnahmen definiert sich zum einen über den normativen Status, dass diese Interventionen rechtmäßig und anerkennungs-würdig sind, und zum anderen über die empirische Anerkennung der Betroffenen (Akzeptanz). Neben dem Inhalt der Maßnahmen selbst werden auch die Legitimität verantwortlicher Institutionen sowie der Prozess der Maßnahmenentwicklung und -umsetzung bewertet. Ausgenommen des Politikinhaltes, dessen normative Bewertung bereits detailliert im Rahmen der ethischen Akzeptabilität behandelt wird, werden für die unterschiedlichen Teilaspekte jeweils die normative und empirische Legitimität berücksichtigt.
	 Ethische Akzeptabilität	Das Kriterium „ethische Akzeptabilität“ bewertet Energiewendemaßnahmen unter Gesichtspunkten wie Gerechtigkeit, Zumutbarkeit (etwa von Lasten oder Risiken) oder des Respekts vor Autonomie. Dabei nimmt es eine normative Bewertung vor, die nach der Qualität von Gründen und Begründungsstrategien fragt. Es unterscheidet sich damit von der empirisch-soziologischen Frage nach faktischen Akzeptanzhaltungen.

Der Bewertungsprozess sieht zudem die Bewertung der einzelnen Szenarien und Maßnahmenbündel anhand eines Ampelsystems vor. Hierbei wird die Erwünschtheit eines Systemzustandes farblich illustriert (rot = negative Bewertung, gelb = neutral oder ambivalent, grün = positive Bewertung). Als

¹⁷ Quitzow et al. (2018): Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit Enavi. IASS Potsdam, Potsdam.

Aggregationsmethode für die Bewertungen der Unter- und Oberkriterien wird Gleichgewichtung unterstellt. Dies ist der Ausgangspunkt der Bewertung (Default Option). Hiervon kann bei guter Begründung, vor allem in der Diskussion mit Stakeholdern, abgewichen werden. Dadurch können auch unterschiedliche Bewertungsprofile auf der Basis der gleichen Datenlage aber unterschiedlicher relativer Gewichtung erstellt werden. Über eine Analyse von Wechselbeziehungen können zusätzlich Synergien und Zielkonflikte zwischen verschiedenen Bewertungskriterien sichtbar gemacht werden.

Auf diese Weise unterstützt der Bewertungsansatz in der Gesamtschau eine transparente und differenzierte Diskussion über die Implikationen unterschiedlicher Entscheidungswege in der Klima- und Energiepolitik.

Anwendung im Schwerpunkt Wärme

Der multikriterielle Bewertungsansatz wurde im Wärmeschwerpunkt von ENavi bisher für einzelne (Unter-)Kriterien und Einzelmaßnahmen genutzt. Eine vollständige Anwendung auf das entwickelte Maßnahmenbündel sowie ggf. alternative Maßnahmenbündel, jeweils als „Gesamtpakete“, konnte bis Veröffentlichung des Berichtes nicht abgeschlossen werden. Eine Zusammenführung aller Ergebnisse zu integrierten Bewertungsprofilen, in denen die Resultate für alternative (Maßnahme-)Szenarien auf einen Blick deutlich werden, um sie systematisch miteinander vergleichen zu können, steht somit noch aus. Hierfür sollte die Datenbasis zu Folgenabschätzungen und Einzelbewertungen ausgeweitet, die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Disziplinen für die einzelnen Kriterien vereint und abgestimmt sowie mit Stakeholdern diskutiert werden. Im vorliegenden Bericht dienen die Bewertungskriterien daher vor allem zur Einordnung der Forschungsarbeiten.

6.2 Analyse der Auswirkungen der „Policy Packages“ auf die Transformation des deutschen Energiesystems mit Hilfe von REMod

Beitrag des Fraunhofer ISE

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- *„Kosteneffizienz / Gesamtkosten“*
- *„Effektivität“*

für das Policy Package

Einleitung und Methodik

Zur spezifischen Analyse von potenziellen Ausgestaltungsoptionen der Sektorkopplung im Rahmen der Transformation des deutschen Energiesystems wird eine modellbasierte Analyse mit dem Simulations- und Optimierungsmodell REMod durchgeführt. Die grundlegende Idee des Modells REMod beruht auf einer kostenbasierten Strukturoptimierung der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems für alle Verbrauchssektoren – also die Sektoren Strom, Niedertemperaturwärme (Raumwärme und Warmwasser), Prozesswärme und Verkehr. Ziel dieser Rechnungen ist es, einen kostenoptimierten Transformationspfad vom heutigen System hin zu einem Energiesystem im Jahr 2050 zu bestimmen, wobei auf dem gesamten Weg eine für jedes Jahr vorgegebene Obergrenze erlaubter CO₂-Emissionen über alle Sektoren hinweg nicht überschritten wird.

Ergebnisse

Zur Analyse der in Kapitel 0 definierten „Policy Packages“ werden die in Tabelle 11 dargestellten Szenarien untersucht und Maßnahmen zur Senkung der CO₂ Emissionen werden den entsprechenden Szenarien zugeordnet. Zur Abbildung der unterschiedlichen Maßnahmen sind verschiedene Modelltechnische Vereinfachungen dieser durchgeführt worden. Das „Business-as-usual“ (BAU)-Szenario folgt der Annahme, dass in der weiteren Entwicklung des Energiesystems keine größeren Veränderungen stattfinden werden. Entsprechend werden die Zubauraten der einzelnen Technologien festgesetzt, d.h. diese werden nicht frei optimiert. Als zweites Szenario wird das Szenario „Marktregulierung“ definiert. Bei diesem Szenario wird zunächst eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 85 % in Bezug auf 1990 angenommen, wobei gleichzeitig eine Einführung der CO₂-Abgabe sowie eine Abnahme der Attraktivität konventionellen Wärmekonzepten unterstellt werden (z.B. durch von eine

Abschaffung der Förderung von konventionellen Wärmekonzepten). Als drittes Szenario wird das Szenario „Trans-Wärmesektor“ definiert, in dem die CO₂-Emissionen um 95 % gesenkt werden. Zusätzlich zur Einführung einer CO₂-Abgabe werden in diesem Szenario ein Verbot konventioneller Wärmeerzeuger bis zum Jahr 2050, eine Einführung einer Quote von erneuerbaren Wärmeerzeugern, sowie eine höhere Sanierungsrate von Gebäuden (z.B. durch eine finanzielle Unterstützung für Sanierungsmaßnahmen von Wohngebäuden) unterstellt. Die so definierten Szenarien werden im Nachfolgenden zueinander ins Verhältnis gesetzt und mögliche Entwicklungspfade des Wärmesektors werden näher beleuchtet.

TABELLE 11: ÜBERSICHT ÜBER DIE DEFINIERTEN SZENARIEN MIT DEN ZUGEORDNETEN MAßNAHMEN ENTSPRECHEN DEN „POLICY PACKAGES“

Szenario	Hauptmaßnahme	zus. Maßnahme 1	zus. Maßnahme 2
1. Referenzszenario BAU	-	-	-
2. Marktregulierung (85% weniger CO₂-Emissionen)	Einführung einer CO₂-Abgabe	Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen, Entgelten	Abschaffung der Förderung der konv. Wärmekonzepte
3. Trans-Wärmesektor & Quote (95% weniger CO₂-Emissionen)	CO₂-Abgabe, Verbot konventioneller Wärmeerzeuger & Quote erneuerbarer Wärmeerzeuger festlegen	Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte & Erweiterung der Energiebesteuerung auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Stromerzeugung und Senkung der Stromsteuern	Finanzielle Unterstützung für Sanierungsmaßnahmen

Im Szenario „BAU“ wird zunächst unterstellt, dass kaum Maßnahmen zur Senkung der CO₂-Emissionen beschlossen werden. Dies führt dazu, dass zunächst der Ausbau von fluktuierenden Erneuerbaren Energien (FEE), welche sich aus Photovoltaik (PV), sowie Onshore und Offshore Windenergie zusammen setzen, bis zum Jahr 2050 nicht weiter ansteigt und damit konstant bei den heute installierten 106 GW_{el} bleibt. Hauptsächlich der bereits von der Kohlekommission empfohlene Ausstieg aus der Stromerzeugung durch Kohleverbrennung führt dazu, dass die CO₂-Emissionen bis 2050 um 44 % ggü. 1990 abnehmen. Die Stromerzeugung aus Kohle wird durch den Ausbau von Gasturbinen sowie Gas und Dampfanlagen ersetzt, wodurch der Park konventioneller Kraftwerke von heute etwa 80 GW_{el} auf 140 GW_{el} in 2050 ansteigt. Dadurch, dass FEE nicht weiter ausgebaut werden, ist auch ein Zubau an Technologien zur Speicherung und Wandlung von Strom nicht notwendig. Im Verkehrsbereich findet ebenso keine Änderung der Zusammensetzung der Antriebstechnologien statt und sowohl PKW als auch LKW werden in 2050 zum Großteil weiterhin mit konventionellen Verbrennungsmotoren betrieben.

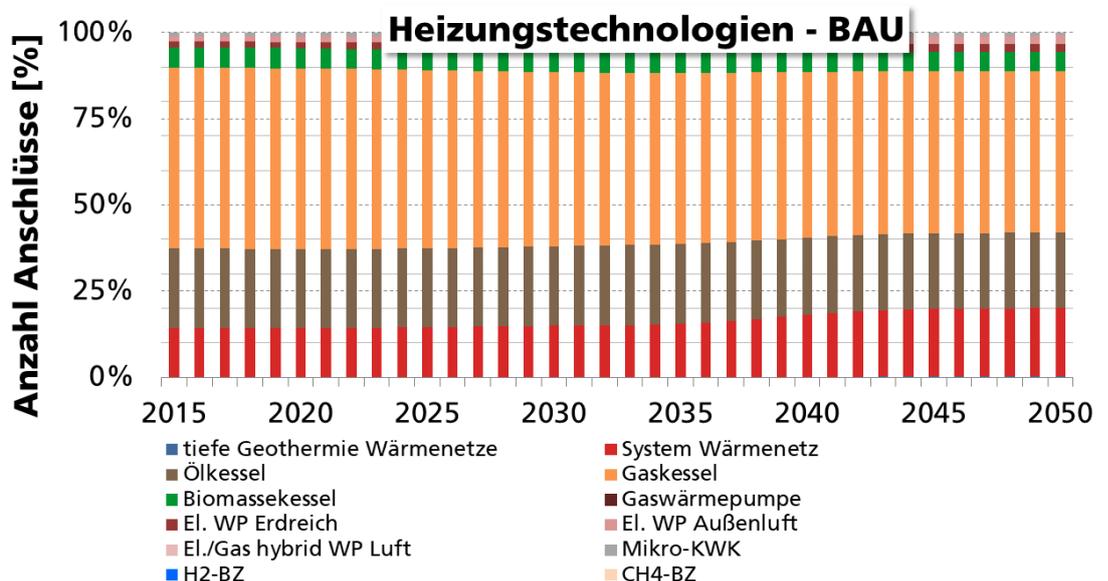


ABBILDUNG 7: ENTWICKLUNG DER WÄRMETECHNOLOGIEN BIS ZUM JAHR 2050 IM BAU-SZENARIO IN [%] DER ANZAHL DER ANSCHLÜSSE

In Abbildung 7 ist die Entwicklung der Heizungstechnologien von 2015 bis zum Jahr 2050 dargestellt. Entsprechend den Annahmen finden kaum Änderungen in der Zusammensetzung statt. Lediglich durch Ablaufen der Lebensdauer von installierten Anlagen ist ein Austausch von Technologien möglich. Hierdurch ergibt sich ein leichter Anstieg der Anschlüsse ans Wärmenetz von 3,6 auf 5,3 Millionen und die Anzahl von Gasturbinen geht leicht von 13,3 Millionen auf 12,6 Millionen zurück. Auch im Bereich der Gebäudesanierung steigt die Sanierungsrate nicht weiter an und bleibt auf dem heutigen Stand von etwa 1 %.

Im Szenario „**Marktregulierung**“ werden zunächst die oben beschriebenen Maßnahmen mit in die Berechnung eines Transformationspfades des deutschen Energiesystems mit einbezogen, welche durch Regulierung des Strom- und Wärmemarktes zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen um 85 % führen. Zunächst steigt der Anteil der FEE auf insgesamt fast 600 GW_{el} an, wobei 360 GW_{el} PV, 180 GW_{el} onshore Windenergie und 40 GW_{el} offshore Windenergie installiert werden. Als Back-Up Kraftwerke werden CH₄-Gasturbinen um weitere 100 GW_{el} und Gas- und Dampfkraftwerke von 25 GW_{el} auf 58 GW_{el} ausgebaut. Im Verkehrssektor findet in diesem Szenario eine vollständige Elektrifizierung der PKW statt und LKW werden in 2050 zu 50 % durch H₂-Brennstoffzellen betrieben.

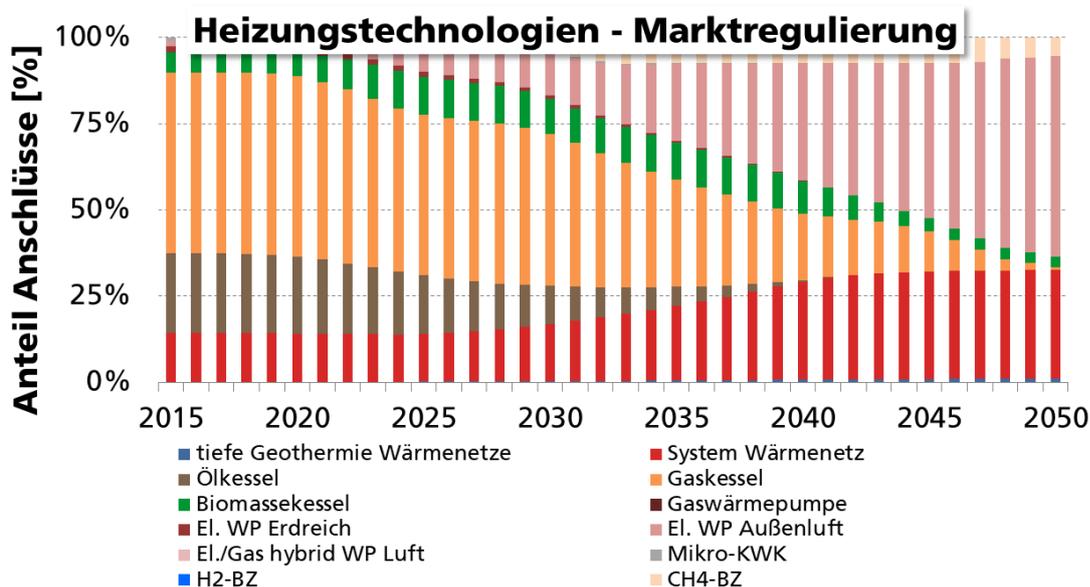


ABBILDUNG 8: ENTWICKLUNG DER WÄRMETECHNOLOGIEN BIS ZUM JAHR 2050 IM SZENARIO „MARKTREGULIERUNG“ IN [%] DER ANZAHL DER ANSCHLÜSSE

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der Heizungstechnologien im Szenario „Marktregulierung“ bis zum Jahr 2050. Hierbei geht durch die abnehmende Attraktivität von konventionellen Wärmeerzeugern der Anteil von Gas- und Ölkesseln bis zum Jahr 2050 auf unter 5 % zurück. Der Anteil von Anschlüssen ans Wärmenetz an den Heizungstechnologien steigt von 12 % in 2015 auf 32 % im Jahr 2050 an. Dominierende Technologie im Jahr 2050 sind elektrische Wärmepumpen mit Außenluft als Wärmequelle, die einen Gesamtanteil von über 60 % erreichen. Insgesamt bestehen die Heizungstechnologien somit in 2050 zu 92 % aus Wärmepumpen und Wärmenetzen. Zusätzlich findet ab dem Jahr 2030 ein kleiner Ausbau von CH₄-Brennstoffzellen statt, welche im Jahr 2050 einen Gesamtanteil von 5 % erreichen.

In Szenario „**Trans-Wärmesektor**“ werden die im Szenario „Marktregulierung“ angewendeten Maßnahmen durch ein vollständiges Verbot von konventionellen Wärmeerzeugern sowie der Einführung einer Quote für erneuerbare Wärmeerzeuger weiter verschärft. Insgesamt trägt dies dazu bei, dass in diesem Szenario eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 95 % in Bezug auf 1990 erreicht. Im Vergleich zum Szenario Marktregulierung ist hierfür eine um 200 GW_{el} größere Leistung von FEE notwendig. Im Verkehrssektor werden PKW ebenso in 2050 vollständig elektrifiziert, wobei die Einführung von Batterieelektrischen Fahrzeugen schon 10 Jahr früher stattfindet. Bei den LKW haben Verbrennungsmotoren im Jahr 2050 lediglich noch einen Anteil von 1 %, die restlichen Antriebstechnologien sind vollständig H₂-Brennstoffzellen.

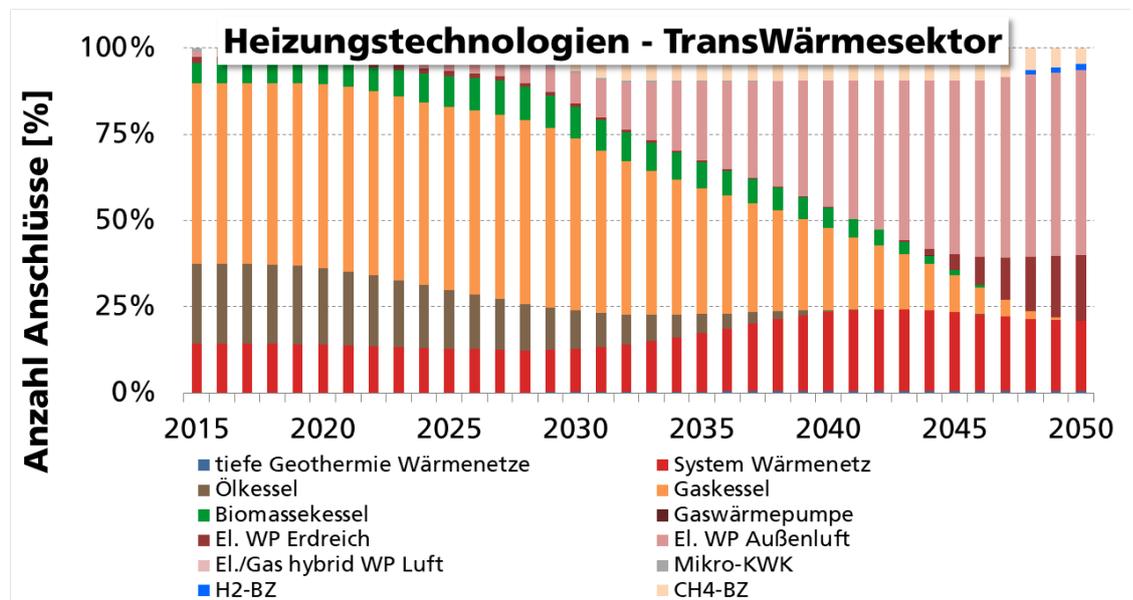


ABBILDUNG 9: ENTWICKLUNG DER WÄRMETECHNOLOGIEN BIS ZUM JAHR 2050 IM SZENARIO „MARKTREGULIERUNG“ IN [%] DER ANZAHL DER ANSCHLÜSSE

Bei der Entwicklung des Wärmesektors, abgebildet in Abbildung 9, werden konventionelle Wärmetechnologien wie Öl- und Gaskessel durch das Verbot dieser bis zum Jahr 2050 vollständig verdrängt. Während im Szenario Marktregulierung die Wärmetechnologien fast vollständig auf elektrische Wärmepumpen mit Außenluft als Wärmequelle und Wärmenetze umgestellt werden, ist der Anteil dieser im Szenario „Trans-Wärmesektor“ mit 55 % elektrischen Wärmepumpen mit Außenluft als Quelle und 20 % Anschlüssen ans Wärmenetz um 20 % geringer. Diese Differenz kommt durch den Einsatz von elektrischen Wärmepumpen mit Erdreich als Wärmequelle zustande, da diese zwar teurer sind, jedoch eine höhere Jahresarbeitszahl aufweisen und damit effizienter arbeiten. Hierdurch kann eine CO₂-Reduktion von 95% erreicht werden. Brennstoffzellen haben einen ähnlich hohen Anteil wie in Szenario Marktregulierung, wobei hiervon 2 % Wasserstoff als Energiequelle nutzen. Im Bereich der Gebäudesanierung steigt die Sanierungsrate auf durchschnittlich 2 % pro Jahr an. Insgesamt sind somit ca. 55 % des gesamten Gebäudebestandes saniert, wovon 9 % hocheffizient saniert werden.

Zusammengefasst zeigt die Analyse, dass nur ein vollständiges Policy Package mit einer Implementierung aller Maßnahmen ausreichend ist, um die Ziele einer hohen CO₂-Reduktion zu erreichen, da die Transformation und die umzusetzenden Maßnahmen umfangreich und weitreichend sind.

6.3 Rolle und Einfluss von Prosumern im sektor-integrierten Energiesystem

Beitrag der Universität Stuttgart IER

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- „Kosteneffizienz“
- „Förderung des sozialen Zusammenhalts“
- „Effektivität“

für das Policy Package

Einleitung

Um die Klimaziele zu erreichen, muss unser Energiesystem bis 2050 nahezu vollständig dekarbonisiert sein. Dies umfasst neben dem Stromsektor ebenso die Sektoren Wärme und Verkehr. Innerhalb der verschiedenen Dekarbonisierungsmöglichkeiten für den Wärmesektor könnten elektrische Wär-

mepumpen eine herausragende Bedeutung erlangen¹⁸. Zwei Gründe sind dafür entscheidend. Erstens sind viele der erneuerbaren, kostengünstigen und damit wettbewerbsfähigen Energieerzeugungstechnologien elektrisch - PV, Biomasse (KWK), Wind (on-/offshore), Laufwasser, Pumpspeicher. Diese Technologien tragen zur Dekarbonisierung des Stromsektors bei, aber ebenso auch zur Reduktion von CO₂ in anderen Sektoren, wenn diese durch elektrische Anwendungen - wie Wärmepumpen - mit dem Stromsystem verknüpft sind (Sektorintegration). Darüber hinaus sind insbesondere Wärmepumpen energetisch hoch effizient, da sie die elektrische Energie nicht direkt in thermische Energie umwandeln, sondern dazu nutzen, Umgebungswärme zu verschieben. Auf diese Weise könne mit einer Einheit elektrischer Energie über drei Einheiten thermischer Energie für Gebäudewärme nutzbar gemacht werden.

Die Dekarbonisierung des Wärmesektors ist also a) stark verknüpft mit der Dekarbonisierung des Stromsektors und b) involviert viele einzelne dezentrale Akteure, z.B. Besitzer von Wärmepumpen, PV-Anlagen und elektrischen wie thermischen Speichern.

Gleichzeitig führt das Zusammenspiel unterschiedlicher regulatorischer Marktrahmenelemente dazu, dass die Summe der persönlichen Optima einzelner Akteur*innen bzw. Akteursgruppen vom Gesamtsystemoptimum abweichen kann. Dies kann nicht nur zu insgesamt steigenden Gesamtsystemkosten führen, sondern darüber hinaus zu Verteileffekten zwischen einzelnen Akteursgruppen. Diese könnten bei derzeitigem regulatorischen Rahmen dazu führen, dass insbesondere einkommenschwächere Haushalte belastet werden. Andererseits erfordert eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems die Akzeptanz durch eine breite Mehrheit der Bevölkerung. Dies setzt unter anderem voraus, dass die Energiewende als gerecht und finanziell zumutbar empfunden wird. Grundlage dafür ist die Weiterentwicklung des bestehenden regulatorischen Rahmens.

Methodik

Vor der Weiterentwicklung des bestehenden regulatorischen Rahmens sollte eine Bestandsaufnahme des derzeitigen Systems stehen. Dies geschieht im Folgenden, wobei eine Folgenabschätzung vorgenommen wird mit besonderem Fokus auf zwei Kriterien:

- Förderung des sozialen Zusammenhalts, insbesondere in Hinblick auf die Belastungssituation
- Ethische Akzeptabilität, insbesondere in Hinblick auf Gerechtigkeit

Aus Sicht des Endkunden sind Strompreise im Speziellen und Energiepreise im Allgemeinen durch regulatorische Kostenkomponenten dominiert, die das reine Marktpreissignal (Großhandelspreise) überlagern. Im Bereich des Stromsektors zählen zu diesen regulatorischen Kostenkomponenten insbesondere die EEG-Umlage als Refinanzierungsinstrument der EE-Förderung und die Netzentgelte zur Refinanzierung der Netzkosten.

Die Grundidee der Analyse besteht daher in der konsistenten Verknüpfung eines Strommarktmodells (Systemperspektive) mit einer Full Cost of Energy (FCOE) – Analyse (Akteursperspektive), welche die oben genannten regulatorischen Kostenkomponenten enthält.

¹⁸ A. Bloess, W.-P. Schill und A. Zerrahn, „Power-to-heat for renewable energy integration: A review of technologies, modeling approaches, and flexibility potentials,“ *Applied Energy*, vol. 212, pp. 1611-1626, 2018.

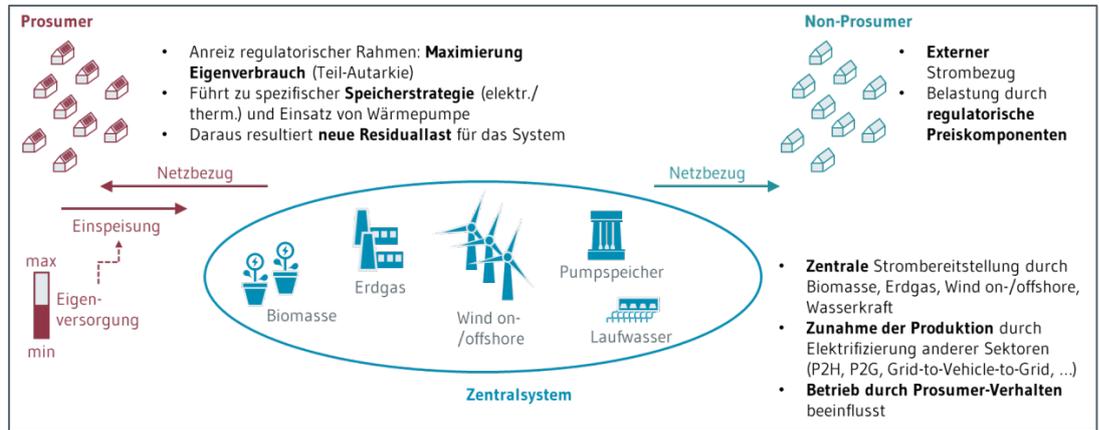


ABBILDUNG 10: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES MODELLIERUNGSANSATZES MIT MODELL-ENDOGENER ABBILDUNG VON PROSUMERN.

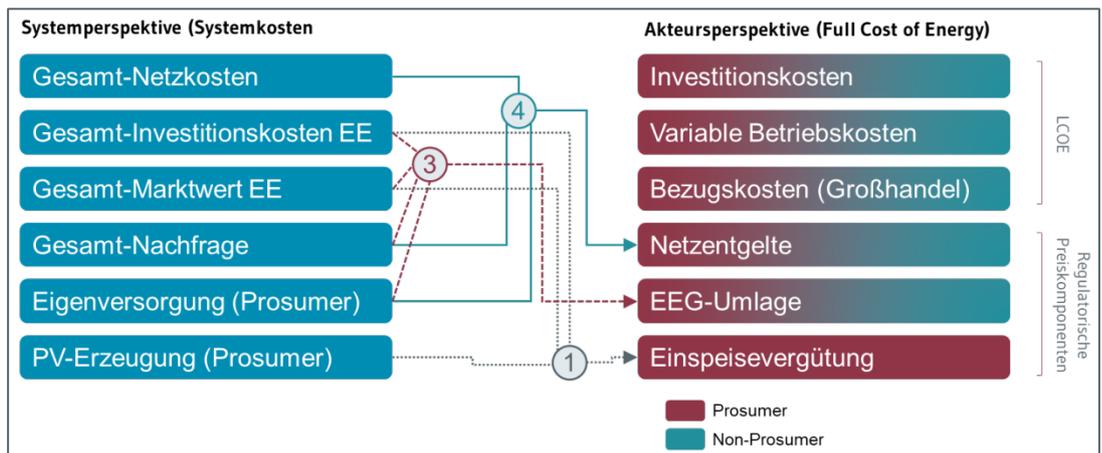
Da insbesondere auch Verteileffekte genauer untersucht werden sollen, liegt der Fokus der Analyse auf den Wechselwirkungen zweier prototypischer Akteursgruppen:

- Prosumer-Haushalte mit PV-Anlage, Wärmepumpe, Batterie- und thermischen Speicher. Diese erzeugen ihre Energie in weiten Teilen selbst, ergänzt durch externen Strombezug.
- Non-Prosumer-Haushalte mit externem Strombezug, Wärmepumpe und thermischen Speicher.

Dabei sollen insbesondere die Auswirkungen untersucht werden, die sich aus a) systemdienlichen Speichereinsatz und b) individueller Optimierung der Prosumer-Haushalte ergeben.

Für die Analyse nutzen wir ein Strommarktmodell (E2M2) mit stündlicher Auflösung und Greenfield-Ansatz¹⁹. Dabei legen wir ein System mit hohen EE-Anteilen und entsprechend hoher Dekarbonisierung (95%-Szenario) zugrunde, siehe obige Schema-Abbildung, und nehmen in der Analyse, damit konsistent, aus heutiger Perspektive vergleichsweise hohe CO₂-Preisen von 150 EUR/t an²⁰.

Abbildung 11 gibt einen Überblick zwischen dem Zusammenhang von Kosten aus Sicht des Gesamtsystems und Kosten aus Sicht der einzelnen Akteursgruppe. Dabei wird deutlich, dass System- und Akteursperspektive vollständig integriert betrachtet werden.



¹⁹ D.h., keine existierenden Kraftwerks- und Speicherkapazitäten vor Beginn des Modellierungszeitraums angenommen.

²⁰ Siehe dazu auch P. Gerbert, P. Herhold, J. Burchhardt, S. Schönberger, F. Rechenmacher, A. Kirchner, A. Kemmler und M. Wunsch, „Klimapfade für Deutschland,“ 2018. [Online]. Available: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/> mit Annahme von 124 EUR/t CO₂ für eine 80-95% Reduktion.

ABBILDUNG 11: ZUSAMMENSPIEL ZWISCHEN SYSTEMPERSPEKTIVE (LINKS) UND AKTEURSPERSPEKTIVE (RECHTS) BEI DER HERLEITUNG DER VERSCHIEDENEN KOSTENKOMPONENTEN. NUMMERN IN KREISEN BEZIEHEN SICH AUF DIE JEWEILIGE GLEICHUNG (UNTEN STEHEND).

Mit FIR = Einspeisevergütung (PV), I^{total} = Investitionskosten (Summe über Technologie), P^{total} = Produzierte (elektrische) Energie aus PV (Summe über Anzahl Prosumer), p = Großhandelspreis, CA_i = EEG-Umlage (Bio, Wind), CA_{RES} = EEG-Umlage inkl. PV, D^{total} = Bedarf (Gesamtsystem), SC^{total} = Eigenversorgung (Summe über Anzahl Prosumer) sind im Folgenden wesentliche funktionale Zusammenhänge aufgeführt:

$$FIR_{PV} = \frac{I_{PV}^{total} - \sum_{t=1}^{8760} P(t)_{PV}^{total} \cdot p(t)}{P_{PV}^{total}} \quad (1)$$

$$CA_i = \frac{I_i^{total} - \sum_{t=1}^{8760} P(t)_i^{total} \cdot p(t)}{D^{total} - SC^{total}} \quad (2)$$

$$CA_{RES} = \sum_i CA_i + FIR_{PV} \cdot \frac{P_{PV}^{total} - SC^{total}}{D^{total} - SC^{total}} \quad (3)$$

$$CA_{grid} = \frac{C_{grid}^{total}}{D^{total} - SC^{total}} \quad (4)$$

Ergebnisse

Abbildung 12 stellt sowohl die Gesamtsystemkosten (blau) als auch die Vollkosten des Prosumers (blau) in Abhängigkeit seines Eigenversorgungsgrades dar. Es wird ersichtlich, dass für den Prosumer bei derzeitigem regulatorischen Rahmen ein hoher Eigenversorgungsgrad angestrebt wird, das individuelle Optimum liegt in diesem Fall bei einer Eigenversorgungsquote von 60%. Gleichzeitig steigen dabei aber die Gesamtkosten im System. Ab einem Eigenversorgungsgrad > 47% haben die Steigungen der roten (Prosumer) und der blauen (System) Kurve umgekehrte Vorzeichen, der Anreiz für den Einzelnen zur Vermeidung von Abgaben/ Umlagen führt also zu Mehrbelastung des Systems. Dieser Effekt verstärkt sich im Falle von aus System-sicht unflexiblen Ladestrategien, beispielsweise chronologischem Laden. Hierbei versucht der Prosumer, die produzierte Energie seiner PV-Anlage entweder sofort direkt zu nutzen oder, sofern möglich, seine Speicher (Batterie und Wärmespeicher) zu laden, bis diese ihr Maximum erreicht haben. Diese Inflexibilität führt im System zu einer in Summe non-optimalen EE-Integration (insbesondere bei Wind) und damit zur Notwendigkeit eines vergleichsweise höheren fossilen Brennstoffeinsatzes und entsprechend höherer variabler Kosten und CO₂-Emissionen – und in Summe zu insgesamt steigenden Systemkosten. Bei hohen Eigenversorgungsgraden (60%) kann es zu zusätzlichen Systemkosten in Höhe von 1,15 Mrd. EUR pro Jahr kommen.

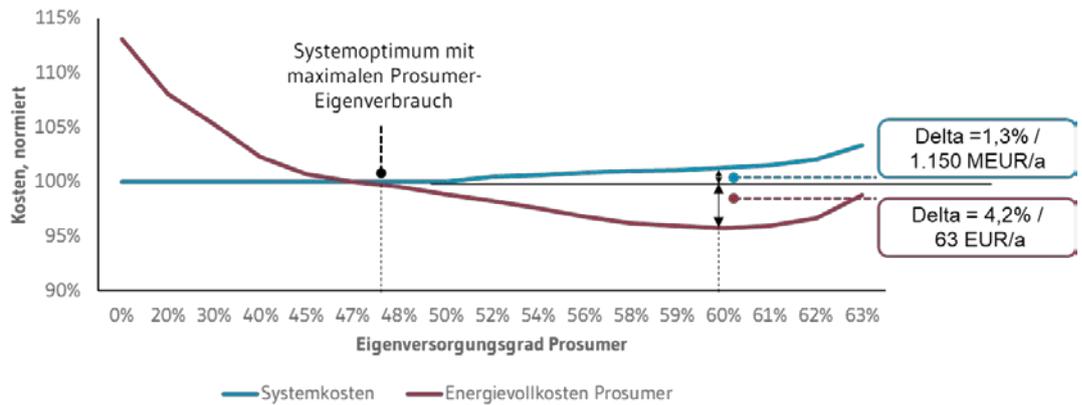


ABBILDUNG 12: NORMIERTE SYSTEMKOSTEN VERSUS NORMIERTE PROSUMER-ENERGIEVOLLKOSTEN (FCOE) ALS FUNKTION DER EIGENVERBRAUCHSQUOTE.

In Bezug auf das Thema Verteilungsgerechtigkeit gibt Abbildung 13 Aufschlüsse. Hier sind Prosumer- und Non-Prosumer-Vollkosten als Funktion der Eigenversorgung aufgetragen. Es zeigt sich, dass Non-Prosumer-Haushalte durch eine stärkere Eigenversorgung der Prosumer deutlich belastet werden. Dies liegt insbesondere daran, dass eine stärkere Eigenversorgung der Prosumer dazu führt, dass die Refinanzierungskosten für die EE-Förderung und die Netze auf weniger Schultern verteilt werden und für diese dadurch höher ausfallen.

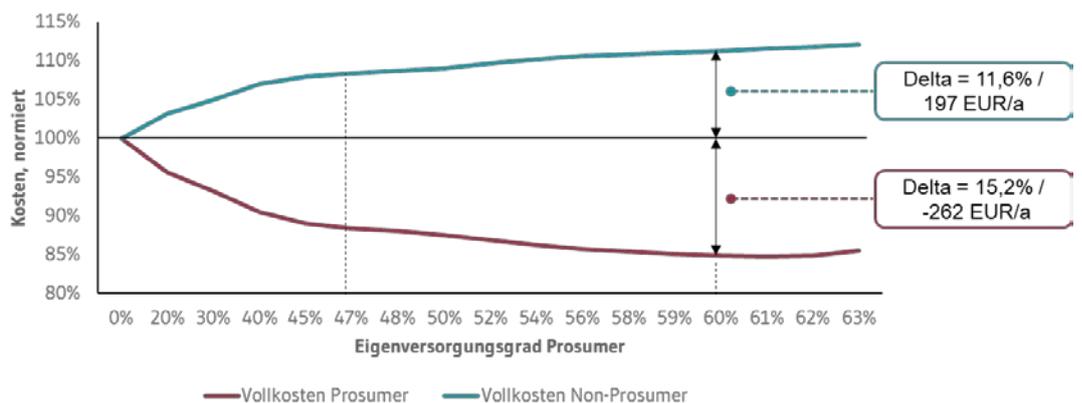


ABBILDUNG 13: NORMIERTE ENERGIEVOLLKOSTEN FÜR PROSUMER UND NON-PROSUMER ALS FUNKTION DER EIGENVERBRAUCHSQUOTE .

Ein wichtiges Merkmal von Prosumern ist die räumliche Nähe von Erzeugung und Verbrauch, welche ebenfalls Auswirkungen auf das Verteilnetz hat. Abbildung 14 stellt die maximale Rückspeisung der Prosumer in Abhängigkeit der Eigenversorgung dar. Mit zunehmender Eigenversorgung kann die Rückspeisung reduziert werden, was eine direkte Folge größerer Speichersysteme ist. Allerdings ändert sich das Bild im Fall von unflexiblen Speicherstrategien wie etwa dem chronologischen Laden. Dieses kann sogar bei Installation großer Flexibilitäten zu hohen Rückspeisespitzen und damit potenziell zu Mehrbelastung des Verteilnetzes führen. Dies illustriert ein grundsätzliches Problem in der Struktur der Netzentgelte. Denn anders als durch die Einheit „EUR/MWh“ suggeriert, ist die Netzinfrastruktur als wesentlicher Bestandteil der Netzkosten nicht grenzkosten-basiert. Eine Vermeidung von Netzentgelten durch Prosumer bei Eigenverbrauchsmaximierung resultiert also nicht 1:1 in einen in Summe kostensenkenden Effekt für das Netz. Wie die Analyse zeigt, kann sogar das Gegenteil antreten und Netzkosten durch wenige, dafür hohe Belastungen der Infrastruktur sogar zusätzlich entstehen.

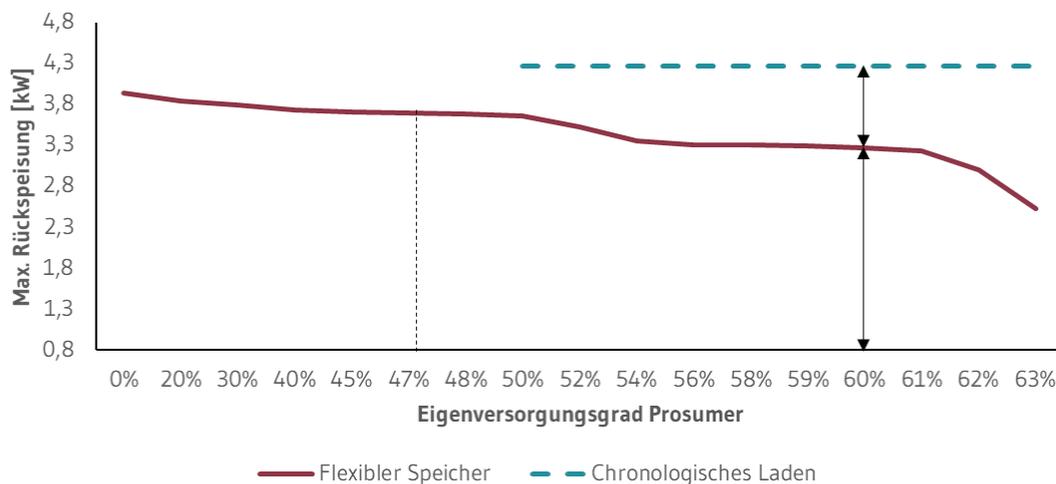


ABBILDUNG 14: MAXIMALE RÜCKSPEISUNG IN DAS VERTEILNETZ, PRO PROSUMER-HAUSHALT, ALS FUNKTION DER EIGENVERBRAUCHSQUOTE.

Schlussfolgerungen

Die Transformation unseres Energiesystems in Richtung eines 100% EE-Systems hängt stark vom Einsatz erneuerbarer Energiequellen mit niedriger Energiedichte und daher dezentralem Charakter ab. Die systemdienliche Einbindung von dezentralen Akteuren/ Prosumern ist daher von zentraler Bedeutung. Unsere Analyse eines stark vereinfachten Energiesystems mit hohen Anteilen von sowohl EE als auch Prosumern zeigt jedoch, dass das Wechselspiel verschiedener regulatorischer Marktrahmentinstrumente zu Verzerreffekten führen kann, die insbesondere Non-Prosumer-Haushalte stärker belastet. Diese Effekte müssen bei der (Weiter-)Entwicklung des zukünftigen Marktrahmens unbedingt berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass sowohl aktive Marktteilnehmer (Prosumer) als auch Non-Prosumer in das System angemessen berücksichtigt und integriert werden. Dies wird in der zentralen teilsystembezogene Maßnahme „Überarbeitung Abgaben, Umlagen und Entgelten im Stromsektor“ im Policy Package adressiert, siehe Kapitel 5.5. Dabei haben wir insbesondere drei Aspekte herausgearbeitet.

- Durch hohe Eigenversorgungsgrade, wie sie im derzeitigen regulatorischen System angereizt werden, im Kombination mit unflexiblen Speicherstrategien, beispielsweise chronologisches Laden, können nachteilige Effekte für das System entstehen. EE-Integration könnte abnehmen und sowohl CO₂-Emissionen als auch Systemkosten steigen.
- Ein Mehr an Batteriespeichern könnte (wenn entsprechend betrieben) zur Entlastung des Verteilnetzes beitragen, da Rückspeisespitzen besser abgedeckt werden können. Andererseits können wiederum unflexible Speicherstrategien zum gegenteiligen Effekt führen, d.h. zu zusätzlicher Netzbelastung und damit gegebenenfalls zur Notwendigkeit von Netzausbau. Dies wiederum könnte durch die bestehenden Umlage-Mechanismen insbesondere Non-Prosumer-Haushalte belasten. In Summe zeigt dies, dass ein Umbau des Netzentgeltmechanismus in Richtung Verursachergerechtigkeit stärker systemdienliches Verhalten anreizen sollte.
- Die regulatorischen Verteilmechanismen führen zu zusätzlicher Belastung der Non-Prosumer bei hohen Eigenversorgungsgraden der Prosumer. Diese Belastung können im zweistelligen Prozentbereich liegen und sind damit insbesondere für einkommensschwache Haushalte relevant. Auf etwas abstrakterer Ebene wird die Herausforderung noch deutlicher: Grundsätzlich verändern sich durch die Energiewende die Struktur der Gesamtsystemkosten: Capital Expenditures (CapEx) gewinnen an Bedeutung, während Operating Expenditures (OpEx) an Bedeutung verlieren. Prosumer verfügen über die Mittel, zu investieren (CapEx) um damit ihre Betriebskosten (OpEx) zu senken. Diese Möglichkeit haben Non-Prosumer oftmals nicht und müssen gleichzeitig die fehlenden Beiträge zur Refinanzierung von Infrastrukturen (EE/EEG, Netze/Netzentgelte) mit zusätzlichen Belastungen kompensieren.

Diese Punkte zeigen, dass eine Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens insbesondere auch an der derzeitigen Struktur von umlage-basierten Finanzierungsinstrumenten wie EEG-Umlage und

Netzentgelte ansetzen muss. Auf diese Weise können marktbasierende Instrumente, wie etwa eine CO₂-Bepreisung, die Wirkung entfalten, die notwendig ist, um die Emissionsreduktionsziele zu erreichen.

6.4 Energieträgerpräferenzen der Industrie: Erkenntnisse aus neu erhobenen Verhaltensparametern

Beitrag des Fraunhofer ISI

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“
- „Effektivität“
- "Förderung des sozialen Zusammenhaltes"
- "Ethische Akzeptabilität"
- "Wirtschaftliche Planungssicherheit"

für das Policy Package

Einleitung

Die Industrie benötigt etwa 29% (725 TWh von 2520 TWh) der in Deutschland nachgefragten Endenergie²¹. Von dieser Menge entfallen 17,5% (127 TWh) auf die Dampferzeugung für Prozesswärme²². Die damit verbundenen direkten Emissionen lassen sich auf 35 Mt abschätzen²³. Für die Einhaltung der Klimaziele spielt neben der Energie- und Materialeffizienz und Suffizienz auch die Wahl der eingesetzten Energieträger eine entscheidende Rolle. Heute werden vorrangig Erdgas, außerdem Kohle und Öl zur Dampferzeugung eingesetzt. Eine Reduktion der CO₂-Emissionen von über 95% bis 2050 ist bei verbleibender Nutzung fossiler Brennstoffe nicht erreichbar. Perspektivisch muss daher eine CO₂-arme oder -neutrale Dampferzeugung erfolgen. Dies setzt eine weitreichende Diffusion von Dampferzeugern voraus, die erneuerbare Energieträger verwenden.

In AP6.9 von ENavi wurden daher die Präferenzen von Entscheidungsträgern in energieintensiven Unternehmen in Deutschland mit Blick auf Investitionen in Dampferzeuger untersucht. Dazu erfolgte die Erhebung von Primärdaten im Rahmen einer Umfrage. Die Ergebnisse dieser Umfrage wurden für die modellgestützte Simulation von Entscheidungen bei der Energieträgerwahl genutzt, um die Wirkung politischer Maßnahmen abzuschätzen.

Im Folgenden wird die verwendete Befragungsmethodik erläutert (Abschnitt 2) und die Ergebnisse der Umfrage berichtet (Abschnitt 3). Abschließend werden in Abschnitt 4 daraus die Verwendung der Ergebnisse in der Modellierung zur Identifikation und Bewertung möglicher Politikmaßnahmen diskutiert.

Methode

Die Befragung wurde zwischen Juli und Oktober 2018 durchgeführt. Dabei konnte eine Stichprobe mit Entscheidern aus 164 Unternehmen in den Sektoren 'Ernährung und Tabak' (n=116, 71%), 'Grundstoffchemie' (n=22, 13%), 'Papiergewerbe' (n=18, 11%) und 'Weitere' (n=7, 4%) generiert werden. Diese Stichprobenverteilung ist vergleichbar mit der Verteilung der Grundgesamtheit in Deutsch-

²¹ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. 2018: *Bilanz 2016*. Verfügbar unter: <https://ag-energiebilanzen.de/4-1-Home.html>.

²² Matthias Rehfeldt, Tobias Fleiter, Felipe Toro 2017: *A bottom-up estimation of the heating and cooling demand in European industry*. In: *Energy Efficiency* 11/5. S. 1057-1082. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12053-017-9571-y>.

²³ Eigene Modellrechnungen mit FORECAST. Zur Methodik siehe Fleiter et al. 2018: *A methodology for bottom-up modelling of energy transitions in the industry sector: The FORECAST model*. In: *Energy Strategy Reviews* 22. S. 237-254.

land dieser Sektoren (ausgenommen 'Weitere')²⁴. Für 53% der Befragten gehören Investitionsentscheidungen in Dampferzeuger zu ihren Arbeitsaufgaben. Weitere 28% der Befragten haben bei ihrer alltäglichen Arbeit mit Dampferzeugern zu tun, ohne direkt in Investitionsentscheidung involviert zu sein. Weitere 10% arbeiten nicht mit Dampferzeugern, taten dies aber in der Vergangenheit. Die restlichen 9% haben keine Erfahrungen mit Dampferzeugern, halten es aber für wahrscheinlich, in der Zukunft damit zu tun zu haben. Befragte, auf die keine dieser Kategorien zutrifft, wurden aus der Stichprobe entfernt.

In der Umfrage bewertete jeder Befragte neun Dampferzeuger mit Blick auf deren Attraktivität bei einer Investitionsentscheidung. Dabei handelte es sich nicht um real am Markt verfügbare Anlagen, sondern um stilisierte Produkte, die durch drei Aspekte charakterisiert wurden. Bei diesen drei Aspekten handelte es sich um

- die Wärmegestehungskosten in €/kWh (mögliche Ausprägungen: 4, 6, 8, 10),
- die Zuverlässigkeit der Systeme, angegeben als Anteil der ungeplanten nicht-Verfügbarkeit während der Betriebszeit (mögliche Ausprägungen: 1%, 0.5%, 0.1% und 0.01%) und
- der verwendete Energieträger, für den die damit verbundenen CO₂-Emissionen genannt wurden (mögliche Ausprägungen: Kohle als Referenz, Öl mit 80% der Emissionen von Kohle, Erdgas mit 60% der Emissionen von Kohle und Biomasse als CO₂-neutral).

Für jeden der neun zu bewertenden Dampferzeuger wurde eine zufällige Kombination aus den möglichen Werten dieser drei Aspekte generiert (z.B. Wärmegestehungskosten von 6 €/kWh; Stillstand von 0.5% der Betriebszeit; Erdgas als Energieträger).

Die Attraktivität der Dampferzeuger wurde mit einer sechs-stufigen Skala (1 = sehr unattraktiv bis 6 = sehr attraktiv) gemessen und mit einem hierarchischen linearen Modell mit festen und zufälligen Effekten analysiert²⁵. Die bewerteten Dampferzeuger entsprechen den Mikro-Einheiten, die innerhalb der Befragten als Makro-Einheiten geclustert sind. Das entstehende Modell erklärt 76.7% der Varianz in der Bewertung der Dampferzeuger.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Auswertung zeigt signifikante Effekte für die Wärmegestehungskosten und die Energieträger sowie die Zuverlässigkeit. Die Stärke des Einflusses der Wärmegestehungskosten hängt zudem von der Erfahrung der Befragten mit Investitionsentscheidungen ab (vgl. Kapitel 2). Insbesondere reduziert die Zunahme der Wärmegestehungskosten um 1 €/kWh die Attraktivität des Dampferzeugers für Befragte ohne Erfahrung mit Investitionsentscheidungen um 0,263 Punkte auf der sechsstufigen Bewertungsskala. Bei Befragten mit Erfahrung mit Investitionsentscheidungen fällt der Effekt mit 0,410 Punkten stärker aus. Pro Prozentpunkt Stillstandszeit an der Betriebszeit verringert sich die Attraktivität um 0,383 Punkte. Darüber hinaus wird ein ölbetriebener Dampferzeuger mit 0,926 Punkten schlechter bewertet als ein biomassebetriebener Dampferzeuger. Ein kohlebetriebener Dampferzeuger wird 1,802 Punkte schlechter bewertet als ein biomassebetriebener Dampferzeuger. Zwischen der Bewertung von erdgasbetriebenen und biomassebetriebenen Dampferzeuger zeigen sich dagegen keine signifikanten Unterschiede. Eine inhaltliche Einordnung dieser Ergebnisse ist anhand der Attraktivität eines Referenzbeispiels möglich: ein biomassebetriebener Dampferzeuger mit Kosten von 7 €/kWh und einer ungeplanten Stillstandszeit in Höhe von 0,4% der Betriebszeit wird von einem Befragten mit Erfahrung bei Investitionsentscheidungen mit 4,045 bewertet (1 = sehr unattraktiv, 6 = sehr attraktiv).

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass eine signifikante Abhängigkeit der Attraktivität der Dampferzeugung vom verwendeten Energieträger existiert. Dieser Zusammenhang lässt sich auch

²⁴ Statistisches Bundesamt (Destatis): Produzierendes Gewerbe – Betriebe, tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen, article number 2040412177004. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/BetriebeTaeetigePersonen.html>

²⁵ Vergleich u.A.: Hox, J. J. (2010). *Multilevel analysis: Techniques and applications* (2. ed.). Quantitative methodology series; Peugh, J. L. (2010). *A practical guide to multilevel modeling*. In: *Journal of School Psychology*, 48(1), 85–112.

monetär beziffern und z.B. als Aufpreisbereitschaft für bestimmte Energieträger bzw. die geringeren CO₂-Emissionen durch deren Betrieb interpretieren.

Einschränkend ist aber festzuhalten, dass die die drei in der Befragung erfassten Aspekte von Dampferzeugern nur einen Teilaspekt der Realität abdecken. So kann in der Realität bspw. die Verfügbarkeit notwendiger Infrastruktur (z.B. Erdgasanschluss) ein Hemmnis sein oder die Preise für erneuerbare Energieträger die Preisspanne der in der Befragung verwendeten Wärmegestehungskosten übersteigen. Solche Umstände mögen auch der Grund dafür sein, dass der Kohleverbrauch in den beobachteten Branchen (Chemie, Nahrung, Papier) zwischen 2000 und 2016 von 923 ktoe auf 1425 ktoe angestiegen ist²⁶.

Zusammenfassend zeigt die Untersuchung, dass generell eine Präferenz für CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung besteht. Gleichzeitig scheint die aktuell bestehende Preisstruktur einen verstärkten Wechsel zu diesen Technologien zu behindern. Das bedeutet, dass Preissignale, die diese Technologien unterstützen, wirksam sein können.

Maßnahmen

Nachfolgend werden Maßnahmen diskutiert, die sich direkt (CO₂-Preise) oder indirekt (technologie-spezifische Förderung und Maßnahmen zum Anlagenaustausch) aus den Analysen im Rahmen von AP 6 Task 9 ergeben. Die Maßnahmen werden im Kontext der Energiewendeziele, die eine weitgehende Dekarbonisierung der Industrie erfordern, diskutiert (Reduzierung der Emissionen aller Industriesektoren bis 2050 um 95% ggü. 1990). Dies impliziert auch die Notwendigkeit einer grundlegenden Transformation der Dampferzeugung, was zwei zentrale Herausforderungen mit sich bringt:

- Zwar können öl- und kohlebefeuerte Anlagen bereits heute eher als Nischenanwendungen in den untersuchten Branchen betrachtet werden. Um bis 2050 zu einer weitreichenden Dekarbonisierung zu gelangen muss die Nutzung dieser CO₂-intensiven Energieträger jedoch auch in diesen Nischenbereichen enden.
- Eine Substituierung von Kohle und Erdöl mit Erdgas wäre ebenfalls nicht ausreichend, um eine weitreichende Dekarbonisierung der Industrie umzusetzen²⁷.

Dies rückt Biomasse und Elektrizität als (bei Strom zumindest perspektivisch) weitgehend THG-neutrale Energieträger ins Zentrum der Maßnahmen. Mit Blick auf eine CO₂-Bepreisung könnte die Wirtschaftlichkeit dieser Energieträger ggü. fossilen Energieträgern verbessert werden, um einen Energieträgerwechsel bei der Dampferzeugung zu forcieren. Die Ergebnisse der Umfrage legen diesbezüglich nahe, dass es auch grundsätzliche Präferenzunterschiede hinsichtlich der Energieträger gibt, die nicht auf Unterschieden bei den Wärmegestehungskosten beruhen. So werden Kohle und Öl als deutlich unattraktiver bewertet als Erdgas und Biomasse. Mit Blick auf die Höhe der CO₂-Preise bedeutet das, dass keine komplette Nivellierung der Wärmegestehungskosten notwendig sein dürfte, um eine Änderung der Energieträgerwahl bei Investitionsentscheidungen zu erreichen. Diese grundsätzlichen Präferenzunterschiede können etwaige Mehrkosten von Erdgas und Biomasse ggü. Kohle und Öl im Bereich von mehreren €/t/kWh bei den Wärmegestehungskosten ausgleichen.

Betrachtet man die Wärmegestehungskosten²⁸ des Jahres 2014 (Abbildung 15) wird deutlich, dass **ölgelieferte Dampferzeuger** gegenüber Kohle, Erdgas und Biomasse mit Blick auf die Wärmegestehungskosten nicht konkurrenzfähig sind. Die empirisch beobachteten Kosten von Öl liegen über denen von Kohle, Erdgas und Biomasse. Im Fall von Erdgas und Biomasse würden sich zudem die grds.

²⁶ Nachdem zwischen 1990 und 2000 alle Sektoren ihre Kohlenutzung deutlich reduziert haben (-86%), was auch Strukturveränderungen nach der Deutschen Einheit zuzurechnen sein dürfte. 2016 machten Kohle und Öl in den untersuchten Branchen 11-12% (Papier und Nahrung) bzw. 26% (Grundstoffchemie) der Brennstoffnachfrage aus. In der Grundstoffchemie werden diese Energieträger auch als Rohstoff eingesetzt.

²⁷ Zur Einschätzung der Größenordnung: Würden die betrachteten Branchen ihren gesamten derzeitigen Brennstoffbedarf mit Erdgas decken, wären sie allein hierfür noch für 41 Mt CO₂-Emissionen verantwortlich. Obschon für 2050 keine klare Emissionsgrenzen definiert sind, ist mit 'weitgehender Treibhausgasneutralität' eine qualitative Zielmarke gesetzt. Übersetzt man diese mit 95% Reduktion gegenüber 1990, verbleiben 62 Mt als Gesamtsumme aller Sektoren.

²⁸ Die durch die Brennstoffe verursachten laufenden Kosten bilden den bei weitem größten Teil (80-90%) der Gesamtkosten einer Dampferzeugungsanlage über ihrer gesamten Lebensdauer.

Präferenz von Entscheidern für Erdgas und Biomasse nachteilig für die Attraktivität von Öl als Energieträger auswirken.

Bei Kohle als Energieträger liegt eine etwas andere Ausgangssituation vor. Die realen Wärmegestehungskosten (Abbildung 15) liegen hier bei etwa 2 €/t/kWh für Kohle und etwa 4 €/t/kWh für Biomasse (und Erdgas). Der Umstand, dass kohlebefeuerte Dampferzeuger trotz dieses Kostenvorteils aktuell nur noch eine Nischentechnologie darstellen, unterstreicht die Ergebnisse der Umfrage, dass eine grundsätzliche Präferenz für andere Energieträger besteht. Mit Blick auf die Klimaziele ist jedoch auch eine Substitution der Kohle in den aktuell noch bestehenden Nischen erforderlich. Für die Verwendung von Kohle in diesen Nischen sind verschiedene Gründe denkbar, z.B.:

- Die Ergebnisse der Befragung beziehen sich auf die (durchschnittliche) Attraktivität der Energieträger bei allen Befragten Entscheidungsträgern. Dies schließt nicht aus, dass es Entscheidungsträger gibt, die sich stärker an den reinen Wärmegestehungskosten orientieren und daher für Kohle als Energieträger entscheiden.
- Die Verwendung von Kohle als Energieträger kann auch das Resultat von spezifischen Standortfaktoren sein (z.B. fehlender Anschluss ans Gasnetz, schlechte Verfügbarkeit von Biomasse, besonders leichte Verfügbarkeit von Kohle), die in der Befragung nicht erfasst wurden.

Um Entscheider mit starkem Fokus auf die Wärmegestehungskosten zu beeinflussen, könnten diese über eine CO₂-Bepreisung ggü. anderen Energieträgern nivelliert werden. Dies wäre für Biomasse im Vergleich zu Kohle mit einer vergleichsweise **moderaten CO₂-Bepreisung** erreichbar: Bei einem Emissionsfaktor von Kohle von 0,34 tCO₂/kWh ergibt sich für gleiche reale Wärmegestehungskosten eine notwendige **CO₂-Bepreisung von etwa 60 €/t** zum Ausgleich der Differenz von 2 €/t/kWh. Darüber hinaus wären flankierend auch Förderinstrumente denkbar, die helfen, standortspezifische Hemmnisse zu beseitigen.

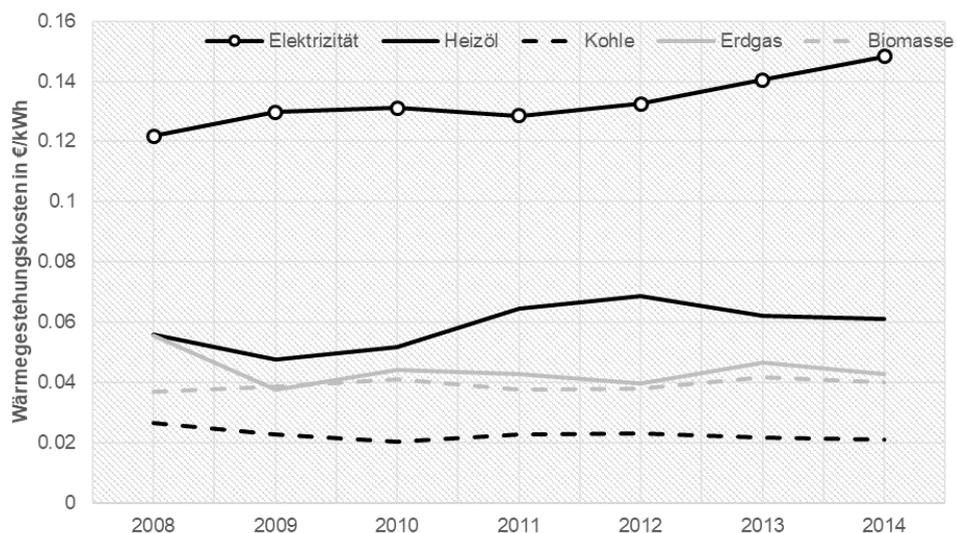


ABBILDUNG 15: WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN AUSGEWÄHLTER DAMPFERZEUGER (MODELLRECHNUNG MIT FORECAST²⁹)

Diese Angabe berücksichtigt allerdings nicht nachfragegetriebene Preissteigerungen von Biomasse. Diese sind zu erwarten, wenn die der Industrie billig aus Reststoffen zur Verfügung stehende Biomasse erschöpft ist und zum Beispiel durch Pellets oder anderweitig aufbereitete Biomasse ergänzt werden muss³⁰. Da zugleich auch mit Erdgas als primärem Energieträger die Erreichung der Klimaziele

²⁹ Rehfeldt et al. 2019: *Fuel choice in industrial steam generation: Empirical evidence reveals technology preferences*. In: Energy Strategy Reviews 26 (2019) 100407.

³⁰ Dadurch entstünde auch verstärkt Konkurrenz zwischen den Nachfragesektoren (Verkehr, Haushalte, Gewerbe) um die Biomasse. Eine nachfragebedingte Angleichung der Biomassepreise an internationale Märkte (Pellets) könnte einen Preisanstieg auf das Zwei- bis Dreifache bedeuten (Schätzung nach Fleiter et al. 2019: *Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation*).

nicht möglich ist stellt sich die Frage nach dem Einsatz von strombasierten Dampferzeugungstechnologien.

Strombasierte Erzeugungstechnologien benötigen deutlich stärkere Eingriffe, um konkurrenzfähig, beispielsweise zu Erdgas, zu sein. Aufgrund der im Vergleich zur fossilen Wärmeerzeugung höheren Strompreise³¹ wären, auch bei einer perspektivisch CO₂-armen Stromerzeugung, ein CO₂-Preis von 60 €/t nicht ausreichend, um strombetriebene Dampferzeugung für Prozesswärme attraktiv zu machen. Gerade Erdgas hat sich in den letzten Jahren als dominanter Energieträger etabliert. Daher ist, für die relevante Marktdiffusion THG-arter Technologien dieses auch als Hauptkonkurrent zu sehen. Aus den Befragungsergebnissen kann gefolgert werden, dass keine signifikante Mehrzahlungsbereitschaft für THG-arme Technologien im Vergleich zu Erdgas besteht. Entsprechend wäre ein stärkerer monetärer Anreiz zu schaffen, um die Diffusion von biomasse- oder strombasierten Technologien als Ersatz von Erdgas zu unterstützen. Als ergänzende Maßnahme kann daher eine **technologiespezifische Förderung** in Betracht kommen. Diese müsste das Ziel haben, die finalen Wärmegestehungskosten strombetriebener Dampferzeugung auf das Niveau der jeweils relevantesten fossilen Technologie zu senken. Mit Blick auf die Förderung strombasierter Dampferzeugung kann die Differenz zu den Wärmegestehungskosten durch erdgasbasierte Dampferzeugung dienen (**aktuell etwa 11 €/t/kWh**)³². Geht man von einer perspektivisch CO₂-neutralen Stromerzeugung aus, würde die Angleichung der Wärmegestehungskosten an eine erdgasbasierte Dampferzeugung einen CO₂-Preis von etwa **500 €/tCO₂** erfordern.

Bei den bisher diskutierten Maßnahmen ist jedoch auch die zeitliche Komponente der Technologiediffusion zu bedenken. Aufgrund der **langen Lebensdauer industrieller Dampferzeuger** (20 bis 40 Jahre) werden Anlagen, die in den kommenden Jahren gebaut werden, zu einem großen Teil auch 2050 noch in Betrieb sein und Emissionen erzeugen. Vor diesem Hintergrund sind zwei Handlungsoptionen interessant:

- Zum einen können **starke Preissignale** für eine schnelle und tiefe Diffusion von perspektivisch CO₂-neutralen strombasierten Technologien sorgen. Die Preissignale müssten technologiespezifisch und **langfristig verlässlich** erfolgen; auch um Anlagenherstellern die Investitionssicherheit zu geben, entsprechende Kapazitäten aufzubauen.
- Alternativ (oder ergänzend) ist es daher denkbar, fossile Prozesswärmeanlagen per Verbot abzuschalten bzw. ihre **Lebensdauer zu begrenzen**. Als sanfteres Mittel kommen finanzielle Anreize zum **vorzeitigen Austausch** in Verbindung mit einem Neubauverbot fossiler Anlagen infrage. Dies könnte vergleichsweise spät (2030+) geschehen, wenn der Umwandlungssektor stärker dekarbonisiert ist und strombasierte Prozesswärmeanlagen wirtschaftlicher sind.

Für beide Maßnahmen ist eine langfristig verbindliche Kommunikation notwendig, um langfristigen Investitionsplanungen der Betreiber Rechnung zu tragen und den Anlagenherstellern eine Anpassung ihres Angebotsportfolios zu ermöglichen.

Exemplarische Folgenabschätzung

Die vorgeschlagenen Maßnahmen berühren mehrere der Kriterien des ENavi-Bewertungsansatzes³³. Als direkt auf die Senkung der Treibhausgasemissionen abzielende Maßnahmen das Kriterium 'Effektivität', als mit Investitionen und Kosten behaftete Maßnahmen zudem das Kriterium 'Kosteneffizienz/ Gesamtkosten'. Ebenso stellt sich die Frage der Lastenverteilung weswegen auch das Kriterium 'Förderung des sozialen Zusammenhalts' berührt ist. Relevant scheint auch die Untersuchung der 'ethi-

³¹ Je nach Bezugsmenge zwischen 4 und 13 €/t/kWh, im mittleren Band (IC, 500-2000 MWh) 7.8€/t/kWh. Nicht zu verwechseln mit den (aber Grundlage der) in Abbildung 15 dargestellten Wärmegestehungskosten für Dampf. Zum Vergleich: Die Gaspreise bewegen sich (ebenfalls verbrauchsabhängig) zwischen 2 und 4 €/t/kWh. Siehe Eurostat 2018: *Electricity prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*, nrg_pc_205.

³² Dabei handelt es sich um eine erste modellbasierte Schätzung. Differenzen bei den Strompreisen in unterschiedlichen Branchen und Unternehmensgrößen sind dabei nicht berücksichtigt.

³³ Quitzow, R., Bangert, A., Düber, D., Fraune, C., Fricke, A., Gaschnig, H., Zeccola, M. (2018). *Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi*.

schen Akzeptabilität' aufgrund im Zusammenhang mit möglichen Eingriffen in den Privatbesitz durch Betriebs- oder Neubauverbote. Die diskutierten Maßnahmen berühren zudem den Aspekt 'Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt'. Nachfolgend werden die Maßnahmen mit Blick auf diese Kriterien diskutiert.

Effektivität: Für sich allein gesehen ist zu erwarten, dass eine rein preisbasierte Beeinflussung der Technologieauswahl nicht effektiv ist³⁴. Insbesondere die hohe Lebensdauer von Prozessdampferzeugern erzeugt unmittelbar hohen Handlungsdruck, keine fossil befeuerten Anlagen mehr zuzubauen zu lassen. Die Ergänzung um ordnungsrechtliche Maßnahmen erscheint notwendig, um weitgehende THG-Neutralität bis 2050 zu erreichen.

Kosteneffizienz: Die Arbeiten in AP 6 Task 9 legen nahe, dass für eine vergleichbare Attraktivität von THG-neutralen Energieträgern mit Erdgas die Angleichung der Wärmegestehungskosten notwendig ist. Die Modellierung in Task 9 legt eine zu nivellierende Preisdifferenz von 11 ct/kWh bei der Wärmegestehung nahe, die sich überwiegend aus den unterschiedlichen Preisen der Energieträger ergibt, die 80%-90% der Gesamtkosten ausmachen. Inwieweit eine entsprechende Nivellierung der Wärmegestehungskosten volkswirtschaftlich kosteneffizient ist lässt sich nur im Vergleich mit zu alternativen Maßnahmen³⁵ in anderen Bereichen abschätzen.

Förderung des sozialen Zusammenhaltes: Gerade im Falle einer technologiespezifischen Förderung von THG-neutralen Technologien stellt sich die Frage der Lastenverteilung. Bereits heute klaffen Strompreise für die energieintensive Industrie und Privathaushalte deutlich auseinander. Durch die Besondere Ausgleichsregelung und den Spitzenausgleich sind Teile der Industrie von Stromsteuer und EEG-Umlage entlastet. Die Mehrkosten, die durch die Umstellung auf THG-neutrale Technologien entstehen können analog zu diesen Regelungen grundsätzlich auf drei beteiligte Gruppen verteilt werden:

- Die Unternehmen mit Dampferzeugern: wenn fossile Energieträger verteuert werden, ohne dass Subventionen für Biomasse oder Strom gewährt werden, insbes. dann wenn die Unternehmen im internationalen Wettbewerb stehen und bspw. keine 'Border Adjustment Tax' erhoben wird. Denn dann können entstehende Mehrkosten für die Wärmebereitstellung nicht auf die Produkte umgelegt werden.
- Die übrigen Stromkunden (bei strombasierter Dampferzeugung): wenn die Strompreise der betroffenen Dampferzeugenden Unternehmen durch Umlagen reduziert werden.
- Die Steuerzahler: wenn direkte Subventionen aus dem Staatshaushalt an die betroffenen Unternehmen fließen.

Die Abwägung, wie eine Lastenverteilung mit Blick auf den sozialen Zusammenhalt ausgestaltet sein sollte, ist letztlich eine politische Entscheidung.

Ethische Akzeptabilität: Der Steuerungsmöglichkeit über den CO₂-Preis sind auch rechtliche Grenzen gesetzt. So gilt, dass für das grundsätzliche Ziel, eine bestimmte wirtschaftliche Tätigkeit zu unterbinden, das Ordnungsrecht (und nicht etwa das Steuerrecht) als rechtliches Mittel vorgesehen ist (Erdrosselungsverbot)³⁶. Dies begrenzt die praktische Effektivität dieses Instruments. Wird dagegen auf das Ordnungsrecht zur Begrenzung der Laufzeiten oder der verfügbaren Dampferzeugungstechnologien zurückgegriffen, stellt sich die Frage, inwieweit solche Eingriffe in Eigentumsrechte durch das Grundgesetz gedeckt sind.

Wirtschaftliche Planungssicherheit: Planungssicherheit ist eine notwendige Voraussetzung für wirtschaftliche Tätigkeit, insbesondere für langfristige Investitionen, wie sie in der energieintensiven Industrie üblich sind. Diesbezüglich können flexible Maßnahmen wie eine CO₂-Bepreisung nachteilig

³⁴ Fleiter, T.; Herbst, A.; Rehfeldt, M.; Arens, M. (2019): Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation. ICF and Fraunhofer ISI.

³⁵ Zum Beispiel weitere Nutzung fossiler Brennstoffe unter Verwendung von Kohlendioxid-Abscheidung und Speicherung (CCS) oder Reduktion der entsprechenden wirtschaftlichen Tätigkeit. Das Kriterium der Effizienz könnte auch die Inkaufnahme von und Anpassung an Klimaschäden berücksichtigen. Aus Sicht des Kriteriums Effektivität ist dies allerdings ausgeschlossen.

³⁶ Vergleiche Beitrag in Kapitel 6.5).

sein, wenn es zu starken Preisschwankungen kommt. Erfolgt bei ordnungsrechtlichen Eingriffen und technologiespezifischen Fördermaßnahmen eine frühzeitige Kommunikation bei gleichzeitiger Verlässlichkeit der kommunizierten Rahmenbedingungen (z.B. Unabhängigkeit von wechselnden Regierungen) können die diskutierten Maßnahmen in dieser Hinsicht auch vorteilhaft wirken.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die CO₂-Bepreisung zwar u.U. weniger Konfliktpotential bzgl. des sozialen Zusammenhalts hat. Zugleich ist ihre Effektivität mit Blick auf die Emissionsziele und die langen Lebensdauern von Dampferzeugern aber fraglich. Im Rahmen der rechtlichen Möglichkeiten scheinen ordnungsrechtliche Maßnahmen daher ein geeignetes Instrument zu sein, um Maßnahmen zur Beeinflussung wirtschaftlicher Attraktivität zu flankieren. Mit Blick auf das Konfliktpotential bei der Verteilung der Lasten technologiespezifischer Fördermaßnahmen sollten diese auf ein notwendiges Minimum begrenzt bleiben. Dieses Minimum könnte sich daran orientieren, was als Nachteilsausgleich notwendig ist, um die Verfassungsmäßigkeit ordnungsrechtlicher Maßnahmen sicherzustellen (z.B. Verbot fossiler Dampferzeuger mit viel Vorlaufzeit kombiniert mit Entschädigungen für den Restwert von Dampferzeugern, die vor dem Erlass dieses Verbotes installiert aber bei Inkrafttreten die übliche Lebensdauer noch nicht erreicht haben).

6.5 Rechtswissenschaftliche Folgenabschätzung zu den Maßnahmen des Policy Packages

Beitrag des IKEM

Dieser Beitrag behandelt das Bewertungskriterium Legalität für das Policy Package

Einleitung und Methodik

Das IKEM hat die Maßnahmen des Policy Packages im Hinblick auf das Kriterium Legalität untersucht. Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen im bestehenden Rechtsrahmen wurde jeweils anhand der Unterkriterien der Vereinbarkeit mit höherrangigem Recht, der Rechtsetzungskompetenz und der zulässigen Handlungsform analysiert. Im Ergebnis können alle Maßnahmen des Policy Packages rechtskonform ausgestaltet und umgesetzt werden. Die rechtlichen Vorgaben, die bei der jeweiligen Maßnahme zu beachten sind, werden nachfolgend mit einem Schwerpunkt auf der zentralen Maßnahme der CO₂-Bepreisung dargestellt.

Ergebnisse

Zentrale Maßnahme: CO₂-Bepreisung

Einer CO₂-Bepreisung in Deutschland stehen keine wesentlichen rechtlichen Hürden entgegen. Hinsichtlich der konkreten (rechtlichen) Ausgestaltung muss sichergestellt werden, dass etwaige Wechselwirkungen mit bestehenden Instrumenten, wie z.B. dem EU ETS, ausreichend berücksichtigt werden. Andernfalls könnte es zu ungewollten Fehlsteuerungen kommen, die die Kohärenz einer flankierenden CO₂-Bepreisung gefährden würden.

Als Variante einer rechtlichen Ausgestaltung einer CO₂-Bepreisung wurde eine direkte Besteuerung von CO₂-Emissionen betrachtet. Ferner wurde eine entsprechend des CO₂-Gehaltes eines Energieträgers (wie z. B. Heizöl und Erdgas) ausgestaltete Anpassung der bestehenden Energiesteuern zu einer indirekten CO₂-Steuer und eine kombinierte CO₂-/Energiesteuer betrachtet.

Eine direkte CO₂-Bepreisung durch die Einführung einer neuen Steuer bedürfte einer Grundgesetzänderung. Das größte Potenzial bietet im Vergleich eine Energiesteuerrechtsreform hin zu einer, zumindest anteilig, indirekten CO₂-Steuer, die sich an der CO₂-Intensität des jeweiligen Energieträgers orientiert. Sie müsste allerdings die Vorgaben des Unionsrechts, insbesondere der EnergieStRL, berücksichtigen. Ein solche Gewichtung der Energiesteuern ist durch ein einfaches Parlamentsgesetz möglich und erfordert keine Grundgesetzänderung.

Besteuerung des CO₂-Gehalts fossiler Energieträger

Eine Variante ist die direkte Besteuerung der CO₂-Emissionen eines Emittenten. Es handelt sich hierbei um eine Steuer, deren Steuergegenstand unmittelbar die CO₂-Emission ist. Erforderlich wäre hierfür – im Gegensatz zur bloßen Reform des Energiesteuerrechts (s. u.) – eine Änderung des Grundgesetzes (GG) bzw. der darin geregelten Finanzverfassung. Die Änderung des Grundgesetzes wäre nötig, da eine direkte Bepreisung von CO₂-Emissionen (als Steuergegenstand) keiner der deutschen Finanzverfassung bekannten Steuerarten entspricht.

Unionsrechtliche Zulässigkeit

Die Optionen einer CO₂-Bepreisung müssen wegen des Anwendungsvorrangs³⁷ des supranationalen Unionsrechts mit diesem vereinbar sein. Primärrechtlich sind vor allem die Regelungen des Beihilferechts,³⁸ des Abgabenrechts³⁹ und der Grundfreiheiten relevant. Sekundärrechtlich sind die Regelungen

³⁷ BVerfG, Urteil vom 30.06.2009, 2 BvE 2/08, Rn. 357; Callies/Ruffert, EUV AEUV, Art. 1, Rn. 16 ff.

³⁸ Insbesondere Art. 107, 108 AEUV, wobei die Regelungen auch durch sekundärrechtliche Richtlinien ausgestaltet sind.

³⁹ Insbesondere Art. 30, 110 AEUV.

gen der Energiesteuer- (EnergieStRL),⁴⁰ der Verbrauchsteuersystem- (VerbrauchStSysRL)⁴¹ sowie der Emissionshandelsrichtlinie (ETS-RL),⁴² die 2005 das EU ETS errichtet hat, zu beachten. Daneben ist die unionsrechtlich verbindliche Zielsetzung zum Klimaschutz, vgl. Art. 191 Abs. 1 sowie Art. 194 Abs. 1 AEUV, mit in Betracht zu nehmen.⁴³

Eine nationale direkte CO₂-Steuer ist grundsätzlich mit dem Unionsrecht vereinbar.⁴⁴ Das EU ETS stellt keine abschließende unionsrechtliche Regelung dar, die es dem nationalen Gesetzgeber verbieten würde, neben dem EU ETS eine direkte CO₂-Bepreisung einzuführen oder sogar die vom EU ETS erfassten Sektoren – insoweit ist auf den Verkehrssektor bezogen aktuell nur der Flugverkehr vom EU ETS betroffen – in eine nationale CO₂-Bepreisung einzubeziehen. Die Emissionshandelsrichtlinie schließt ergänzende nationalstaatliche ordnungs- und steuerpolitische sowie sonstige Maßnahmen ausdrücklich nicht aus.⁴⁵ Die EnergieStRL steht einer direkten CO₂-Steuer ebenfalls nicht entgegen. Zum einen existiert auf Unionsebene kein einheitliches Steuerrecht. Auch hat die EU grundsätzlich kein eigenes Recht, Steuern zu erheben.⁴⁶ Ihre Kompetenzen bestehen allein darin, die nationalen Steuervorschriften zu überwachen, um sicherzustellen, dass diese mit den europäischen Zielen in den verschiedenen Politikbereichen vereinbar sind. Dazu gehört die Gewährleistung der Grundfreiheiten (freier Verkehr von Waren, Kapital und Dienstleistungen) im EU-Binnenmarkt, die Einhaltung der beihilferechtlichen Regelungen und des Verbotes, Verbraucher, Arbeitnehmer und Unternehmen aus anderen EU-Mitgliedstaaten zu diskriminieren. Aufgrund dieser eingeschränkten Kompetenzen kann der Europäische Rat in Steuerfragen nach Art. 113 AEUV nur einstimmig Rechtsvorschriften zur Harmonisierung indirekter Steuern erlassen.⁴⁷ Auf Grundlage dessen wurden die Steuern auf Energieerzeugnisse und Strom mit der derzeit geltenden EnergieStRL unionsweit harmonisiert. Die EnergieStRL adressiert CO₂ bzw. seine Äquivalente nicht als Steuergegenstände. Auch die abschließende Aufzählung der Steuergegenstände der EnergieStRL spricht nicht gegen eine direkte CO₂-Steuer. Die VerbrauchStSysRL steht der Einführung einer direkten CO₂-Steuer nicht entgegen. Eine direkte CO₂-Steuer wird vom Regelungsbereich der VerbrauchStSysRL nicht erfasst, sodass insoweit auch keine Vorgaben der VerbrauchStSysRL bestehen, die die Einführung einer direkten CO₂-Steuer erschweren. Das europäische Beihilferecht (Art. 107, 108 AEUV) ist im finanzrechtlichen Kontext grundsätzlich nur im Hinblick auf Steuerermäßigungen oder -befreiungen relevant.⁴⁸ Durch den Erlass der Leitlinien für Umwelt- und Energiebeihilfen⁴⁹ hat sich die Kommission hinsichtlich ihres Entscheidungsspielraums (Art. 107 Abs. 3 AEUV),⁵⁰ ob eine Beihilfe mit dem Binnenmarkt vereinbar ist, an die

⁴⁰ Europäischer Rat, Richtlinie 2003/96/EG vom 27.10.2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (EnergieStRL).

⁴¹ Europäischer Rat, Richtlinie 2008/118/EG vom 16.12.2008 über das allgemeine Verbrauchsteuersystem und zur Aufhebung der Richtlinie 92/12/EWG (VerbrauchStSysRL).

⁴² Europäisches Parlament und Europäischer Rat, Richtlinie 2003/87/EG vom 13.10.2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates (ETS-RL).

⁴³ Vertiefend: *Klinski*, Instrumente eines Kohleausstiegs im Lichte des EU-Rechts, EnWZ 2017, S. 206 f.

⁴⁴ So auch *Rodi*, Kohleausstieg - Bewertung der Instrumentendebatte aus juristischer und rechtspolitischer Sicht, EnWZ 2017, S. 196 f.; vgl. auch Kahl/Simmel, Europa- und verfassungsrechtliche Spielräume einer CO₂-Bepreisung in Deutschland, Würzburger Studien zum Umweltenergie recht Nr. 6, 10/2017, S. 5 ff., veröffentlicht: www.stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2017/10/stiftung_umweltenergierecht_wuestudien_06_co2_bepreisung.pdf.

⁴⁵ Kahl/Simmel, S. 6.

⁴⁶ Die EU hat seit jeher das Recht das Einkommen ihre Bediensteten/Beamte selbst zu besteuern. Vgl. Protokoll über die Vorrechte und Befreiungen der Europäischen Gemeinschaften vom 08.04.1965 (ABl. 1967 Nr. 152 S. 13; BGBI. II 1965, 1482). Als primäres Unionsrecht gehen diese Bestimmungen gem. Art. 311 AEUV den nationalen Einkommensteuerrecht vor (EuGH, Urteil vom 16.12.1960, Rs. 6/60).

⁴⁷ Vertiefend: *Waldhoff/Kahl*, in Calliess/Ruffert, EUV/AEUV, Art. 113, Rn. 1 ff.

⁴⁸ Vgl. *Cremer*, in Calliess/Ruffert, EUV/AEUV, Art. 107, Rn. 38 m. w. N. zur Rechtsprechung des EuGH.

⁴⁹ EU-Kommission, Mitteilung vom 28.06.2014, Leitlinien für Staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen, 2014/C 200/01.

⁵⁰ Der EuGH nimmt die im deutschen Verwaltungsrecht bekannte strenge Trennung von unbestimmten Rechtsbegriffen auf Tatbestandsseite und Ermessen auf Rechtsfolgenseite nicht vor. Deswegen werden administrative Entscheidungsspielräume in deutschen Übersetzungen u. a. mit Begriffen wie Ermessen oder Beurteilungsspielraum umschreiben, vgl. *Cremer*, in Calliess/Ruffert, EUV/AEUV, Art. 107, Rn. 47 m. w. N.

dortigen Vorgaben gebunden.⁵¹ Nach diesen Leitlinien sind Umweltsteuern, unter die auch eine direkte CO₂-Steuer fiele, ein grundsätzlich zulässiges Instrument.

Verfassungsrechtliche Zulässigkeit

Im Hinblick auf die verfassungsrechtliche Zulässigkeit kommt es auf die Vereinbarkeit mit dem Finanzverfassungsrecht und mit den Grundrechten des Eigentums (Art. 14 GG), der Berufsfreiheit (Art. 12 GG) und des Gleichheitsgrundsatzes (Art. 3 GG) an. Nach überwiegender Ansicht ist mangels eines generellen „Steuererfindungsrechts“ des Bundes und der Länder eine direkte CO₂-Steuer nach der bestehenden Finanzverfassung unzulässig.⁵² Eine direkte CO₂-Steuer wird nicht vom Numerus Clausus der Steuerarten der Finanzverfassung (Art. 106 GG) erfasst wird.⁵³ Eine derartige CO₂-Steuer ist weder eine Verbrauchsteuer,⁵⁴ noch eine Verkehrsteuer oder eine Aufwandsteuer.⁵⁵ Nach der überwiegenden Ansicht darf der einfache Gesetzgeber sich nur der in Art. 106 GG genannten Steuern oder Steuerarten (Numerus clausus der Steuerarten) bedienen.⁵⁶ Dies wurde zuletzt auch durch das Urteil des Bundesverfassungsgerichtes (BVerfG) zur Kernbrennstoffsteuer höchstrichterlich bestätigt.⁵⁷

CO₂-Steuer durch Änderung der Finanzverfassung

Es bleibt die Möglichkeit, durch Änderung der Finanzverfassung (Art. 106 GG) eine direkte CO₂-Steuer einzuführen.⁵⁸ Der Numerus Clausus der Steuerarten nach Art. 105, 106 GG stellt keine institutionelle Garantie des gegenwärtigen Steuerrechtssystems bzw. der darin vorgesehenen Steuerarten dar. Es ist nur die Einführung von Steuern, deren Ertrag nicht nach Art. 106 GG zugewiesen wird, unzulässig.⁵⁹ Demnach kann durch eine Verfassungsänderung,⁶⁰ insbesondere des Art. 106 GG, eine direkte CO₂-Steuer eingeführt werden.⁶¹ In Anbetracht der hohen Hürde einer Verfassungsänderung, für die es nach Art. 79 Abs. 2 GG einer qualifizierten Mehrheit (Zweidrittelmehrheit) der Mitglieder des deutschen Bundestages und zwei Drittel der Stimmen des Bundesrates bedarf, wird die Einführung einer direkten CO₂-Steuer in Deutschland jedoch unter den aktuellen politischen Gegebenheiten als weniger wahrscheinlich eingeschätzt.

⁵¹ Vgl. *Cremer*, in Calliess/Ruffert, EUV/AEUV, Art. 107, Rn. 48 ff. m. w. N.

⁵² Vgl. *Kirchhof*, in Handbuch des Staatsrechts V, 3. Aufl. 2007, § 116 Rn. 100 ff. m. w. N.; *Heintzen*, in Münch/Kunig, GG, Art. 105 Rn. 47; *Seer*, in Tipke/Lang, Steuerrecht, § 2 Rn. 66, so auch: *Klinski*, Juristische und finanzielle Optionen der vorzeitigen Abschaltung von Kohlekraftwerken, Rechtsgutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz, 03/2015, S. 60 f, veröffentlicht: www.researchgate.net/publication/295907823_Juristische_und_finanzielle_Optionen_der_vorzeitigen_Abschaltung_von_Kohlekraftwerken.

⁵³ Vgl. dazu bereits *Rodi*, Umweltsteuern. Das Steuerrecht als Instrument der Umweltpolitik, 1993, S. 45; *Heintzen*, in Münch/Kunig, GG, Art. 105 Rn. 47 m. w. N.; *Kirchhof*, in Handbuch des Staatsrechts V, 3. Auflage 2007, § 116, Rn. 100 ff. m. w. N.; *Seer*, in Tipke/Lang, Steuerrecht, § 2, Rn. 66.

⁵⁴ Vgl. grundlegend dazu BVerfG, Beschluss vom 07.05.1963, 2 BvL 10/61, Kernbrennstoffsteuergesetz.

⁵⁵ Vgl. zur Abgrenzung von Verbrauchs- und Aufwandsteuern: BVerfG, Beschluss vom 13.04.2017, 2 BvL 6/13, Rn. 118 m. w. N.; örtliche Verbrauchs- und Aufwandsteuern liegen in der ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz der Länder (Art. 105 Abs. 2a GG).

⁵⁶ Vgl. BVerfG, Beschluss vom 13.04.2017, 2 BvL 6/13, Rn. 64 ff., wobei von Typusbegriffen die Rede ist.

⁵⁷ BVerfG, Beschluss vom 13.04.2017, 2 BvL 6/13, Rn. 69 ff, m w. N.

⁵⁸ *Klinski*, Juristische und finanzielle Optionen der vorzeitigen Abschaltung von Kohlekraftwerken, Rechtsgutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz, 03/2015, S. 61.

⁵⁹ Vgl. *Heintzen*, in Münch/Kunig, GG, Art. 105, Rn. 47, Art. 106, Rn. 10.

⁶⁰ So schon *Arndt*, Rechtsfragen einer deutschen CO₂-Energiesteuer entwickelt am Beispiel des DIW-Vorschlages, 1995, S. 72: Hinweis darauf, dass eine Umweltsteuer einem Steuertyp eindeutig zurechenbar sein müsste oder durch eine Verfassungsänderung gesichert werden muss.

⁶¹ *Klinski*, Juristische und finanzielle Optionen der vorzeitigen Abschaltung von Kohlekraftwerken, Rechtsgutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz, 03/2015, S. 61.

Hinsichtlich der Höhe der jeweiligen Steuersätze ergibt sich aus dem allgemeinen Gleichheitssatz (Art. 3 Abs. 1 GG) das Gebot der Lastengleichheit⁶² und aus der Berufsfreiheit sowie der Eigentums-garantie (Art. 12, 14 GG) ein Erdrosselungsverbot.⁶³ Das Gebot der Lastengleichheit besagt, dass in horizontaler Richtung eine gleich hohe Besteuerung bei gleicher Leistungsfähigkeit zu erfolgen hat und in vertikaler Hinsicht, dass die Besteuerung höherer Einkommen im Vergleich zur Besteuerung niedrigerer Einkommen entsprechend höher ausgestaltet werden muss.⁶⁴ Zudem ist eine konsequente Umsetzung der getroffenen Belastungsentscheidung, die sogenannte Folgerichtigkeit, sicherzustellen.⁶⁵ Nach der ständigen Rechtsprechung stellt das sogenannte Erdrosselungsverbot die äußerste Grenze für die Zulässigkeit einer Steuer dar. Gegen sie wird erst dann verstoßen, wenn der Steuersatz derartig hoch ist, dass er es in aller Regel wirtschaftlich unmöglich macht, das besteuerte „Verhalten“ vorzunehmen.⁶⁶ Dem steuerlichen Hauptzweck der Einnahmeerzielung würde eine „erdrosselnde“ Wirkung zuwiderlaufen, da letztlich das Steuersubjekt beseitigt würde.

Indirekte CO₂-Bepreisung über eine gewichtete Energiesteuer entsprechend der im Gesamtprozess der Wärmeerzeugung verursachten CO₂-Emissionen

Eine CO₂-Preiskomponente kann indirekt im Rahmen der bestehenden Energiesteuern als klassische Verbrauchssteuern erfolgen. Verbrauchssteuern sind indirekte Steuern und ermöglichen es, dass der Steuerschuldner nicht mit dem Steuerträger identisch sein muss. Eine indirekte CO₂-Bepreisung bedeutet, dass die Steuer (zumindest zum Teil) an der CO₂-Intensität eines Energieträgers, wie z. B. Heizöl, anknüpft. Nach aktueller Rechtslage sind die Energiesteuersätze je nach Energieträger differenziert und unterschiedlich hoch. Sie haben dabei keinen Bezug zum Energiegehalt oder zu den Treibhausgasemissionen, die bei der Nutzung der Kraftstoffe entstehen.

In Betracht kommt, die Höhe der Energiesteuersätze am Verbrauch eines Energieträgers wie Heizöl und Erdgas, zumindest anteilig (CO₂-Komponente) an den damit verbundenen CO₂-Emissionen zu orientieren. Für die Umsetzung käme eine Weiterentwicklung der bestehenden Energiesteuern in Erwägung. In Deutschland wird der Verbrauch fossiler Energieträger auf Grundlage der EnergieStRL durch das Energiesteuergesetz (EnergieStG) besteuert. Der Vorteil einer indirekten Besteuerung von CO₂-Emissionen im Rahmen der bestehenden Energiesteuern ist, dass im Rahmen einer klassischen bereits bestehenden Verbrauchsteuer eine Lenkungswirkung zur Minderung der CO₂-Emissionen erreicht wird.

Unionsrechtliche Zulässigkeit

Auch eine indirekte nationale CO₂-Steuer kann unionsrechtskonform umgesetzt werden. Im Gegensatz zu einer direkten CO₂-Steuer muss eine indirekte CO₂-Steuer, die an den Energieträger anknüpft, jedoch die Vorgaben der EnergieStRL⁶⁷ beachten. Diese ist insoweit spezieller als die VerbrauchSt-SysRL.⁶⁸ Die EnergieStRL verpflichtet die EU-Mitgliedstaaten, für abschließend aufgezählte Steuergegenstände – Energieerzeugnisse (Art. 2 EnergieStRL) wie z.B. auch fossile Kraftstoffe wie Gasöl,

⁶² BVerfG, Beschluss vom 23.06.2015, 1 BvL 13/11, 1 BvL 14/11, Rn. 72 f. m. w. N.; Die Begrifflichkeit ist nicht allgemein anerkannt: So spricht z. B. Jarass, in Jarass/Pieroth, GG, Art. 3, Rn. 44 ff., vom Gebot der Belastungsgleichheit wie auch das BVerfG zuletzt im Beschluss vom 25.06.2014, 1 BvR 668/10, 1 BvR 2104/10, Rn. 48 und Wolff, in Hömig/Wolff, GG, Art. 3 Rn. 10 lit. m, der vom Gebot der Besteuerung nach der finanziellen Leitungsfähigkeit spricht.

⁶³ Vgl. BVerfG, Beschluss vom 01.04.1971, 1 BvL 22/67, B. II. 2. lit. a (ständige Rspr.); BVerwG, Urteil vom 14.10.2015, C 22.14, Rn. 16 m. w. N.

⁶⁴ Vertiefend s. u. Anpassung des Energiesteuerrechts (3.3.2.1); Wolff, in Hömig/Wolff, GG, Art. 3, Rn. 10 lit. m, m. w. N.

⁶⁵ BVerfG, Beschluss vom 29.03.2017, 2 BvL 6/11, Rn. 104 ff. m. w. N.

⁶⁶ BVerwG, Urteil vom 29.6.2017, 9 C 7.16; Rn. 40; Beschluss vom 17.07.1974, 1 BvR 51, 160, 285/69, 1 BvL 16, 18, 26/72, Rn. 100 ff.

⁶⁷ So auch: *Kahl/Simmel*, Europa- und verfassungsrechtliche Spielräume einer CO₂-Bepreisung in Deutschland, Würzburger Studien zum Umweltenergierecht Nr. 6, 10/2017, S. 12 ff., veröffentlicht: www.stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2017/10/stiftung_umweltenergierecht_wuestudien_06_co2_bepreisung.pdf.

⁶⁸ Vgl. Art. 1 Abs. 1 lit. a VerbrauchStSysRL.

schweres Heizöl, Kerosin, Flüssiggas und Erdgas – Mindeststeuerbeträge (Art. 9 EnergieStRL) festzusetzen.⁶⁹

Im Übrigen verbietet die EnergieStRL es den Mitgliedstaaten nicht, die Energiesteuer im Sinne einer indirekten CO₂-Steuer weiterzuentwickeln. Politisch erscheint es naheliegend, dies zu nutzen, um das Energiesteuerrecht stärker auf den Klimaschutzpolitischen Auftrag (vgl. Art. 191 Abs. 1 sowie Art. 194 Abs. 1 AEUV) auszurichten.⁷⁰ Zu beachten bleibt aber, dass die geltende EnergieStRL, soweit sie nicht ausdrücklich Gegenteiliges sagt, keine Steuerermäßigungen oder -befreiungen zulässt⁷¹ und grundsätzlich nach Art. 5 EnergieStRL nur einheitliche Steuersätze je Energieerzeugnis (Steuergegenstand) gelten dürfen. Gestaffelte Steuersätze sind grundsätzlich unzulässig.⁷² Von diesen Vorgaben abgesehen sind die Mitgliedstaaten in der konkreten Ausgestaltung der jeweiligen Steuersätze jedoch frei. Eine Staffelung nach CO₂-Gehalt ist also zulässig, nicht aber eine Staffelung des jeweiligen Steuersatzes eines einzelnen Steuergegenstands. Zudem darf ein Mitgliedstaat, der die Energieerzeugnisse der Stromerzeugung besteuert, nach Art. 14 Abs. 1 lit. a S. 3 EnergieStRL diese Steuer nicht auf den Mindeststeuersatz für Strom anrechnen.

Auch bei der Option der indirekten CO₂-Steuer sind überdies die oben dargestellten Vorgaben des Beihilferechts zu beachten. Das Beihilferecht verbietet eine nach der CO₂-Intensität der Steuergegenstände differenzierte Besteuerung nicht.

Verfassungsrechtliche Zulässigkeit

Als zulässige und dem Grundgesetz nicht fremde Verbrauchsteuern könnten die bestehenden Energiesteuern hin zu einer indirekten CO₂-Steuer entwickelt werden, ohne dass man die rechtliche Hürde einer Verfassungsänderung nehmen muss. Die Bemessungsgrundlage könnte sich an dem CO₂-Ausstoß, der mit dem Verbrauch des jeweiligen Energieerzeugnisses einhergeht, orientieren. Steuergegenstand würde nach wie vor das einzelne Energieerzeugnis darstellen. Einer Verfassungsänderung, wie im Fall der direkten CO₂-Steuer, bedarf es nicht: Energiesteuern sind als Verbrauchsteuern (finanz-)verfassungsrechtlich unbedenklich, wobei die Einnahmen nach Art. 106 Abs. 1 Nr. 2 GG dem Bund zustehen. Neben einer reinen Ausrichtung der Energiesteuern am CO₂-Gehalt des Energieerzeugnisses, wäre es möglich, die allgemeinen Energieverbrauchsteuersätze am Energiegehalt des jeweiligen Energieerzeugnisses zu orientieren, diesen aber mit einer CO₂-Komponente kombinieren. Durch eine derartige Reform der Energiebesteuerung hin zu einer kombinierten CO₂-/Energiesteuer würde die Bemessungsgrundlage der Steuer weiter an dem für den Verbrauch von Energie relevanten Spezifikum anknüpfen und so der Charakter der Energiesteuern als Verbrauchsteuer sichergestellt. Vorteil einer kombinierten CO₂-/Energiesteuer wäre zudem, dass auf diesem Wege neben der Lenkungswirkung zur Dekarbonisierung auch die Energieeffizienz gefördert würde.⁷³

Dem deutschen Gesetzgeber steht es frei, die Besteuerung der einzelnen Energieträger am CO₂-Gehalt zu orientieren, soweit die Mindeststeuersätze nach der EnergieStRL nicht unterschritten werden.

Maßnahme: Stufenweises Verbot konventioneller Wärmeerzeuger

Ein stufenweises Verbot konventioneller Wärmeerzeuger kann so ausgestaltet werden, dass es mit dem bestehenden Rechtsrahmen vereinbar ist. Der Bundesgesetzgeber wäre für ein solches Verbot zuständig. Ein Verbot wäre sowohl mit dem Unionsrecht als auch den Grundrechten der Heizungseigentümer und -hersteller sowie der Energieträgerlieferanten vereinbar. Dies gilt jedenfalls dann, wenn das Verbot von Übergangsvorschriften begleitet würde, die Übergangsfristen und Ausnahmen bzw. Befreiungsmöglichkeiten für Härtefälle vorsehen.

⁶⁹ Vgl. EnergieStRL (2003/96/EG), Erwägungsgrund 3.

⁷⁰ Rodi/Gawel/Purkus/Seeger, Energiebesteuerung und die Förderziele der Energiewende, *StuW* 2016, S. 187 f.

⁷¹ Vgl. Art. 15 - 19 EnergieStRL.

⁷² Eine Ausnahme gilt nach Art. 5 EnergieStRL nur für: „öffentlichen Personennahverkehr (einschließlich Taxis), die Müllabfuhr, die Streitkräfte und öffentliche Verwaltung, Menschen mit Behinderung oder Krankenwagen“.

⁷³ Vgl. o. u. 3.3.1 a. E. den dahingehenden Vorschlag der EU-Kommission; so auch die Forderung des Umweltbundesamtes, Umweltschädliche Subventionen in Deutschland, Aktualisierte Ausgabe 2016, S. 26 f., veröffentlicht: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_fachbroschuere_umweltschaedliche_subventionen_bf.pdf.

Ein gesetzliches Verbot der Verwendung konventioneller Wärmeerzeuger muss als Maßnahme gleicher Wirkung mit der Warenverkehrsfreiheit aus Art. 34 AEUV vereinbar sein. Eine Maßnahme gleicher Wirkung liegt nach der Rechtsprechung des EuGH auch dann vor, wenn die Nutzer/Käufer des betroffenen Produkts an dem eigenen und wesensimmanenten Gebrauch gehindert oder in der Nutzung stark eingeschränkt wären.⁷⁴ Ein Verbot konventioneller Wärmeerzeuger ist nach diesem Maßstab als Maßnahme gleicher Wirkung einzustufen, da ein Verbot zumindest zu einer starken Nutzungseinschränkung führt. Eine entsprechende Regelung kann indes nach Art. 30 AEUV zum Schutze der Gesundheit und des Lebens von Menschen, Tieren und Pflanzen gerechtfertigt sein. Die Maßnahme muss verhältnismäßig sein, d.h. in einem angemessenen Verhältnis zum erstrebten Ziel stehen.⁷⁵ Der EuGH legt bei diesem Rechtfertigungsgrund einen großzügigen Maßstab an und überlässt den Mitgliedstaaten einen weiten Beurteilungsspielraum bei der Ausgestaltung nationaler Maßnahmen.⁷⁶ Ob ein entsprechendes Gesetz verhältnismäßig in diesem Sinne ist, lässt sich erst anhand einer konkreten Ausgestaltung beurteilen. Ein Gesetz zum stufenweisen Verbot konventioneller Wärmeerzeuger muss zudem mit dem höherrangigen Sekundärrecht der Union vereinbar sein. Vorliegend ist der Anwendungsbereich der Ökodesign-Richtlinie⁷⁷ betroffen. Nach Art. 6 Abs. 1 der Ökodesign-RL dürfen die Mitgliedsstaaten nicht das Inverkehrbringen oder die Inbetriebnahme eines Produkts, das den Bestimmungen jeweils geltenden Durchführungsmaßnahme entspricht, behindern oder beschränken. Ein nationales Gesetz, das Wärmeerzeuger, die mit diesen Vorgaben in Einklang stehen, verbietet, könnte aus diesem Grund nicht mit Art. 6 Abs. 1 der Ökodesign-RL vereinbar sein. Da die Ökodesign-RL nur Mindestanforderungen stellt⁷⁸, bleibt es den Mitgliedstaaten jedoch unbenommen ein entsprechendes Verbot bestimmter Brennstoffe vorzusehen; dies auch deshalb, weil die Verwendung nicht-fossiler Brennstoffe durch die RL 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden gerade geboten ist.

Verfassungsrecht steht einem entsprechend ausgestalteten Verbot nicht entgegen. Ein entsprechendes Gesetz ist mit dem Grundrecht der Berufsfreiheit der betroffenen Hersteller und Lieferanten vereinbar. Selbst wenn das Verbot konventioneller Energieträger als Eingriff mit berufsregelnder Tendenz angesehen wird, wäre dieser verfassungsrechtlich gerechtfertigt. Ein Eingriff in die hier betroffene Berufsausübungsfreiheit ist nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts bereits dann gerechtfertigt, wenn vernünftige Erwägungen des Allgemeinwohls es zweckmäßig erscheinen lassen.⁷⁹ Eine entsprechende Regelung dient der Luftreinhaltung und damit dem in Art. 20a GG verankerten Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen, sodass auch dann, wenn ein Eingriff in den Schutzbereich angenommen wird, dieser verfassungsrechtlich gerechtfertigt wäre. Auch der Eingriff in die Eigentumsfreiheit der betroffenen Haus- und Wohnungseigentümer aus Art. 14 Abs. 1 GG kann verfassungsrechtlich gerechtfertigt sein, wenn die Maßnahme verhältnismäßig ist. Die Angemessenheit hängt von der konkreten Ausgestaltung eines gesetzlichen Verbots ab und kann daher nicht abschließend beurteilt werden. Eine verfassungskonforme Ausgestaltung dürfte indes möglich sein, da dem Klimaschutz als Ziel der Maßnahme eine überragende Bedeutung zukommt, die wegen der Sozialpflichtigkeit des Eigentums eine erhebliche Eingriffstiefe rechtfertigen kann. Die Gesetzgebungskompetenz des Bundes ergibt sich aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 (Energiewirtschaft) und 24 (Luftreinhaltung) des Grundgesetzes (GG).

Erhöhung der erneuerbare Energien Quoten

Als mildere Maßnahme gegenüber einem Verbot konventioneller Energieträger kann eine Erhöhung des Mindestanteils erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung von Neubauten im EEWärmeG nach oben genannten Maßstäben erst recht rechtskonform umgesetzt werden.

Abschaffung der Förderung konventioneller Wärmebereitstellung (und -technologien), insbesondere von Energiesteuerprivilegien

⁷⁴ EuGH Rs.C-142/05 (Mickelsson und Roos) Rn. 29.

⁷⁵ EuGH Rs. C-524/07 (Kommission/Österreich) Rn. 57 m.W.n.

⁷⁶ EuGH Rs.C-142/05 (Mickelsson und Roos) Rn. 34 ff m.W.n.

⁷⁷ RL 2009/125 EG.

⁷⁸ *Dietrich/Akkermann*, EU-Ökodesign-Richtlinie, ZUR 2013, 274.

⁷⁹ BVerfGE 7, 378 f.

Aufgrund der Vielfältigkeit der Förderungen, von denen die konventionelle Wärmebereitstellung direkt oder indirekt profitiert, wurden die folgenden ausgewählten Maßnahmenbereiche einer rechtswissenschaftlichen Untersuchung unterzogen: Energiesteuerbefreiungen und -begünstigungen sowie sonstige Begünstigungen der Braunkohlewirtschaft. Die Energiesteuern für Kohle zur Wärmeerzeugung können erhöht und KWK-Anlagen mit Energiesteuern belegt werden, indem der bestehende Ausnahmetatbestand aufgehoben wird. Wasserentnahmeentgelte und Förderabgaben können auf die Braunkohlewirtschaft ausgedehnt werden.

Die Braunkohlewirtschaft in den Bundesländern Sachsen⁸⁰, Sachsen-Anhalt⁸¹, Brandenburg⁸² und Niedersachsen⁸³ wird nicht zur Entrichtung eines Wasserentnahmeentgeltes herangezogen. Unions- und Verfassungsrecht stehen einer Erweiterung dieses Entgelts nicht entgegen. Art. 9 der RL 2000/60/EG⁸⁴ „Wasserentnahmerichtlinie“ sieht ein solches Entgelt grundsätzlich vor. Zwar können die Mitgliedstaaten nach Art. 9 Abs. 1 UAbs. 3 RL 2000/60/EG Ausnahmen vorsehen, einer Aufhebung von Ausnahmen steht dies jedoch nicht entgegen. Die Aufhebung der Ausnahmetatbestände zu den Wasserentnahmeentgelten in den Landesgesetzen verstößt ferner nicht gegen die in Art. 104a ff. GG niedergelegten Grundsätze der Finanzverfassung. Es handelt sich um eine zulässige nicht-steuerliche Abgabe, die als Vorteilsabschöpfungsabgabe für die Entnahme des Wassers als Sondervorteil (§ 9 Abs. 1 Nr. 5 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)⁸⁵) gerechtfertigt ist, das als knappe natürliche Ressource ein Gut der Allgemeinheit ist. Die Abgabe verletzt die Bergbauunternehmen weder in ihren Rechten aus Art. 12 Abs. 1 GG in Verbindung mit Art. 19 Abs. 3 GG noch aus Art. 3 Abs. 1 GG. Der Eingriff in den Schutzbereich der Berufsausübungsfreiheit der Bergbauunternehmen ist durch vernünftige Erwägungen des Gemeinwohls legitimiert und wahrt den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Hintergrund der Regelung ist der schonende Umgang mit den natürlichen Ressourcen zum Wohle der Allgemeinheit, der durch die Normierung in Art. 20a GG grundgesetzlich verankert ist.

Der Braunkohletagebau wird durch die Befreiung von der Förderabgabe des § 31 BBergG auf bergfreie Bodenschätze nach § 151 Abs. 2 Nr. 2 BBergG auf Grundlage alter Rechte begünstigt, was zu Einsparungen für den Braunkohlesektor von jährlich 284 Mio. EUR führt.⁸⁶ Unionsrecht steht einer Erweiterung der Abgabe auf den Braunkohleabbau nicht entgegen. In verfassungsrechtlicher Hinsicht genießt das Bergwerkseigentum zwar den Schutz des Art. 14 GG.⁸⁷ Die Ausweitung der Förderabgabe im BBergG auf altes Bergwerkseigentum begegnet jedoch keinen verfassungsrechtlichen Bedenken und wäre insbesondere mit den Grundrechten der Tagebaubetreiber aus Art. 12 GG vereinbar. Die Betätigung des Tagebaus selbst ist durch Art. 12 GG geschützt, dessen Schutzbereich in der Zukunft liegende Chancen und Verdienstmöglichkeiten einschließt.⁸⁸ Solange die Höhe und Gestaltung der Abgabe die Ausübung des Berufs nicht unmöglich machen, handelt es sich lediglich um eine Berufsausübungs- und nicht um eine Berufswahlregelung, die durch vernünftige Erwägungen des Gemeinwohls – hier dem Klimaschutz - legitimiert werden (s.o.).

§§ 3 Abs. 1 S. 1 Nr. 2, 53a EnergieStG sehen eine Befreiung von der Stromsteuer für Anlagen vor, in denen ausschließlich gekoppelt Kraft und Wärme erzeugt werden. Zudem ist der Steuertarif für Kohle zur Wärmeerzeugung ist mit 33 ct/GJ sehr niedrig und trifft keine Differenzierung zwischen Stein-

⁸⁰ § 91 Abs. 4 Nr. 6 SächsWG.

⁸¹ § 105 WG LSA i.V.m. § 1 Abs. 3 Nr. 7 Wasserentnahmeentgeltverordnung für das Land Sachsen-Anhalt - WasEE-VO LSA, GVBl. LSA 2011, Seite 889.

⁸² § 40 Abs. 4 Nr. 7 BbgWG.

⁸³ § 21 Abs. 1 Nr. 12 NWG.

⁸⁴ Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

⁸⁵ Gesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).

⁸⁶ Stand 2016, UBA, Umweltschädliche Subventionen in Deutschland, Aktualisierte Ausgabe 2016, abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschaedliche-subventionen-in-deutschland-2016>, S. 25.

⁸⁷ Weller/Kullmann in: Nomos-BR/Kullmann BBergG/ BBergG, 2012, § 151 Rn. 1.

⁸⁸ vgl. BVerfGE 105, 252 (277); BVerfGE 77, 84 (118).

und Braunkohle,⁸⁹ § 2 Abs. 1 Nr. 9 EnergieStG. Die Implementierung der Energiesteuerbefreiung für Energieerzeugnisse und Strom, die in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zum Einsatz kommen, ist den Mitgliedstaaten freigestellt, Art. 15 Abs. 1 Buchst. c) RL 2003/96/EG. Gesetzgeberischer Hintergrund der Vorschrift sind ökologische Gründe: Ressourcenschonung und Emissionsminderungen durch eine besonders effiziente Nutzung der durch Verbrennung der Energieerzeugnisse gewonnenen Energie.⁹⁰ Der Befreiungstatbestand im nationalen Recht kann also ohne eine Änderung europäischen Rechts aufgehoben werden. Hinsichtlich des Energiesteuersatzes für Kohle, die der Wärmeerzeugung dient, gibt die Europäische Union gemäß Art. 9 Abs. 1 RL 2003/96/EG in Verbindung mit Anhang I Tabelle C lediglich einen Mindeststeuersatz von 15 ct je GJ/Bruttoheizwert bei betrieblicher Verwendung und 30 ct/GJ bei nichtbetrieblicher Verwendung vor. Dieser Mindeststeuersatz darf nicht unterschritten, aber überschritten werden. Aus verfassungsrechtlicher Sicht ist kein Sachverhalt erkennbar, der ein besonderes Vertrauen in ein dauerhaftes Fortbestehen der Ausnahmen begründet.

Der Bund verfügt für alle Maßnahmen über die erforderliche Gesetzgebungskompetenz. Im Bereich des Wasserhaushalts können auch die Länder die Ausnahmetatbestände den Wasserentnahmeentgelten aufheben, wenn nicht der Bund aufgrund der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 32 GG eine bundesweit geltende Regelung trifft.

Anpassung der Struktur und Höhe von Abgaben, Umlagen und Entgelten im Stromsektor

Ergänzend zur CO₂-Bepreisung sollten die Abgaben, Umlagen, Steuern und Entgelte unter Berücksichtigung der zusätzlichen Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung an das sich wandelnde Energiesystem angepasst und insbesondere die flexible Wärmeerzeugung angereizt werden. Die Stromsteuer kann dabei auf das europäische Minimum von 50 ct bzw. 1 EUR pro MWh abgesenkt werden und die Energiesteuern können auf fossile Energieträger zur Stromerzeugung ausgeweitet werden.

Die Stromsteuer beträgt gemäß § 3 StromStG 20,50 EUR je MWh. Vorgaben für die Besteuerung von Strom enthält die Energiesteuerrichtlinie der Europäischen Union, RL 2003/96/EG. Art. 10 Abs. 1 dieser Richtlinie verweist hinsichtlich Mindeststeuersätzen für elektrischen Strom auf die Tabelle C des Anhangs I der Richtlinie. Für eine betriebliche Verwendung liegt der verbindliche Mindeststeuersatz bei 0,5 EUR je MWh, für die nichtbetriebliche Verwendung bei 1 EUR je MWh. Unionsrechtlich zulässig ist daher eine Absenkung bis zu diesem Wert. Aufgrund der begünstigenden Wirkung dieser Maßnahme bestehen keine verfassungsrechtlichen Bedenken. Die Gesetzgebungskompetenz des Bundes für die Änderung des StromStG ergibt sich aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 und Art. 105 Abs. 2, 1. Alt. i.V.m. Art. 106 Abs. 1 Nr. 2 GG.

Aktuell ist die Verstromung fossiler Energieträger aus der Energiesteuer ausgenommen. Hier sollte die Energiesteuer ausgeweitet werden. Ortsfeste Anlagen, deren mechanische Energie ausschließlich der Stromerzeugung dient, sind nach §§ 3 Abs. 1 S. 1 Nr. 1, 53 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 EnergieStG von der Energiesteuer befreit. Die bundesrechtliche Vorschrift basiert auf Art. 14 Abs. 1 Buchst. a) RL 2003/96/EG und sieht eine Befreiung für Energieerzeugnisse vor, die zur Stromerzeugung verwendet werden. Die europäische Norm formuliert explizit, dass „es [den] Mitgliedstaaten allerdings frei[steht], diese Erzeugnisse aus umweltpolitischen Gründen zu besteuern, ohne die in der Richtlinie vorgesehenen Mindeststeuerbeträge einhalten zu müssen“. Entsprechend kann der deutsche Gesetzgeber aus unionsrechtlicher Sicht die Besteuerung erweitern. Ein schutzwürdiges Vertrauen der Verbraucher, die mit der Steuer belastet werden, besteht angesichts der anhaltenden Klimaschutzdebatte nicht. Das oben ausgeführte Erdrosselungsverbot⁹¹ steht einer Streichung der Privilegien in Bezug auf die Energiesteuern nicht entgegen. Die Gesetzgebungskompetenz für die Besteuerung von fossilen Energieträgern zur Stromerzeugung durch Streichung der Privilegierung ergibt sich aus Art. 105 Abs. 2, 1. Alt. GG in Verbindung mit Art. 106 Abs. 1 Nr. 2 GG.

Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte

⁸⁹ Rodi, Kohleausstieg – Bewertung der Instrumentendebatte aus juristischer und rechtspolitischer Sicht, EnWG 2017, 195 – 203 (202).

⁹⁰ Milewski, in Möhlenkamp/Milewski, Energiesteuergesetz, Stromsteuergesetz, 1. Auflage 2012, § 3 Rn. 2.

⁹¹ Vgl. BVerfG, Beschluss vom 01.04.1971, 1 BvL 22/67, B. II. 2. lit. a (ständige Rspr.); BVerwG, Urteil vom 14.10.2015, C 22.14, Rn. 16 m. w. N.

Informationsansprüche der Kommunen gegenüber Energieunternehmen, bzw. Behörden für den Bereich der Wärmeplanung bestehen auf Landesebene bereits in Schleswig-Holstein und Thüringen. Ein solcher Anspruch kann auch auf Bundesebene durch Bundesgesetz, gestützt auf die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz des Bundes aus Art. 74 Nr. 24 GG (Luftreinhaltung), eingeführt werden. Macht der Bund insoweit von seiner Gesetzgebungskompetenz Gebrauch, werden die bestehenden Informationsansprüche auf Landesebene verdrängt. Der Anspruch muss die Anforderungen des europäischen und nationalen Datenschutzrechts wahren, was durch die Anonymisierung der übermittelten Daten möglich ist. Bei den zu übermittelnden Daten kann es sich um personenbezogene Daten sowie um Daten, die Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse enthalten, handeln.

Soweit personenbezogene Daten übermittelt werden, ist der sachliche Anwendungsbereich der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)⁹², Art. 2 Abs. 1 DSGVO und der Schutzbereich des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung aus Art. 2 Abs. 1 in Verbindung mit Art. 1 Abs. 1 GG eröffnet. Ein gesetzlicher Auskunftsanspruch, der sich auf personenbezogene Daten erstreckt, müsste daher die Anforderungen des Grundgesetzes und der DSGVO an die Datenverarbeitung, die gem. Art. 6 DSGVO nur zu den dort festgelegten Zwecken rechtmäßig ist, wahren. Die Verarbeitung der Daten durch die Kommunen kann unter diesen Voraussetzungen insbesondere rechtmäßig sein, soweit sie gem. Art. 6 Abs. 1 lit. e DSGVO zur Wahrnehmung einer Aufgabe, die im öffentlichen Interesse liegt, dient. Die Übermittlung der relevanten Daten kann auch in ausreichend anonymisierter und ggf. zusammengefasster Form erfolgen. Der Anwendungsbereich der DSGVO bzw. der Schutzbereich des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung wären dann schon nicht eröffnet. Dies gefährdet auch nicht das Ziel der Datenübermittlung, da die Kommunen zur Erstellung kommunaler Wärmepläne auch anonymisierte Daten verwenden können. Für eine möglichst rechtssichere Gestaltung sollten auch solche Daten, die in den Anwendungsbereich der Betriebs- und Geschäftsgeheimnis-Richtlinie⁹³ fallen könnten, anonymisiert werden.

Der Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte kann durch Bundesgesetz eingeführt werden. Die kommunale Wärmeplanung dient der Treibhausgasminde rung und fällt daher in den Bereich der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz des Bundes für den Bereich der Luftreinhaltung aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG. Aufgrund des Geltungsvorrangs von Bundesrecht gegenüber Landesrecht nach Art. 31 GG würde ein bundesrechtlicher Informationsanspruch die bestehenden landesrechtlichen Informationsansprüche verdrängen.

Finanzielle Unterstützung von Sanierungsmaßnahmen

Finanzielle Unterstützungsmaßnahmen sollen den Einsatz effizienter Wärmetechnologien fördern, um die Ressourcen sparsam einzusetzen. Dies kann die Lenkungswirkung des CO₂-Preises unterstützen und zur Überbrückung finanzieller Engpässe bei einzelnen Akteuren beitragen. Die bestehenden Fördermechanismen, insbesondere das Marktanzreizprogramm der Bundesregierung können europa- und verfassungsrechtskonform ausgeweitet werden. Bei der Gestaltung der finanziellen Unterstützungsmaßnahmen sind die Vorgaben des europäischen Beihilferechts, insbesondere der Leitlinien für Umweltschutz- und Energiebeihilfen der Europäischen Kommission zu beachten. Auch die steuerliche Absetzbarkeit zur Förderung energetischer Sanierungsmaßnahmen kann durch Änderung des Einkommensteuergesetzes in rechtskonformer Weise eingeführt werden.

Finanzielle Förderungen in Form staatlicher Beihilfen sind nach europäischem Primärrecht grundsätzlich unzulässig. Da Art. 107 Abs. 1 AEUV nur Unternehmen adressiert, erfüllen Zahlungen an Privatpersonen regelmäßig nicht den Beihilfebegriff. Dies wäre nur dann der Fall, wenn die Zahlung an eine Privatperson zur mittelbaren Begünstigung bestimmter Unternehmen führt.⁹⁴ Dies ist bei der Förderung des MAP und vergleichbarer Instrumente jedoch nicht der Fall. Die finanzielle Unterstützung von Unternehmen nach dem MAP oder anderen Förderprogrammen des Bundes stellt dagegen eine nur ausnahmsweise zulässige Beihilfe i.S.v. Art. 107 Abs. 1 AEUV dar. Bei einer Erhöhung der För-

⁹² Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)

⁹³ Richtlinie (EU) 2016/943 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2016 über den Schutz vertraulichen Know-hows und vertraulicher Geschäftsinformationen (Geschäftsgeheimnisse) vor rechtswidrigem Erwerb sowie rechtswidriger Nutzung und Offenlegung

⁹⁴ Müller, in: Müller/Oschmann/Wustlich, EEWärmeG, 1. Aufl. 2010, Einl. Rn. 196.

dermittel oder einer Umgestaltung der Förderinstrumente sind daher die Anforderungen von Art. 107 und 108 AEUV zu wahren. Prozessual bedeutet dies, dass die Maßnahme durch die Kommission gem. Art. 108 Abs. 3 AEUV zu notifizieren ist. Die Kommission prüft in materieller Hinsicht, ob eine Beihilfe vorliegt und ob diese nach Art. 107 Abs. 2 und 3 AEUV mit dem gemeinsamen Markt vereinbar ist. Die Vereinbarkeit der Umgestaltung und Erhöhung der Förderung energetischer Sanierungsmaßnahmen mit europäischem Beihilfenrecht hängt von der Ausgestaltung im Einzelfall ab. Eine Maßnahme, die die Voraussetzungen der Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen (im Folgenden: Leitlinien)⁹⁵ erfüllt, wird von der Kommission regelmäßig als nach Art. 107 Abs. 3 lit. c) AEUV mit dem Binnenmarkt vereinbar erachtet (s.o.).⁹⁶ Eine Umgestaltung der Förderungssystematik muss daher die Vorgaben der Leitlinien wahren, um die Vereinbarkeit mit dem europäischen Beihilfenrecht sicherzustellen. Die Erhöhung der steuerlichen Absetzbarkeit energetischer Sanierungsmaßnahmen könnte eine grundsätzlich verbotene staatliche Beihilfe i.S.v. 107 AEUV darstellen. Inwieweit eine Erhöhung der Absetzbarkeit durch Änderung des EstG zulässig ist, hängt von der Ausgestaltung der Änderung des EstG im Detail ab. Eine unionsrechtskonforme Gestaltung dürfte indes möglich sein. So wäre eine Maßnahme bereits nicht als Beihilfe i.S.v. Art. 107 AEUV einzustufen, wenn sie so ausgestaltet wird, dass keine bestimmten Wirtschaftszweige (de facto) begünstigt werden (s.o.).

Der Ausbau bestehender Fördermechanismen begegnet keinen verfassungsrechtlichen Bedenken. Für die Gewährung der Förderung genügt nach der Rechtsprechung der Ansatz im Haushaltsplan und der Erlass von Verwaltungsvorschriften.⁹⁷ Dies kann unproblematisch eingehalten werden, für das MAP besteht mit dem EEWärmeG sogar eine gesetzliche Grundlage, die entsprechend angepasst werden könnte. Eine Änderung der Absetzbarkeit energetischer Sanierungsmaßnahmen von der Einkommenssteuer begegnet aufgrund der begünstigenden Wirkung keinen verfassungsrechtlichen Bedenken. Bei der Ausgestaltung muss der Gleichheitssatz aus Art. 3 Abs. 1 GG gewahrt werden. Zudem muss auch berücksichtigt werden, dass es zu keinen Überschneidungen und Doppelförderungen kommt. § 7a Abs. 5 EStG enthält ein Kumulationsverbot, welches gleichzeitige Inanspruchnahme von erhöhten Absetzungen und Sonderabschreibungen verbietet. Auch die Wechselwirkungen mit anderen Förderprogrammen, etwa dem MAP, müssen beachtet werden. Um Doppelförderungen und Mitnahmeeffekte zu vermeiden müssen hier Investitionszuschüsse von den abzusetzenden Herstellungs- und Anschaffungskosten abgezogen werden.⁹⁸

Finanzielle Förderungsmaßnahmen unterliegen nicht dem Gesetzesvorbehalt (s.o.) und können daher ohne formelles Gesetz durch Ansatz im Haushaltsplan gestaltet werden. Dies schließt eine Gestaltung durch Gesetz nicht aus, die, sofern mit der Förderung grundrechtlich geschützte Positionen betroffen sind, auch erforderlich ist. Der Bund hat aufgrund der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG (Luftreinhaltung) und Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 GG (Energiewirtschaft) die erforderliche Gesetzgebungskompetenz. Die Gesetzgebungskompetenz des Bundes für die Änderung des Einkommensteuergesetzes ergibt sich aus Artikel 105 Absatz 2 GG.

6.6 (Institutionen-)Ökonomische Analyse der Maßnahmen des Policy Packages

Beitrag des Fachgebiets Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik der TU Berlin (TUB WIP)

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“
- „Effektivität“

⁹⁵ Mitteilung der Kommission — Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2014-202, ABl. 2014 Nr. C 200/1.

⁹⁶ Mitteilung der Kommission — Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2014-202, ABl. 2014 Nr. C 200/1, Rn. 10.

⁹⁷ *Sachs*, in: Stelkens/Bonk/Sachs, VwVfG, 9. Aufl. 2018, § 44 Rn. 70.

⁹⁸ Ecologic / Öko Institut e.V. (Hrsg.), Erhöhte Absetzbarkeit von Klimaschutzinvestitionen – den alten § 7d EStG neu fassen? Kurzstudie im Rahmen des Projekts „Rahmen für Klimaschutzinvestitionen“, S. 12. Abrufbar unter: <https://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2016/2562-erhoehte-absetzbarkeit-von-klimaschutzinvestitionen.pdf>.

In Koordination mit der rechtlichen Prüfung durch das IKEM hat TU Berlin WIP eine (institutionen-) ökonomische Analyse des definierten Policy Packages vorgenommen. Dabei wurde der Fokus der Analyse auf die Wirkungen, die dieses Policy Package auf die Gebäude der privaten Haushalte entfaltet, gesetzt. Die ökonomische Analyse wurde wesentlich unter dem Rückgriff auf Erkenntnisse der Neuen Institutionenökonomik und teilweise auch mit Einbezug der Industrieökonomie durchgeführt. Dabei wurde methodisch in folgenden Schritten vorgegangen:

1. Erarbeitung einer Systematisierung, in der sich mögliche regulatorische Instrumente einordnen lassen
2. Festlegung ausgewählter Untersuchungskriterien (unter Einbezug der Neuen Institutionenökonomik)
3. Einordnung der im Policy Package enthaltenen regulatorischen Instrumente in die erarbeitete Systematisierung
4. Analyse der Policy Package-Maßnahmen anhand der Untersuchungskriterien

In diesem Beitrag sollen aufgrund des begrenzten Umfangs zunächst nur die Grundgedanken der Systematisierung dargelegt werden. Gleiches gilt für die Untersuchungskriterien. Anschließend soll eine Auswahl aus dem umfangreichen Maßnahmenkatalog des Policy Packages in den Systematisierungsgedanken verortet und anhand der Kriterien analysiert werden.

Systematisierung: Unterschiedliche Eingriffsarten

Die vorgenommene Systematisierung soll in zwei Abschnitten aufgezeigt werden. Zunächst sollen die unterschiedlichen Eingriffsarten und ihre Wirkung auf das Investitionsverhalten von betroffenen Akteuren im Gebäudebereich voneinander abgegrenzt werden. Im folgenden Abschnitt soll dann gezeigt werden, wie unabhängig von der Eingriffsart der Ansatzpunkt variiert werden kann. Dabei soll schwerpunktmäßig berücksichtigt werden, welche Anforderungen sich dabei an den Regulierer, insbesondere an dessen Wissen, ergeben.

Ein inputorientiertes Instrument ist dadurch charakterisiert, dass es detaillierte technische Vorgaben zu den technischen Umsetzungen (z.B. Gebäudedämmung, Wärmeerzeugungstechnologie usw.) macht. Damit geht einher, dass ein solches Instrument den betroffenen Gebäudeeigentümern in dem jeweiligen Geltungsbereich, in dem die zugehörigen Regeln definiert sind, Freiheitsgrade über die zu treffenden Investitionsentscheidungen nimmt, da diese nur noch eine (mehr oder) weniger direkte Umsetzung der Vorschriften sind. Für einen solchen Eingriff ist es notwendig, dass der Regulierer über das technische Wissen verfügt, solche technischen Vorschriften zu gestalten. Im Gegensatz dazu stellt das institutionelle Design eines solchen regulatorischen Eingriffs geringe Anforderungen an den Regulierer, weil keine Wechselwirkungen der unterschiedlichen Investitionsentscheidungen der Eigentümer berücksichtigt werden müssen, sondern diese durch das inputorientierte Instrument mit wenig Spielraum und für alle Eigentümer einheitlich gestaltet sind. Durch die kaum vorhandenen Freiheiten auf dezentraler Ebene, können diese bei einem inputorientierten Instrument folgerichtig nicht weiter unterteilt werden.

Im Gegensatz dazu geben outputorientierte Instrumente im Sinne der Systematisierung einen Endzustand, z.B. eine CO₂-Emissionsmenge für ein Gebäude, vor, für dessen Erreichung es eine große Anzahl von Freiheitsgraden, wie etwa beim Abwägen zwischen dem Umfang der Gebäudedämmung und der Auswahl des Wärmeerzeugers usw., gibt. Charakteristisch für ein outputorientiertes Instrument ist, dass die von den Regelungen betroffenen Gebäudeeigentümer noch große Spielräume haben, über eine technische Umsetzung zu entscheiden und diese individuell zu gestalten. Bei der Festlegung eines solchen outputorientierten Regelwerks durch den Regulierer wird folglich kein detailliertes Wissen zur Vorteilhaftigkeit einzelner technischer Umsetzungen gebraucht. Gleichzeitig stellt die Vielzahl von getroffenen Entscheidungen, die von den Gebäudeeigentümern getroffen werden ohne sie untereinander abzustimmen, aber in der Addition das Gesamtziel erreichen müssen, hohe Ansprüche an das vom Regulierer zu gestaltende institutionelle Design.

Anders als bei inputorientierten Instrumenten können bei outputorientierten Instrumenten die den Gebäudeeigentümern überlassen Freiheitsgrade in ihrer Wirkweise noch weiter unterteilt werden. Dabei handelt es sich zunächst um mengensteuernde Instrumente einerseits und preissteuernde In-

strumente andererseits. Die mengensteuernden Instrumente geben dabei eine feste Menge (z.B. Emissionsmenge pro Kopf, Haushalt usw.) vor, die von den Betroffenen eingehalten werden muss. Bei preisstuernden Instrumenten wird hingegen angestrebt, durch eine Veränderung des Preises den zugehörigen Output auf das regulatorisch gewünschte Outputniveau zu lenken. In einem weiteren Schritt kann dann bei mengensteuernden Instrumenten unterschieden werden, ob mit diesen Mengen zwischen den Betroffenen gehandelt werden darf, was typischerweise einen Zertifikathandel nach sich zieht, oder ob dieser Handel untersagt wird und es sich damit um unveränderliche Grenzwerte handelt.

Systematisierung: Variation des Ansatzpunktes

Als zweite Dimension der Systematisierung werden verschiedene Ansatzpunkte für die Instrumente unterteilt. Jede der im Abschnitt zuvor beschriebenen Differenzierungen der Eingriffsart kann dabei grundsätzlich in der Investition wie auch im Betrieb vorgenommen werden. Als erste Unterscheidung des Ansatzpunktes wird zwischen Instrumenten, die in der Betriebsphase wirksam sind, und denjenigen, die es in der Investitionsphase sind, getrennt. Bei einem Ansatz des regulatorischen Instruments über den Betrieb erfolgt die Kontrolle im Sinne des jeweiligen regulatorischen Eingriffs regelmäßig über den gesamten Zeitraum des Betriebs hinweg. Als Bemessungsgrundlage wird auf tatsächlich aufgetretene und gemessene Verbrauchswerte zurückgegriffen. Da der Betrieb von Gebäuden und Anlagen der Wärmeerzeugung häufig über 20 und mehr Jahre erfolgt, müssen die von einer im Betrieb ansetzenden Regelung betroffenen Personen auch ihre Planung auf den Betriebszeitraum auslegen.

Ein Ansatz im Investment gestaltet sich anders. Hier erfolgt die Kontrolle im Sinne des jeweiligen Eingriffs nur einmalig zum Zeitpunkt der Investition. Zum Zeitpunkt der Investition können aber noch keine Messwerte vorliegen, da der Einsatz erst noch bevorsteht. Gleichzeitig bedarf es jedoch einer Bemessungsgrundlage für die Gestaltung des Regelwerkes. Hierfür wird in der Regel ein standardisiertes Berechnungsverfahren für die Ermittlung von Bedarfswerten (in Abgrenzung zu den tatsächlichen Verbrauchswerten) durch den Regulierer vorgegeben. Die Bedarfswerte (z.B. bezogen auf CO₂) eines Gebäudes oder Teile des Gebäudes wären in diesem Fall die Bemessungsgrundlage. Hier zeigt sich wiederum eine Wissensanforderung an den Regulierer. Dieser muss, um die unterschiedlichen technischen Lösungen im Sinne der Zielerreichung vergleichbar zu machen, einen standardisierten Bewertungsmaßstab entwickeln, der die über die Lebensdauer verursachten Emissionen schon im Investitionszeitpunkt abschätzt, da hiervon die Zielerreichung abhängt.

Neben der grundsätzlichen Unterscheidung der Ansatzpunkte bei Investition und Betrieb lassen sich diese beiden Dimensionen auch noch weiter variieren und die Ansatzpunkte damit weiter unterscheiden. Zuerst kann differenziert werden nach einer Betrachtung über alle Sektoren hinweg oder gezielt nur auf den Wärmesektor (z.B. sektorübergreifender oder sektorbezogener Zertifikathandel). Da es sich im betrachteten Policy Package um Maßnahmen für die Wärmewende handelt, liegt somit zumeist ein Sektorbezug auf den Wärmesektor vor. Aber auch bei einem Eingriff mit Sektorbezug kann unterschieden werden, ob der Eingriff sich auf bestimmte Elemente des Sektors bezieht oder nicht. Für den im Fokus stehenden Gebäudebereich auf Haushaltsebene stellt sich hierbei insbesondere die Frage, ob die beiden wesentlichen Determinanten, Gebäudehülle und die Wärmeerzeugung, übergreifend oder getrennt geregelt werden. In ähnlicher Weise könnte darüber hinaus auch noch in Betracht gezogen werden, ein regulatorisches Instrument für bestimmte Technologien oder übergreifend über alle Technologien zu gestalten.

Analysekriterien

Nachdem die Grundgedanken der Systematisierung dargelegt worden sind, soll selbiges ebenfalls für eine Auswahl möglicher Analysekriterien erfolgen. Die getroffene Auswahl von Analysekriterien erfolgt vor dem Hintergrund des Zielsystems, die politischen Ziele der Wärmewende effektiv und effizient zu erreichen, also mit Schwerpunkt auf die Bewertungskriterien Effektivität und Kosteneffizienz des multikriteriellen ENavi-Bewertungsansatzes (und geht somit noch nicht auf z.B. Verteilungsaspekte ein).

Wissensbedarf des Regulierers bzw. der öffentlichen Hand

Auf diesen sehr zentralen Aspekt wurde zuvor schon in allgemeiner Form losgelöst von einer konkreten Ausgestaltung eines Instruments eingegangen. Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen regulato-

rischen Instrumente bei der Gestaltung auch unterschiedliche Wissensanforderungen an den Regulierer stellen, sowohl was technisch-systemisches Wissen als auch die Anforderungen des institutionellen Designs angeht.⁹⁹

Einbezug von dezentralem Wissen

Eine besondere Herausforderung im Gebäudesektor ist neben den sehr langen Lebensdauern der getätigten Investitionen die hohe Heterogenität der Gebäude in Bezug auf ihre energetisch relevanten Eigenschaften.¹⁰⁰ Um diese unterschiedlichen Eigenschaften einzelner Gebäude adäquat zu berücksichtigen, wird es regelmäßig erforderlich sein, dass das regulatorische Instrument den Einbezug dezentralen Wissens erlaubt.

Commitmentbedarf durch den Regulierer

Dies beschreibt den Bedarf des Commitments, den ein regulatorischer Eingriff vom Regulierer insbesondere hinsichtlich der langfristigen Aufrechterhaltung des Regelungsrahmens erfordert.

Risikokosten auf Seiten der Haushalte

Die Kosten, die durch Investitionsunsicherheiten, die ein regulatorisches Instrument zusätzlich zu den allgemeinen wirtschaftlichen Risiken hervorrufen kann, auf Seiten der privaten Haushalte entstehen.¹⁰¹

Weitere Aspekte

Transaktionskosten für Verbraucher, Monitoringkosten des Regulierers / der öffentlichen Hand, usw.

CO₂-Bepreisung als zentrale Maßnahme

Zunächst muss bei diesem Instrument die Höhe der Besteuerung des CO₂-Gehalts (bzw. des CO₂-Äquivalents) festgelegt werden (ein exemplarischer Besteuerungspfad wurde bei Beschreibung des Policy Packages bereits angegeben). Es wird bei der Betrachtung davon ausgegangen, dass eine Besteuerung über eine Reform der bisherigen Abgaben und Umlagen auf die im Wärmebereich genutzten Energieträger erfolgt. Durch einen schrittweisen Anstieg der Steuer soll ein Anreiz zur Investition in CO₂-sparende Maßnahmen gegeben werden, wobei eine langfristige Festlegung der Besteuerungsentwicklung erfolgt. Daraus folgt, dass es sich im Sinne des Systematisierungsgedankens bei dieser Ausgestaltung um ein outputorientiertes, preissteuerndes Instrument mit Bezug auf den Wärmesektor handelt, welches aber im Wärmesektor nicht spezifiziert ist, da letztlich die CO₂-sparenden Investitionsmaßnahmen sowohl bei Gebäudehülle als auch bei Wärmeerzeugung vorgenommen werden können und auch nicht gezielt auf bestimmte Technologien eingegangen wird. Durch den Eingriff über die gemessenen Verbrauchswerte hinsichtlich des CO₂ erfolgt der Eingriff über den Betrieb bzw. die Betriebsdauer.

Bezüglich der Wissensanforderungen des Regulierers lässt sich festhalten, dass für die Festlegung der richtigen Besteuerung umfangreiches Wissen über Kosten des Schadens einerseits aber auch die Reaktion der Nachfrage auf die Preissteuerung bzw. die Besteuerung andererseits vorliegen muss. Erschwerend kommt bei einer langfristigen Festlegung der Besteuerung hinzu, dass auch die zukünftige Entwicklung dieser Faktoren durch den Regulierer eingeschätzt werden muss. Sollten diese nicht unerheblichen Anforderungen an den Regulierer weitestgehend erfüllt sein, kann einem solchen regulatorischen Eingriff bei einer statischen Betrachtung zunächst eine effektive Zielerreichung zugesprochen werden, auch wenn im Gegensatz zu mengensteuernden Instrumenten von einem gewissen Grad der Abweichung ausgegangen werden kann.

Bei einer erweiterten Betrachtung ergeben sich jedoch auch Argumente, die einer anhaltenden effektiven Zielerreichung entgegenwirken können. So ergibt sich ein nicht unerhebliches Commitment zur langfristigen Aufrechterhaltung des gewählten regulatorischen Eingriffs für dieses Instrument. Um eine Refinanzierung der unter dem erwarteten Besteuerungspfad spezifisch getätigten Investitionen zu

⁹⁹ Vgl. zum Wissensbedarf auf Seiten des Regulierers und Commitmentproblemen Beckers et al. (2014), S. 66 ff.

¹⁰⁰ Vgl. zur Heterogenität des Gebäudesektors z.B. dena (2016).

¹⁰¹ Vgl. zur Übertragung von Risiken Hoffrichter, Beckers (2016).

gewährleisten, ist es erforderlich, dass die vorgesehene Besteuerung über die gesamte Betriebsdauer aufrechterhalten wird. Neben dem erforderlichen Commitment bringt ein so gestalteter regulatorischer Eingriff eine geringe Wirkung im Zeitpunkt der Investition selbst mit sich. Die Wirkweise mit einer ansteigenden Besteuerung und einem Einwirken über die gesamte Betriebsdauer führt in der Konsequenz dazu, dass der höchste Steuersatz zum Ende der Lebensdauer einer getätigten Investition fällig wird oder umgekehrt betrachtet: die unmittelbar nach der Durchführung einer neuen Investition zu leistende Steuerzahlung ist die niedrigste, dürfte aber aufgrund ihrer unmittelbaren Wirksamkeit den größten Einfluss auf die Investitionsentscheidung haben. An dieser Stelle zeigt sich wiederum, warum der Gebäudesektor bei der Investitionssteuerung eine besondere Herausforderung darstellt. Aufgrund der langen Investitionszyklen, die im Bereich der Gebäudehülle regelmäßig 50 Jahre und mehr betragen können, aber selbst bei den weniger langlebigen Wärmeerzeugern mit zumindest 15 Jahren kalkuliert werden können, ergeben sich hier zwei Effekte, die es bei der Investitionssteuerung zu beachten gilt.¹⁰² Einerseits gewinnt die Investitionssteuerung selbst an Bedeutung, da die getätigten Investitionen mit hohen Lock-In-Effekten einhergehen und sich nur unter hohem Kostenaufwand rückgängig machen lassen. Andererseits steigert sich damit die Wirkung des zuvor beschriebenen Umstands, da die Auswirkungen der zum Ende der Lebensdauer anfallenden Steuerzahlungen bei einer Investition mit Lebensdauern von 50 Jahren für einzelne Haushalte nicht sinnvoll zu bewerten ist.¹⁰³

Darüber hinaus gilt es verschiedene Aspekte der Kosteneffizienz für eine CO₂-Besteuerung zu beachten. Zunächst zeigt sich positiv, dass ein umfangreicher Einbezug dezentralen Wissens möglich ist. Haushalte können individuelle Investitionslösungen gestalten und dabei abwägen zwischen der zu tätigen Investition und der zu leistenden Steuerzahlung. Transaktionskosten fallen bei den Nutzern in einem Steuersystem in einem begrenzten Maße an. Einer Koordination mit anderen Nutzern bedarf es nicht und die relevanten Informationen, die von den Haushalten einzuholen sind, sind diejenigen über den Steuersatz und seine Entwicklung. Die Investitionsunsicherheit und die daran gekoppelten Risikokosten hängen überwiegend davon ab, wie langfristig die Steueranhebung im Vorhinein festgelegt werden. Sind sie weit in die Zukunft festgelegt, sollten die Risikokosten aufgrund der Planungssicherheit durch das Regulierungsregime nur unwesentlich hervorgerufen werden. Es sei an dieser Stelle aber auch auf den Trade-Off im Bezug zum Commitmentbedarf hingewiesen. Je längerfristig in die Zukunft die Steuersätze festgesetzt werden, desto größer wird auch das erforderliche Commitment, diese auch über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten. Die Kosten der Kontrolle durch den Regulierer bzw. die öffentliche Hand bleiben begrenzt, da es sich in dieser Betrachtung um eine Reform des bisherigen Steuersystems handelt und die entsprechende Infrastruktur zur Steuererhebung bei der öffentlichen Hand vorhanden ist.

Somit lässt sich zusammenfassend festhalten, dass eine CO₂-Steuer grundsätzlich positive Effekte hinsichtlich der Zielerreichung innerhalb der Wärmewende haben sollte, z.B. hinsichtlich eines effizienteren Brennstoffeinsatzes, und die Einführung aus Sicht der Kosteneffizienz unproblematisch ist. Es zeigt sich aber auch, dass eine Lenkung nur über eine CO₂-Besteuerung eine effektive Zielerreichung langfristig nicht gewährleisten kann, weil der Mechanismus der Lenkungswirkung die sehr langen Investitionszyklen im Gebäudebereich nicht angemessen adressiert. Deshalb ist es im Gebäudebereich zwingend erforderlich eine CO₂-Besteuerung mit umfangreichen flankierenden Maßnahmen zu ergänzen.¹⁰⁴

Auswahl möglicher ergänzender Instrumente

Aufbauend auf dieser Erkenntnis stellt sich die Frage, wie eine Instrumentenkombination verschiedener flankierender Maßnahmen gestaltet werden soll. Eine umfangreiche Untersuchung einer solchen Kombination würde allerdings über die Darstellung in diesem Format hinausgehen, weshalb im Folgenden nur verkürzt auf einige flankierende Maßnahmen eingegangen werden soll.

¹⁰² Die Werte zur Lebensdauer im Gebäudebereich hängen stark von den verwendeten Materialien ab und können bei einer allgemeinen Betrachtung der ökonomischen Lebensdauer entsprechend variieren. Vgl. als Alternative z.B. die Werte in dena (2017), S. 30 ff.

¹⁰³ Vgl. zu Problemen der Investitionssteuerung über eine CO₂-Bepreisung auch Thöne et al. (2019).

¹⁰⁴ Vgl. für weitere Aspekte, die für die Ergänzung eines CO₂-Preises im Gebäudebereich sprechen, u.a. Bach et al. (2019) S. 51 ff.

EE-Quote bzw. eine Erhöhung der EE-Quote

Eine erneuerbare Energien-Quote (EE-Quote) im Wärmebereich verfolgt einen mengensteuernden Ansatz indem über die Quote eine EE-Menge vorgegeben wird. Gleichzeitig beschränkt sich das Instrument im Wärmebereich auf die Wärmeerzeugung, da (soweit von Ersatzmaßnahmen abgesehen wird) die Quote nicht über Maßnahmen der Gebäudehülle erfüllt werden kann. Eine EE-Quote befindet sich teilweise zwischen Ansätzen des Betriebs und der Investition, da bestimmte Wärmeerzeugungstechnologien grundsätzlich mit verschiedenen Brennstoffen betrieben werden können und hiervon letztlich die EE-Quote abhängt, während bei anderen Technologie die Investition alleine über die EE-Quote entscheidet.

Durch die festgesetzte Quote bietet das Instrument grundsätzlich eine gewisse Treffsicherheit. Bei einer Abhängigkeit der Quote vom gewählten Brennstoff kann es jedoch durch die nötige Aufrechterhaltung des Regulierungsrahmens über die Betriebsdauer zu gewissen Commitmentproblemen kommen, allerdings hätte ein Abweichen von der Quote keine direkten finanziellen Auswirkungen auf die Investitionen und somit wenig Rückwirkung auf die Refinanzierung. Hinzu kommt, dass mit einer EE-Quote nicht direkt Einfluss auf die CO₂-Emissionen genommen wird, da der Nicht-EE-Teil nicht adressiert wird. Hier kann sich eine ergänzende Wirkung hinsichtlich der Zielerreichung in Kombinationen mit einer CO₂-Bepreisung zeigen. Allerdings sei an dieser Stelle auch darauf verwiesen, dass es beiden Instrumenten nicht gelingt einen Anreiz für eine möglichst sparsame EE-Nutzung zugeben und das Problem der Flächenknappheit bei der Erzeugung von EE zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Effizienz lässt die EE-Quote verschiedene Nutzung von EE zu und bezieht dezentrales Wissen z.B. hinsichtlich der EE-Verfügbarkeit ein. Gleichzeitig sollten nutzerseitige Transaktionskosten durch geringe Koordinations- und Informationserfordernisse nur begrenzt vorliegen. Auf Seiten des Monitorings durch den Regulierer wird es jedoch der Entwicklung und Kontrolle eines Zertifizierungsprozesses hinsichtlich der EE-Eigenschaften der Energieträger bedürfen.

Investitionsbezogene Instrumente (z.B. Sanierungsförderungen KfW, BAFA usw.)

Die beiden zuvor untersuchten Instrumente hatten ihre Lenkungswirkung über den gesamten Betriebszeitraum entfaltet. Allerdings ist es auch bei solchen Instrumenten das Ziel, die Investitionen im Sinne einer effizienten und effektiven Zielerreichung zu lenken. Ein direkterer Weg, dieses Lenkungsziel zu erreichen, kann ein Ansatz direkt bei der Investition darstellen. Wie die Ansätze im Betrieb können die Ansätze bei der Investition verschieden ausgestaltet sein, so wären z.B. die Sanierungsförderungen ein (positiv) preisstuerndes Instrument, das sich je nach konkreter Gestaltung auf Gebäudehülle und Wärmeerzeugung oder nur eins davon beziehen kann. Der wesentliche Unterschied ist, dass der Regulierungseingriff nur einmalig bei der Investition wirkt. Damit ergibt sich auch, dass die Lenkungswirkung im Investitionszeitpunkt am höchsten ist. Somit sind keine Commitmentprobleme vorhanden und es werden keine Investitionsunsicherheiten hervorgerufen. Vor dem Hintergrund der zuvor beschriebenen Besonderheit der langlebigen Investitionen im Gebäudebereich sind dies besonders vorteilhafte Eigenschaften, sodass diese Art regulatorischer Eingriffe die wichtigste Art der Ergänzung zu einer CO₂-Besteuerung ist. Es kommt dabei jedoch auf die genaue Ausgestaltung solcher Instrumente an, um z.B. auch die erforderliche Investitionssteuerung in Bezug auf die Investitionshäufigkeit zu erzielen.

Informationsansprüche für kommunale Wärmeplanung

Der Fokus der bisherigen Betrachtung lag wie beschrieben auf der Gebäudeebene privater Haushalte. Allerdings ergeben sich bei einer Erweiterung der Betrachtung einzelner Gebäude hin zu deren Verbund auf der Quartiersebene bzw. kommunalen Ebene weitere Potenziale. Insbesondere bestimmte Möglichkeiten der Wärmebereitstellung wie Nahwärmenetze sind erst dann wirtschaftlich, wenn eine gewisse Anschlussdichte erreicht werden kann.¹⁰⁵ Eine solche Anschlussdichte kann jedoch nicht

¹⁰⁵ Vgl. zur Bedeutung kommunaler Wärmeplanung bei Nah- und Fernwärmenetzen auch Maaß et al. (2015), S. 44 ff.

gezielt erreicht werden, wenn nur auf eine Regulierung, die einzelne Gebäude betrifft, gesetzt wird, unabhängig davon, wie diese Regulierung gestaltet ist. Hierfür ist eine Gebäudeübergreifende Koordination erforderlich. Eine solche Koordination kann durch eine kommunale Wärmeplanung gefördert werden. Eine der wesentlichen Voraussetzung eines erfolgreichen Planungsprozesses ist es, über die nötige Daten- und Informationsbasis zu verfügen. Die Daten und Information für die Anwendung im Wärmebereich liegen jedoch regelmäßig nicht auf Seiten der öffentlichen Hand, sondern privater Akteure. Insofern stellt eine Informationspflicht gegenüber der öffentlichen Hand einen ersten Schritt zur Gestaltung einer kommunalen Wärmeplanung dar.

Fazit des Beitrags

Die Wärmewende stellt aufgrund der Besonderheiten im Gebäudesektor, die u.a. die Langlebigkeit der Investitionen betrifft, eine besondere regulatorische Herausforderung dar. Um die Vielzahl möglicher regulatorischer Antworten hierauf zu erfassen, wurde eine Systematisierung entwickelt. Bei der auf der Systematisierung aufbauenden Analyse zum Policy Package zeigte sich, dass eine CO₂-Besteuerung für eine Zielerreichung im Gebäudebereich durch weitere regulatorische Instrumente ergänzt werden sollte. Dies betrifft vor allem Instrumente mit einem direkten Ansatz bei der Investition, aber auch solche, die über die Gebäudeebene hinausgehen und eine kommunale Wärmeplanung fördern.

6.7 Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Power-to-Heat

Beitrag des Fachgebiets Energie- und Ressourcenmanagement der TU Berlin (TUB E&R)

Dieser Beitrag analysiert das Bewertungskriterium

- *Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt*

für die Maßnahmen

- *CO₂-Bepreisung und*
- *Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten*

des Policy Packages

Einleitung

Für die verstärkte Integration von erneuerbarer Energie in den Wärmesektor besteht aus volkswirtschaftlicher Sicht der Bedarf für die Anwendung von Power-to-Heat Technologien.¹⁰⁶ Allerdings existiert durch den aktuellen Regulierungsrahmen kaum ein Anreiz, Power-to-Heat zu nutzen. Während im Haushalt Wärmepumpen eine konkurrierende Technologie darstellen können, gilt für den Einsatz von Elektroden-Heißwasserkesseln oder Industrierärmepumpen im Fernwärmenetz, dass die Kosten deutlich über dem Einsatz von konventionellen Technologien und Brennstoffen liegen. Im folgenden Beitrag ist untersucht worden, welche regulatorischen Anpassungen der Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten (S/A/U/E) prinzipiell existieren und wie diese sich auf die Wirtschaftlichkeit einer Power-to-Heat-Anlage, die in ein Fernwärmenetz einspeist, auswirken. Ferner wird analysiert, wie sich die Einführung einer sektorenübergreifenden CO₂-Bepreisung auf die (einzel-)ökonomische Situation von Power-to-Heat auswirkt. Als Fallbeispiel wurde hierbei eine Anlage eines deutschen Stadtwerkes mit direktem Zugang zu Stromgroßhandelsmärkten gewählt, um eine realitätsnahe Abbildung zu gewährleisten. Wo keine Praxiswerte vorlagen, wird die Untersuchung anhand von Literatur bzw. Verwendung von praxisnahen Werten gestützt.

¹⁰⁶ Öko-Institut e.V. und Fh ISI 2015; Fraunhofer IWES/IBP 2017; BCG und Prognos AG 2018.

Vorgehen der Analyse

Die Analyse ist dreistufig aufgebaut. Zunächst werden ausgehend von den *Maßnahmen Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten* sowie *CO₂-Bepreisung* aus dem Policy Package des Wärmeschwerpunkts (s. Kapitel 5.5) anhand der Forschungslandschaft (detaillierte) regulatorische Maßnahmenausgestaltungen herausgearbeitet und im Rahmen einer (qualitativen) Portfolioanalyse bewertet. Anschließend werden ausgewählte Maßnahmenausgestaltungen einer quantitativen Bewertung im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbewertung mittels Kapitalwertmethode und umfangreichen Sensitivitätsanalysen unterzogen. Abschließend erfolgt die Synthese der beiden Analysestränge und die Eignung und Umsetzbarkeit von regulatorischen Maßnahmenausgestaltungen werden evaluiert. Das detaillierte Vorgehen für die drei Analysestufen ist in den folgenden Unterkapiteln beschrieben. Abbildung 16 visualisiert den methodischen Untersuchungsang grafisch.

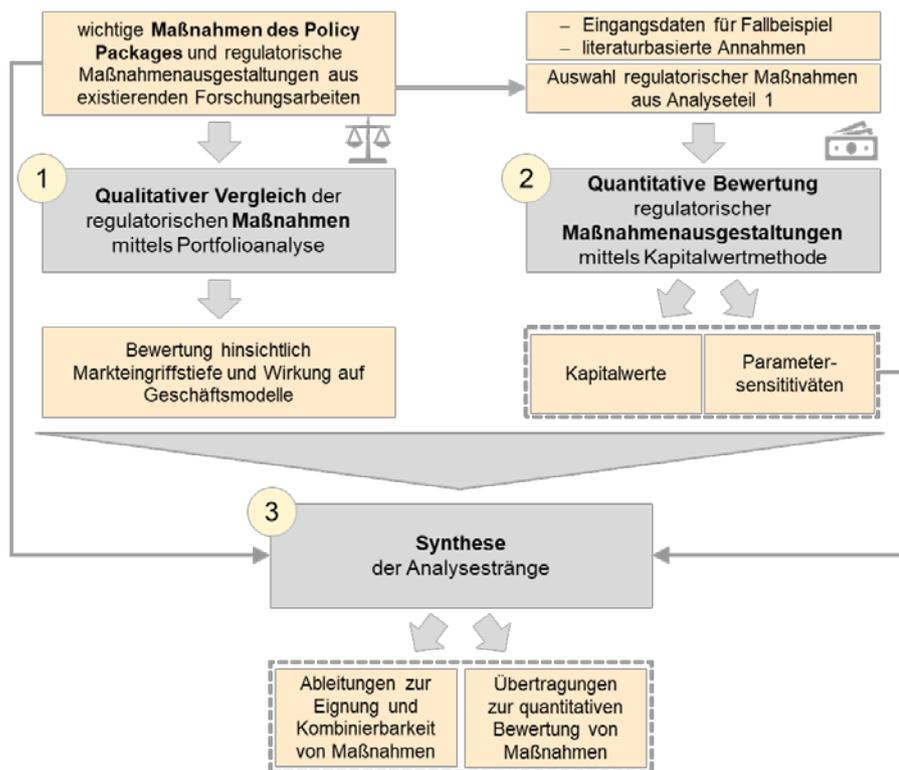


ABBILDUNG 16: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES METHODISCHEN VORGEHENS

Quelle: Eigene Darstellung

Qualitativer Vergleich der regulatorischen Maßnahmenausgestaltungen

In der Analyse werden ausschließlich Herausforderungen betrachtet, für die die im Kontext des Policy Packages Maßnahmenausgestaltungen entwickelt werden können, deren Durchführung mittelfristig, d. h. bis etwa 2030, erfolgen kann. Aus den identifizierten Herausforderungen lassen sich literaturbasiert wirtschaftliche und rechtliche Barrieren von Geschäftsmodellen sowie regulatorische Maßnahmenausgestaltungen für PtX-Technologien ableiten. Im Rahmen der Portfolioanalyse werden die Maßnahmenausgestaltungen einzeln hinsichtlich ihrer Wirkung auf Geschäftsmodelle für PtX-Technologien sowie der Markteingriffstiefe bewertet. Je nachdem, in welchem Quadranten der Portfolio-Matrix die Maßnahme liegt, kann sie einer der vier Kategorien zugeordnet werden:

- 1. Quadrant „Kurzfristige fokussierte Umsetzung“: Signifikanter Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von einer oder mehreren PtX-Technologien und relativ einfach umsetzbar.
- 2. Quadrant „Spezifische Förderungen“: Einfach realisierbar, aber nur spezifische Geschäftsmodelle adressierend.
- 3. Quadrant „Niedrige Priorisierung“: spezifische Förderung begründet und zusätzlich schwierig zu realisieren

- 4. Quadrant „Längere Zukunftsinvestitionen“: schwierig umsetzbar aber eine umfassende Wirkung auf PtX-Technologien¹⁰⁷

Quantitative Analyse ausgewählter regulatorischer Anpassungen für Power-to-Heat

Für die quantitative Bewertung werden vier Maßnahmenausgestaltungen aus der qualitativen Portfolioanalyse ausgewählt und parametrisiert. Die Auswahl erfolgt hinsichtlich der Kriterien Auswirkung auf Geschäftsmodelle für PtX-Technologien, Häufigkeit der Behandlung in der wissenschaftlichen Literatur sowie Anteil der betroffenen Preiskomponenten an den Strombezugskosten. Überdies werden zwei verschiedene Anpassungsarten einer Modifikation der Strompreisbestandteile fokussiert: zum einen eine *Niveaushiftung* und zum anderen eine Strukturänderung durch *Dynamisierung* statischer Strompreisbestandteile. Mithilfe des Bewertungsmodells wird zunächst ein Basisfall für die Errichtung einer an ein existierendes Fernwärmenetz angeschlossenen PtH-Anlage zusammen mit den aktuell anfallenden sowie für die Zukunft prognostizierten Strombezugskosten (Day-ahead-Spotmarktpreise sowie S/A/U/E) im Vergleich zum Betrieb eines existierenden BHKWs ausgewertet. Der Einsatz der Anlage erfolgt jeweils in den Stunden mit den niedrigsten Day-ahead-Preisen. Abschließend werden Anpassungen bei den Strombezugskosten durch die regulatorischen Maßnahmenausgestaltungen analysiert. Hierbei findet einerseits eine Fortschreibung der Strombezugskosten Anwendung, andererseits werden Simulationsergebnisse des Strommarktmodells von TUB E&R zur Erzeugung von Strompreisszenarien genutzt. Für den Vergleich zum Einsatz eines existierenden BHKWs werden die Brennstoffkosten des Erdgas-BHKWs des Stadtwerks als alternative Wärmebereitstellungsoption innerhalb des existierenden Fernwärmenetzes abzüglich möglicher Strommarkterlöse herangezogen.¹⁰⁸ Die Erlöse für die Fernwärme werden aus der jährlichen Wärmeabgabemenge aus dem Fernwärmenetz und dem Fernwärmepreis nach Angaben des Stadtwerks für 2017 abgeleitet. Da diese allerdings sowohl bei Betrieb des BHKW als auch bei Betrieb der PtH-Anlage anfallen, beeinflussen die Erlöse aus der Fernwärme das Ergebnis der vorgenommenen Differenzbetrachtung nicht. Die Fernwärmeerlöse werden allerdings relevant, wenn die PtH-Anlage als einzelne Investition analysiert wird. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden weiterhin für den Basisfall prozentuale Abweichungen von Vollbenutzungsstunden, Strombezugskosten, Kalkulationszinssatz und Erdgas-kosten untersucht. Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive ist bei einer Erhöhung der Vollbenutzungsstunden ebenfalls von einer Erhöhung der Strombezugskosten auszugehen.¹⁰⁹ Daher wurde dieser Zusammenhang zusätzlich analysiert. Ferner werden verschiedene CO₂-Preispfade analysiert, die in den Strompreisszenarien des Strommarktmodells angelegt sind.

Synthese der Ansätze

Im Rahmen der Synthese werden aus den quantitativen Ergebnissen Übertragungen auf weitere regulatorische Maßnahmenausgestaltungen betrachtet. So werden Einschätzungen hinsichtlich ihrer erwartbaren quantitativen Auswirkungen anhand der Größe der jeweiligen Preisposition gegeben. Hierzu werden jeweils Maßnahmenausgestaltungen, welche die gleiche Preisposition betreffen, mit den jeweiligen quantitativ bewerteten Maßnahmenausgestaltungen verglichen und darauf basierend die Auswirkungen der Einführung der alternativen Maßnahmenausgestaltung bewertet. Die Bewertung erfolgt qualitativ, wobei die besonderen Unsicherheiten hinsichtlich der Bewertung sowie die Umsetzbarkeit der einzelnen Maßnahmenausgestaltungen berücksichtigt werden.

Ergebnisse

Es werden zunächst die qualitativen Ergebnisse der Portfolioanalyse dargestellt, auf welchen aufbauend vier Maßnahmenausgestaltungen ausgewählt und quantitativ untersucht wurden. Im Anschluss erfolgt die Synthese inklusive einer Einsortierung der Maßnahmenausgestaltungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen.

Qualitativer Vergleich der regulatorischen Maßnahmenausgestaltungen

¹⁰⁷ Zu diesem Absatz Jansen und Sager-Klauß 2017, S. 48.

¹⁰⁸ (Fixe) Betriebskosten des Erdgas-BHKWs werden nicht berücksichtigt, da von einer anteiligen Substitution der Wärmebereitstellung ausgegangen wird.

¹⁰⁹ Stichwort Einsatzstrategie: „Nutzung der x günstigsten Jahresstunden“.

Der einschlägigen Literatur¹¹⁰ konnten zwölf regulatorische Maßnahmenausgestaltungen entnommen werden, für die eine mittelfristige Umsetzung bis 2030 als realistisch eingeschätzt wurde und die konform mit dem Analysefokus sind. Die Feinjustierungen bestehender Privilegierungen bei S/A/U/E sowie produkt- und infrastrukturbezogenen Maßnahmenausgestaltungen im Kontext von Anpassungen der S/A/U/E sind primär im ersten Quadranten verortet. Allein die Maßnahmenausgestaltungen „Modifikation Netzentgeltreduzierung in § 19 StromNEV“ ist als spezifische Förderung im zweiten Quadranten einzustufen, da sie nur Geschäftsmodelle mit einer atypischen Netznutzung betrifft. Die Erweiterungen der Steuerentlastung, Netzentgeltbefreiung bzw. Umlagereduzierung werden alle als sehr wirkungsvolle Maßnahmen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit von PtX-Technologien bewertet, da sie insbesondere das Hemmnis „keine Wirtschaftlichkeit durch Netzentgelte/Umlagen/Steuern“ adressieren.¹¹¹ Die Umsetzung von Maßnahmen, die eine technologieoffene Regelung und den Einbezug von netz-, markt- bzw. systemdienlichem Strombezug in die Befreiungs- oder Reduktionstatbestände von Normen vorsehen, werden mit einer geringeren Markteingriffstiefe bewertet. Gemäß ihrem Anteil an den Strombezugskosten und der damit einhergehenden finanziellen Entlastung für die Geschäftsmodelle wird die Wirkung einer Netzentgeltbefreiung bzw. (EEG-)Umlagereduzierung als am größten eingestuft.¹¹² Eine breitere Wälzung der EEG-Umlage hätte vor allem aufgrund der fehlenden Wirtschaftlichkeit durch die aktuelle EEG-Umlagepflicht bei PtX einen großen Effekt auf die Wirtschaftlichkeit aller PtX-Technologien. Die Einführung einer CO₂-Bepreisung ist, da sie PtX nur indirekt betrifft, mittiger im vierten Quadranten lokalisiert.

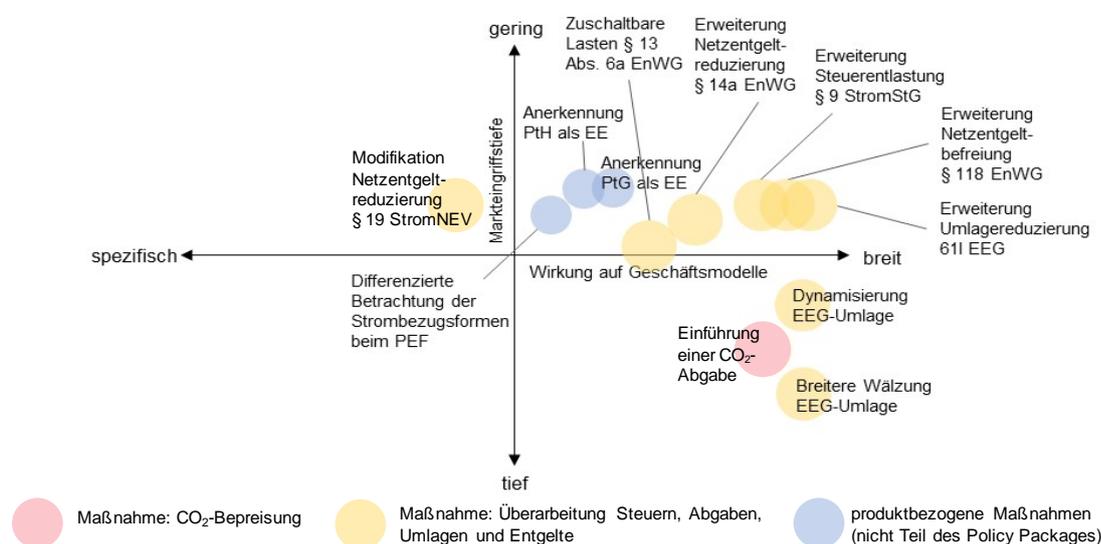


ABBILDUNG 17: ÜBERSICHT DER BETRACHTETEN MAßNAHMEN UND MAßNAHMENAUSGESTALTUNGEN IN DER PORTFOLIOMATRIX¹¹³

Quantitative Analyse ausgewählter regulatorischer Anpassungen

Anhand der zuvor genannten Kriterien wurden, neben einem Basisfall mit dem aktuellen regulatorischen Rahmen, die nachfolgenden Maßnahmen quantitativ betrachtet:

¹¹⁰ Herangezogen wurden: Praetorius et al. 2017, S. 19; Golling et al. 2017, S. 26; Nabe und Bons 2014, S. 6–7; Wietschel et al. 2018, S. 18; Schmitt et al. 2017, S. 8; Däuper und Lachmann 2018, S. 6; Gährs et al. 2016, S. 2–8; Frontier Economics und BET 2016, 57, 59, 61; Behm 2013, S. 600; Assmann 2016; Antoni et al. 2016, S. 65–66; Weiser und Schäfer-Stradowsky 2018, 13; Gerhardt et al. 2015, S. 163–164.

¹¹¹ Es handelt sich um ein im Rahmen der Literaturanalyse ermitteltes spezifisches Hemmnis für Power-to-X, nicht um eines der Hemmnisse aus der Analyse in Kapitel 5.3.

¹¹² Hinsichtlich der erweiterten Netzentgeltbefreiung nach § 118 EnWG ist festzustellen, dass dies besonders für PtH-Anlagen eine deutliche Verbesserung darstellen könnte, da ein deutlicher Kostenblock getroffen wird. Hinsichtlich PtG-Anlagen ist zu bemerken, dass diese Maßnahme bereits vorgesehen ist. Siehe: IKEM (2018).

¹¹³ Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Jansen und Sager-Klauß 2017, S. 49.

- Maßnahmenausgestaltungen M1, M2: „Erweiterte Netzentgeltbefreiung in § 118 Abs. 6 EnWG“ für PtH
 - Variante 1: Grundsätzliche Netzentgeltbefreiung
 - Variante 2: Netzentgeltbefreiung bei negativem Day-ahead-Börsenstrompreis
- Maßnahmenausgestaltungen M3, M4: „Breitere Wälzung der EEG-Umlage“:¹¹⁴ Erweiterte Basis der EEG-Umlage unter Einbeziehung des Endenergieverbrauchs im Wärme- und Verkehrssektor; Varianten mit unterschiedlichem Einbezug der Sektoren¹¹⁵
 - Variante 1: Strom (alle Sektoren) & Wärme (Haushalte, Industrie, GHD)
 - Variante 2: Strom (alle Sektoren) & Wärme (Haushalte, Industrie, GHD) & Verkehr
- Maßnahmenausgestaltung M5: spotmarktbasierende Dynamisierung der EEG-Umlage¹¹⁶
- Maßnahmenausgestaltungen M6, M7, M8: Einführungen allg. CO₂-Bepreisung (Ausgestaltung als Neujustierung der Energiesteuer nach dem Treibhausgasgehalt der Energieträger, M8 ohne Rückwirkungen auf den Stromsektor)
 - Variante 1: Moderater CO₂-Preis Sektorenübergreifend (40 €/t CO₂ in 2040)
 - Variante 2: Hoher CO₂-Preis, Sektorenübergreifend (180 €/t CO₂ in 2040)
 - Variante 3: Ambitionierter CO₂-Preis, nur Gassektor, Fortschreibung Strompreis (350 €/t CO₂ in 2040)

Die Ergebnisse für den Basisfall zeigen, dass unter aktuellen Bedingungen der Einsatz einer PtH-Anlage im Fallbeispiel bei vergleichsweise geringen Volllaststunden und entsprechend günstigen Spotmarktpreisen (gewählt wurden die günstigsten 1.000 Stunden) nicht wirtschaftlich gegenüber dem Einsatz eines bestehenden BHKWs ist. Auch eine isolierte Betrachtung des Investitionsvorhabens erscheint nicht wirtschaftlich. Ebenso führt keine der ausgewählten Maßnahmenausgestaltungen M1-M7 unter den genutzten Annahmen zu einem positiven Ergebnis gegenüber dem Einsatz des existierenden BHKWs oder hinsichtlich der alleinigen Wirtschaftlichkeit des Investitionsvorhabens. Lediglich eine ambitionierte sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung kann unter den gegebenen Annahmen zu einer Wirtschaftlichkeit der PtH-Anlage gegenüber dem BHKW führen. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen, dass zum Erreichen einer CO₂-neutralen Energieversorgung eine hohe CO₂-Bepreisung notwendig erscheint,¹¹⁷ um selbst die sehr effiziente Nutzung von Erdgas in BHKWs zu unterbinden. Der Einsatz der PtH-Anlage ist in der isolierten Bewertung unter einer Kombination der Maßnahmenausprägungen rentabel. So führt eine Kombination von M1 in Verbindung mit effektiven einer Reduktion der EEG-Umlage (M3-M5 wirken entsprechend) zur Wirtschaftlichkeit der Anlage. Die Einführung einer nicht ambitionierten CO₂-Bepreisung ist nicht ausreichend. Nur eine ambitionierte CO₂-Bepreisung kann unter aktuellen Marktbedingungen (S/A/U/E bleiben bestehen) zu einer relativen Vorteilhaftigkeit der Anlage gegenüber dem Einsatz eines BHKWs führen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der (Spotmarkt-)Strompreis selbst nur einen vergleichsweise geringen Anteil der gesamten Strombezugskosten der PtH-Anlage ausmacht, S/A/U/E in vollem Umfang anfallen und die Investitionsausgaben der Anlage mit gut 1 Mio. € zu Buche schlagen. Tabelle 12 fasst die Ergebnisse für den Basisfall und die betrachteten Maßnahmenausprägungen (im Vergleich zum Einsatz eines BHKWs) überblicksartig zusammen.

TABELLE 12: ERGEBNISSE FÜR DIE BETRACHTETEN MAßNAHMENAUSGESTALTUNGEN (GERUNDET)

¹¹⁴ In Anlehnung an: Gähns et al. 2016.

¹¹⁵ Eigene Variationen in Anlehnung an Gähns et al. 2016, S. 7–8.

¹¹⁶ in Anlehnung an: Nabe und Bons 2014, S. 11–12, die sich auf Konzepte von Fachkreisen der Bundesnetzagentur aus dem Jahr 2013 beziehen.

¹¹⁷ Edenhofer et al. 2019, S.75.

Differenz-Kapitalwerte für die betrachteten Maßnahmen			Fortschreibung Strombezugspreise	Modellbasierte Prognose
Basis	Status quo	€	- 4.820.000	- 4.630.000
M1	Netzentgeltbefreiung § 118 EnWG, unbedingt	€	- 2.540.000	- 2.360.000
M2	Netzentgeltbefreiung § 118 EnWG bei negativen Preisen	€	- 4.150.000	- 4.190.000
M3	breitere Wälzung EEG-Umlage, Strom + Wärme	€	- 3.110.000	- 2.930.000
M4	breitere Wälzung EEG-Umlage, Strom + Wärme + Verkehr	€	- 2.620.000	- 2.440.000
M5	Dynamische EEG-Umlage, Multi- plikator 1,5	€	- 2.470.000	
M6	CO ₂ -Bepreisung moderat	€		- 4.150.000
M7	CO ₂ -Bepreisung hoch	€		- 3.310.000
M8	CO ₂ -Bepreisung ambitioniert		60.000	

Unter der Verwendung verschiedener CO₂-Bepreisungspfade ist festzustellen, dass solche, die einen frühzeitig relativ gesehen hohen CO₂-Preis nutzen, langfristig zu niedrigeren Endpreisen führen, während flach ansteigende CO₂-Bepreisungspfade zwangsläufig zu sehr hohen Endpreisen führen, wenn der Ersatz des BHKWs durch die PtH-Anlage gefordert ist. Aus einzelwirtschaftlicher Sicht sind hierbei die Diskontierungsraten maßgeblich, die durch stärkere Diskontierung zukünftiger Zahlungsströme die Effekte eines Preispfads, der ausgehend von niedrigen Preisen erst langfristig ein höheres Niveau erreicht konterkatieren.

Synthese und kritische Würdigung

Insgesamt können die Maßnahmenausgestaltungen grob in drei Felder aufgeteilt werden: Maßnahmenausgestaltungen, die eine *Preisniveaushiftung* bewirken, Maßnahmenausgestaltungen, bei denen diese *Niveaushiftung an definierte Bedingungen geknüpft* ist, sowie Maßnahmenausgestaltungen zur *Dynamisierung von Preisbestandteilen*. So ergibt sich durch eine allgemeine Befreiung von Netzentgelten oder der Stromsteuer eine (statische) Niveaushiftung des zu zahlenden Strompreises und somit der Ergebnisse (siehe M1). Daneben bewirkt die Dynamisierung von Kostenbestandteilen, wie etwa der EEG-Umlage (M5), anhand des Börsenstrompreises oder sonstiger Signale eine dynamische Verschiebung der Wirtschaftlichkeit. Zwischen beiden Optionen besteht noch eine Kombination im Sinne einer Niveaushiftung, die an einen definierten Tatbestand geknüpft wird, wie die Reduktion der Netzentgelte bei Unterschreiten eines bestimmten Strompreises (M2). Die folgende Grafik gibt eine Übersicht über die Einteilung in dieser Untersuchung.

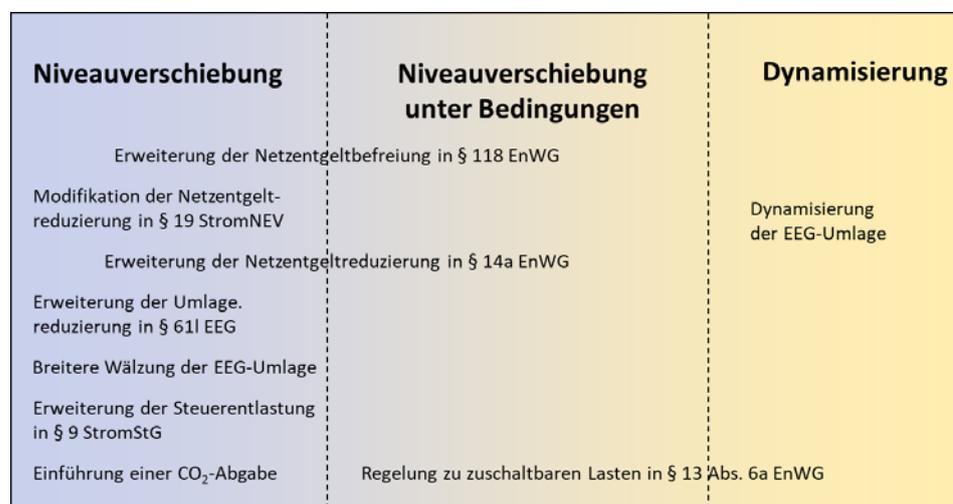


ABBILDUNG 18: KLASSIFIZIERUNG DER MAßNAHMEN

Anhand der quantitativen Analyse ist zu erkennen, dass eine flexible PtH-Anlage durch die Kombination von Maßnahmenausprägungen wie bspw. einer Dynamisierung (prozentual) großer Strompreisbestandteile und dem Ausnutzen zeitlich variabler Börsenstrompreise am ehesten eine Wirtschaftlichkeit erreichen kann. Die Kombination einer Reduktion der Netzentgelte nach § 118 Abs. 6 EnWG oder § 14a EnWG mit einer Dynamisierung der EEG-Umlage bzw. breiteren Wälzung dieser erscheint aufgrund Ergebnisse der Szenarien M3 bis M5 besonders interessant aus betriebswirtschaftlicher Perspektive. Für die Einführung einer CO₂-Preiskomponente (M6-M8) hängt die Wirtschaftlichkeit stark mit dem Zusammenspiel mit den anderen Sektoren sowie dem unterstellten Strommix und resultierenden Strompreisen zusammen. So lässt ein weiter ambitionierter, bzw. schneller steigender CO₂-Pfad eine Rentabilität der Anlage erwarten. Insgesamt lassen sich aus der Synthese vier zentrale Erkenntnisse ableiten:

- Für Maßnahmen aus einer der drei Kategorien besteht jeweils eine Wirkungsanalogie. Insofern sind – bei gleicher Effektivität – die zu bevorzugen, bei denen eine einfache Umsetzbarkeit gegeben ist.
- Eine CO₂-Bepreisung kann bei hinreichendem Preisniveau, d. h. sehr stark über dem heutigen Niveau liegenden Preisen, ebenfalls zu positivem Kapitalwert führen ist aufgrund der Wirkung auf die Erzeugungskosten der alternativen, fossilen Bereitstellung allerdings ein Sonderfall im Vergleich mit den hier untersuchten Maßnahmenausprägungen.
- Eine Dynamisierung von Preiskomponenten kann effektiver sein als eine Niveauverschiebung. Dies gilt dann, wenn die Preiskomponente einen „großen Hebel“ darstellt.
- Preisniveauverschiebungen können am ehesten an existierende Regelungen anknüpfen.

Limitierend ist darauf hinzuweisen, dass die in dieser Analyse generierten quantitativen Ergebnisse lediglich für das Fallbeispiel und für Konstellationen mit einer PtH-Anlage, einem Wärmenetz und einem Erdgas-BHKW als alternative Wärmebereitstellungsquelle gelten. Damit sind die quantitativen Ergebnisse nur sehr bedingt vergleichbar und decken nicht das vollständige Anwendungsspektrum für PtX-Anwendungen ab. Die unterstellten Annahmen müssen für eine Generalisierbarkeit der Aussagen in weiteren Analysen auf parametrische Unsicherheiten untersucht werden. Hierbei ist zu bedenken, dass speziell die Entwicklung von Strompreisen vor allem vom Kraftwerkspark und damit dem politischen Willen zur Umsetzung der Energiewende abhängt. Hier liegen daher trotz Verwendung verschiedener Modellrechnungen deutliche Unsicherheiten. Die Sensitivitätsanalyse zeigt zudem, dass einzelne Anpassungen an Rahmendaten bereits deutliche Ergebnisveränderungen mit sich bringen. Hier erscheinen weitere Analysen sinnvoll, um eine eindeutige Einsatzempfehlung bzw. Maßnahmenausgestaltungsempfehlung geben zu können. Ebenso sind hinsichtlich der Entwicklung der EEG-Umlage unter Implementierung einer CO₂-Bepreisung weitere Annahmen zu treffen. So konnte im Modell lediglich eine grobe Abschätzung der Umlage inkludiert werden, die lediglich durch Variation eine Risikobewertung ermöglicht. Eine genaue Abschätzung der Effekte auf eine breite Verteilung der Umlage, speziell aber auch einer Dynamisierung dieser, konnte im Rahmen der Analyse nicht durchgeführt werden. Hier besteht (auch hinsichtlich der Verteilungseffekte) weiterer Forschungsbedarf, wobei auf Ansätze aus den Analysen zu Prosumern in Kapitel 6.3 zurückgegriffen werden könnte.

Fazit und Ausblick

Bislang bestehen aus betriebswirtschaftlicher Perspektive Hemmnisse für die Wirtschaftlichkeit und Marktdurchdringung von Sektorkopplungstechnologien. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass einzelne Kombinationen von Maßnahmenausprägungen die Wirtschaftlichkeit von Geschäftsmodellen für PtX-Technologien ermöglichen. Maßnahmen mit einer höheren Markteingriffstiefe können langfristig einen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit PtH leisten. Dies umfasst etwa eine CO₂-Bepreisung sowie eine breitere Wälzung der EEG-Umlage in die Sektoren Wärme und Verkehr. Zudem konnte bei Variationen ermittelt werden, dass die grundsätzlichen Ergebnisse relativ robust gegenüber verschiedenen Spotmarkt-Preispfaden sind. Deutlich ausschlaggebender ist der regulatorische Rahmen und die verbundenen S/A/U/E. Die CO₂-Bepreisung kann speziell bei einem ambitionierten Pfad ein sinnvolles Vorgehen zur Defossilisierung darstellen.

Insgesamt konnte somit gezeigt werden, dass durch die Maßnahmen *CO₂-Bepreisung* und *Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten* für die angenommene Parametrierung und die betrachtete Konstellation aus einzelwirtschaftlicher Perspektive ein positiver Beitrag für die Integri-

on von Power-to-Heat als Möglichkeit zur Defossilisierung der Wärmeversorgung entsteht, jedoch verschiedene Maßnahmenausgestaltungen zu kombinieren und/oder ein verhältnismäßig hoher CO₂-Preis erforderlich sind. Somit sind die Wirkungen der beiden Maßnahmen des Policy Packages hinsichtlich des Kriteriums *Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt* aus einzelwirtschaftlicher Sicht grundsätzlich positiv zu bewerten. In Bezug auf eine volkswirtschaftliche Einordnung sei auf den Beitrag von Fraunhofer ISE verwiesen (s. Kapitel 6.2).

6.8 Technologie- & Innovationsanalysen im Wärmesektor

Beitrag von ZSW und TU Darmstadt

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“
- „Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt“
- „Effektivität“

für das Policy Package

Einleitung und Motivation

Die Entwicklung des zukünftigen Wärmemarkts wird grundsätzlich davon abhängen, welche technischen Lösungen in welchem Ausmaß nutzbar sind und welche Eigenschaften diese mit sich bringen. Im Zuge von Forschung und Entwicklung werden diese Eigenschaften optimiert und sich somit im Laufe der Zeit ändern. Um mögliche Entwicklungspfade und deren Gestaltungsmöglichkeiten in Hemmnis- und Systemanalysen abschätzen bzw. berechnen zu können, bedarf es verlässlicher Informationen über Charakteristika und Wirkzusammenhänge der betreffenden Technologien, sowohl für heute als auch für die Zukunft. Eine umfassende und fortlaufende Technologie- und Innovationsanalyse ist daher als unerlässliche Basis für alle weiterführenden Untersuchungen zu verstehen. Hierzu ist es notwendig, für jede Technologie in einem ersten Schritt zunächst den Status Quo zu beschreiben und darauf aufbauend mögliche Entwicklungsperspektiven aufzuzeigen.

In ENavi-Phase 1 wurden deshalb im Rahmen von Schwerpunkt 2 erste Teile einer umfassenden Analyse des Wärmemarktes durchgeführt. Hierzu zählt die Identifizierung verfügbarer und potentiell relevanter Technologien im Wärmebereich und hierauf aufbauend eine Analyse hinsichtlich ihrer technologischen und ökonomischen Entwicklung sowie ökologischer Charakteristika. Begleitend wurden zudem Innovationsanalysen durchgeführt, die dabei unterstützen, aktuelle Forschungstrends sowie technologische Entwicklungspotenziale aufzudecken und damit letztlich auch (potenzielle) Schlüsseltechnologien zu identifizieren. Die Ergebnisse wurden hierbei in Form von Technologierastern zusammengetragen und für ausgewählte Technologien innerhalb von Technologiesteckbriefen ausführlicher diskutiert. Generelles Ziel der Technologie- und Innovationsanalysen ist hierbei, die für die Umsetzung der Wärmewende relevanten Technologien zu charakterisieren, deren Leistungsfähigkeit, (Entwicklungs-)Potenziale sowie Interdependenzen im System zu untersuchen und die gewonnenen Ergebnisse allen Projektteilnehmern (sowie anschließend in aufbereiteter Form der interessierten Öffentlichkeit) zur Verfügung zu stellen. Die Arbeiten des Arbeitspakets 2 für den Schwerpunkt 2 stellen demnach weniger direkte Beiträge für Folgenabschätzungen an sich dar, sondern haben vielmehr einen unterstützenden Charakter, der den Folgenabschätzungen vorgelagert ist und somit eine wichtige Datengrundlage für diese bereitstellt. So wurden die gesammelten Informationen zu relevanten Wärmetechnologien und deren (prognostizierte) Entwicklung den einzelnen Projektteilnehmern zur Verfügung gestellt und zudem bestehende Modelldaten auf ihre Plausibilität hin überprüft. Die Arbeiten bilden somit einen Grundstein für Folgenabschätzungen sowie die Erstellung von Szenarien.

Erkenntnisse zum allgemeinen Forschungs- und Entwicklungsgeschehen auf internationaler sowie regionaler Ebene, konnten unter anderem im Rahmen einer umfassenden Patentanalyse gewonnen werden. Im Rahmen der Untersuchung von am europäischen Patentamt eingereichten Patenten zu relevanten Wärmetechnologien (siehe Abbildung 19) lassen sich vor allem Solarthermie und Wärmepumpen als besonders forschungsintensive Felder identifizieren. Inventionen auf dem Feld der Solarthermie bilden international den größten Anteil der untersuchten Technologien. Bei den Erzeugungstechnologien befinden sich des Weiteren Wärmepumpen auf dem zweiten Rang. Solarthermie und Wärmepumpen gelten auch in der öffentlichen und wissenschaftlichen Diskussion als die zukünftig

tragenden Wärmetechnologien. In den nachfolgenden Betrachtungen sollen deshalb für diese zwei Technologien beispielhaft ausgewählte Charakteristika und Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden.

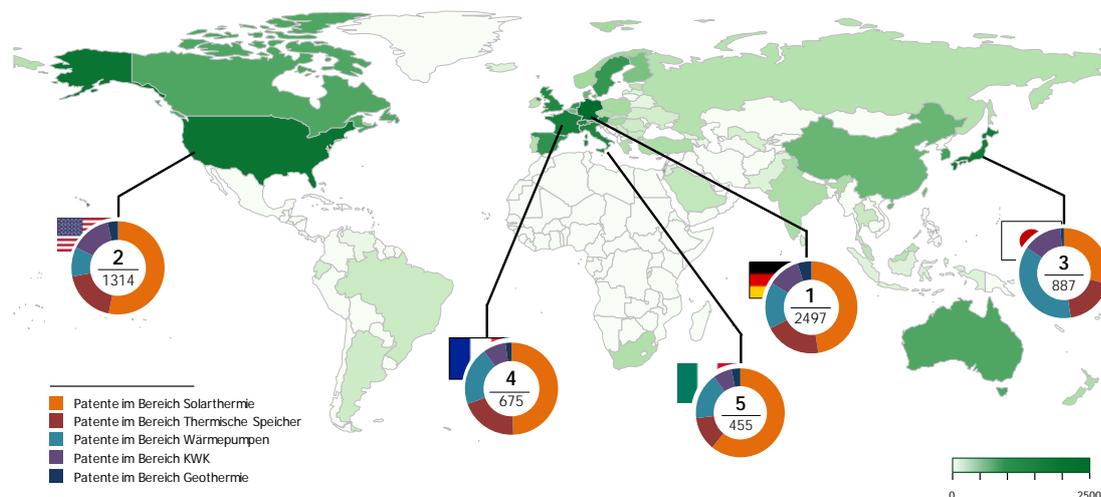


ABBILDUNG 19: ANZAHL DER PATENTANMELDUNGEN DER ANMELDESTÄRKSTEN WÄRMETECHNOLOGIEN AM EUROPÄISCHEN PATENTAMT (EPA) NACH LÄNDERN.¹¹⁸

Solarthermie

Status Quo und Zukunftsentwicklung

Status Quo

Exemplarisch für die Analyse des Status Quo im Rahmen der Arbeiten zu den „Technologiesteckbriefen“ aus Arbeitspaket 2 (AP2) zeigt die nachfolgende Tabelle die Ausbautwicklung solarthermischer Anlagen in Deutschland seit 2000. Neben installierter Leistung, Kollektorfläche und Anlagenzubau wird auch die Wärmebereitstellung dargestellt.

TABELLE 13: BESTAND, ZUBAU UND ENDENERGIEVERBRAUCH (WÄRME) VON SOLARTHERMIEANLAGEN IN DEUTSCHLAND SEIT 2000.¹¹⁹

Messgröße	Einheit	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Bestand DE <i>Installierte Leistung</i>	<i>GW_{th}</i>	2,3	5,0	10,0	13,5	14,1	14,5	14,9
Bestand DE <i>Kollektorfläche</i>	<i>Mio. m²</i>	3,3	7,1	13,9	18,3	18,8	19,1	19,3
Zubau DE <i>Kollektorfläche</i>	<i>Mio. m²</i>	0,6	1,0	1,1	0,8	0,7	0,6	0,6
Endenergieverbrauch Wärme	<i>GWh</i>	1.292	3.028	5.592	7.706	7.693	7.853	8.877

Tabelle 13 beschreibt einen stetigen Zubau der Leistung von Solarthermieanlagen, der jedoch in den vergangenen Jahren sukzessive zurückgegangen ist. Speziell im Vergleich zur Photovoltaik fällt der Solarthermiezubau insgesamt eher gering aus. Die Technologieanalyse ergab zudem, dass das bestehende große Potenzial von Solarthermie in der Prozesswärme bislang nur in sehr geringem Maße ausgeschöpft wird.

¹¹⁸ ZSW nach Daten aus PATSTAT. Stand: Frühjahr 2017

¹¹⁹ ZSW (2019). ENavi Technologiedatensteckbrief Solarthermie 2019.

Ausbauprognosen

Für die zukünftige Entwicklung des Solarthermiezubaus werden in der Literatur sehr unterschiedliche Verlaufsformen prognostiziert. Giovannetti et al. stellen den möglichen Ausbaukorridor für Deutschland je nach angestrebtem CO₂-Reduktionspfad (80%- vs. 95%-CO₂-Reduktionsszenario) anschaulich dar. Im Jahr 2050 variiert die installierte Leistung von Solarthermieanlagen zwischen 119,5 und 168,2 GW_{th}. Die erzeugte Wärme wird auf 68,3 bis 96,1 TWh prognostiziert (Tabelle 14). Das globale Solarthermiemarktpotenzial für 2050 wird auf 7.931 bis 8.190 GW_{th} mit einer Wärmeproduktion zwischen 8.716 und 9.013 TWh prognostiziert.¹²⁰

TABELLE 14: MARKTPOTENZIAL SOWIE MÖGLICHE WÄRMEEERZEUGUNG SOLARER WÄRME (UND KÄLTE) IN DEUTSCHLAND UND INTERNATIONAL NACH SZENARIEN.¹¹⁹

Messgröße	Einheit		2020	2030	2040	2050
Szenarienbereich DE_80 %	GW _{th}	min.	34,3	78,8	102,6	119,5
		max.	46,2	85,1	126,0	166,4
	TWh	min.	19,6	45,0	58,6	68,3
		max.	26,4	48,6	72,0	95,1
Szenarienbereich DE_95 %	GW _{th}	min.	20,1	54,3	110,2	137,7
		max.	40,3	106,5	146,8	168,2
	TWh	min.	11,5	31,0	63,0	78,7
		max.	23,1	60,8	83,9	96,1
Globales Marktpotenzial	GW _{th}	min.	749	3.418	6.640	7.931
		max.	749	3.421	6.700	8.190
	TWh	min.	743	3.607	7.140	8.716
		max.	743	3.609	7.195	9.013

Für zentrale solarthermische Anlagen gehen Prognosen für Deutschland in der Literatur bislang von einem geringen Anteil aus. Im Jahr 2025 sollen diese lediglich 0,9 GW_{th} installierte Leistung aufweisen und sich bis 2030 auf 1,8 GW_{th} erhöhen.¹²¹ Dezentrale Anlagen werden demnach noch für einige Zeit die dominante Rolle einnehmen.

Prognosen der Kostenentwicklung

Die Prognosen für die Kostenentwicklung von Solarthermieanlagen gehen von stetig sinkenden Investitionskosten aus (Abbildung 20). Während die Kosten für dezentrale Anlagen 2014 noch rund 1.030 Euro/kW_{th} betragen, wird gemäß ENavi Technologiedatensteckbriefe Solarthermie davon ausgegangen, dass die Systemkosten 2020 auf unter 790 Euro/kW_{th} absinken. Die Kostenkurve flacht danach weiter ab. Für 2050 wird von Systemkosten unter 450 Euro/kW_{th} ausgegangen. Für zentrale Solarthermieanlagen wird eine ähnliche Kostenentwicklung – ausgehend von einem niedrigeren „Startwert“ 2014 mit rund 560 Euro/kW_{th} – gesehen. Die Kosten für zentrale Anlagen, die sich auch für die Einspeisung in Wärmenetze eignen, sollen bis 2050 auf bis zu 270 Euro/kW_{th} sinken.¹¹⁹

Insgesamt betrachtet konnten die Systemkosten von Solarthermieanlagen der Kostenentwicklung von Photovoltaikanlagen in den letzten Jahren nicht folgen. So wird bei PV-Aufdachanlagen ein (weiterer) Rückgang der Systemkosten von über 40 % allein von 2014 bis 2020 erwartet.¹²² Dies verschärft die bestehende Konkurrenzsituation gegenüber Photovoltaik auf Gebäudedächern. Anders gestaltet sich

¹²⁰ Giovannetti et al. (2018). Technologiebericht 1.4 Solare Wärme und Kälte. In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

¹²¹ Öko-Institut e.V. (2019). Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Endbericht. Berlin.

¹²² ZSW (2019). ENavi Technologiedatensteckbrief Photovoltaik 2019.

dies bei der zentralen Solarthermie aufgrund der Einsparungen bei der Verrohrung. Hier befinden sich die Kosten bereits auf einer weit niedrigeren Stufe, werden ab 2030 jedoch nur noch sehr geringfügig absinken.

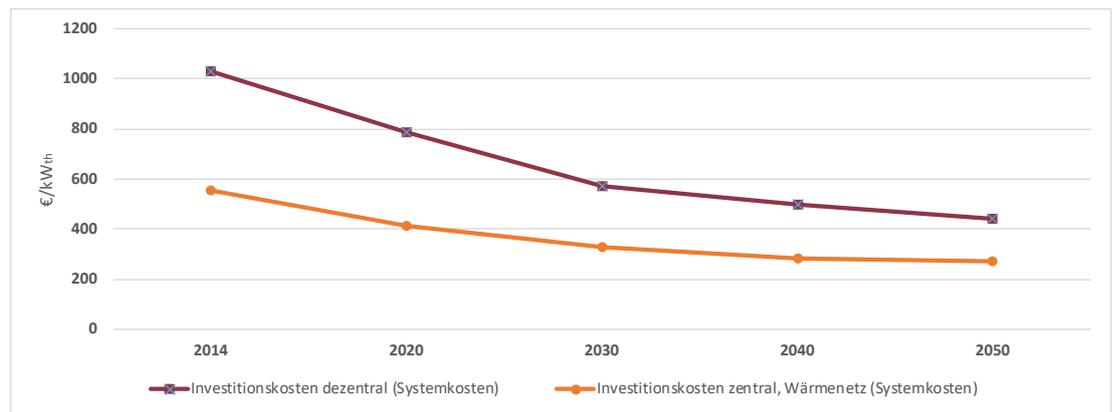


ABBILDUNG 20: SYSTEMKOSTEN VON DEZENTRALEN UND ZENTRALEN SOLARTHERMIEANLAGEN MIT PROGNOSEWERTEN.¹¹⁹

Innovationsanalyse

Recherchen in der Datenbank des Europäischen Patentamts ergaben die in der nachfolgenden Abbildung veranschaulichten Patentanmeldungen für die fünf anmeldestärksten Nationen. Die Zahlen zeigen, dass Deutschland, dicht gefolgt von den USA, einen wesentlichen Anteil an technischen Entwicklungen im Bereich der Solarthermie aufweist und sich hinsichtlich seiner Entwicklungstätigkeit deutlich von anderen Nationen abhebt.

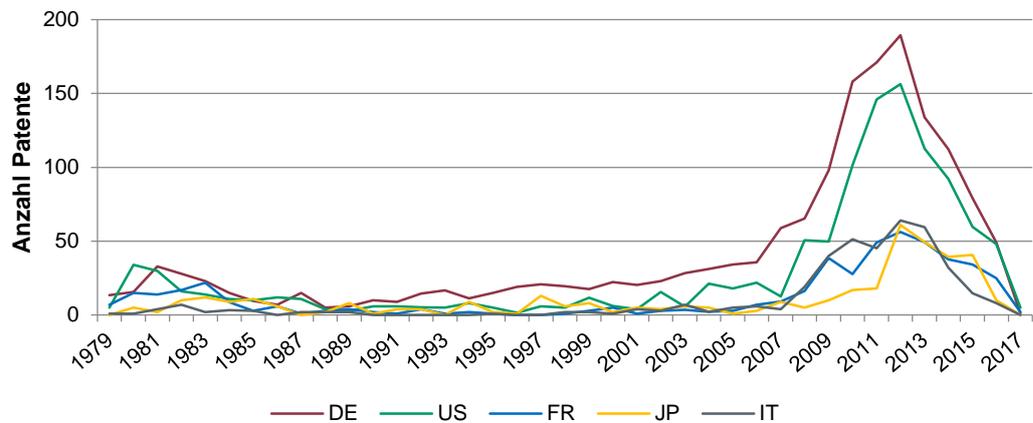


ABBILDUNG 21: ANZAHL PATENTANMELDUNGEN AM EUROPÄISCHEN PATENTAMT IM BEREICH SOLARTHERMIE.¹²³

Mit Blick auf die deutschen Patentanmeldungen fokussieren sich die Entwicklungen primär auf Techniken zur Befestigung und Nachführung sowie die Weiterentwicklung von Wärmetauschersystemen. Entsprechende Entwicklungen veranschaulicht hierbei Abbildung 22. Die deutschen Schwerpunkte hinsichtlich der Technologieforschung weisen eine große Ähnlichkeit zu den internationalen Ausprägungen auf. Auffällig ist allerdings, dass speziell die Forschungsbereiche Fresnel-Linsen und Kollektoren über einen Großteil des Betrachtungszeitraums nicht, bzw. nur peripher, Gegenstand der deutschen Forschung waren.

¹²³ ZSW nach PATSTAT 2017 - Aufgrund eines erhöhten administrativen Aufwands bei der Zusammentragung und Prüfung der einzelnen Patentinformationen sind die Daten innerhalb der PATSTAT-Datenbank in den jüngeren (i.d.R. drei) Jahren nicht immer vollständig. Bei den hier gezeigten Darstellungen ist somit meist ab dem Jahr 2015 ein Abfall des Patentoutputs zu erkennen.

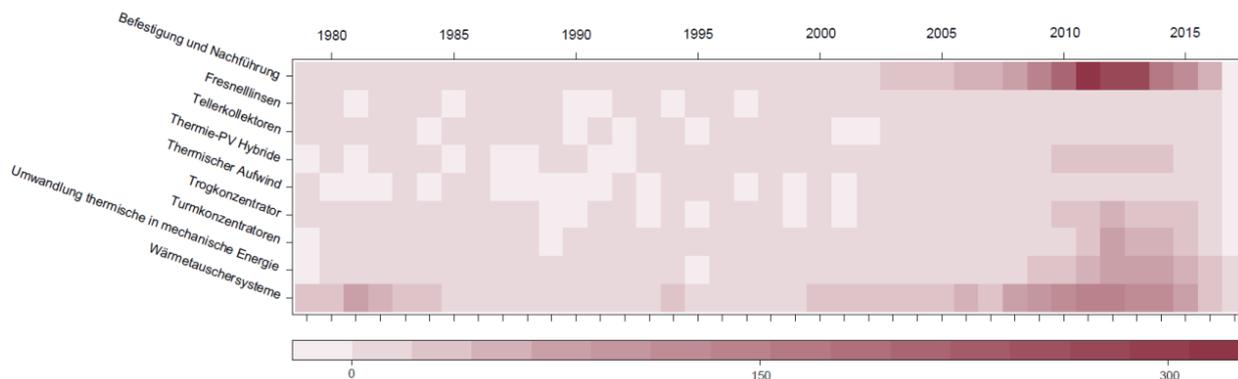


ABBILDUNG 22: ANZAHL DEUTSCHER INVENTIONEN NACH TECHNOLOGIEBEREICH.¹²³

Forschungsschwerpunkte – aktuell und zukünftig

Öffentliche Forschungsausgaben in DE

2017 liefen 70 Projekte zum Thema Niedertemperatur-Solarthermie mit einem Fördervolumen von 7,7 Mio. Euro. 2018 wurden 67 Projekte mit einem Fördervolumen von insgesamt 7,3 Mio., Euro bearbeitet. Lediglich ein Projekt zu solarer Prozesswärme lief im Jahr 2017, im Folgejahr immerhin zwei mit einem Fördervolumen von jeweils unter 0,1 Mio. Euro. Für solare Kälte gab es diesbezüglich keine Angaben.^{124 125} Als Vergleichswert bewegen sich die Förderausgaben für kristallines Silizium im PV-Sektor von 2012 bis 2018 zwischen 26 und 53 Mio. Euro pro Jahr.

TABELLE 15: FORSCHUNGSAusgaben DES BUNDES FÜR SOLARThERMIe, SOLARE KÄLTe UND SOLARE PRoZESSWÄRME.¹²⁴

Messgröße	Einheit	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Fördervolumen <i>Niedertemperatur Solarthermie</i>	Mio. €	4,9	6,47	6,36	5,54	6,43	7,71	7,30
Fördervolumen <i>Solare Kälte</i>	Mio. €	1,73	1,21	1,02	0,48	0,13	-	-
Fördervolumen <i>Solare Prozesswärme</i>	Mio. €	0,35	0,25	0,10	0,10	0,09	0,08	0,01

Forschungsgebiete

Aus technologischer Sicht ist Solarthermie weit vorangeschritten und Deutschland in der Technologieführerschaft.¹²⁶ Um erwünschte Zukunftsentwicklungen zu realisieren, sind daher eher regulatorische Maßnahmen und rechtliche Rahmenbedingungen für den vermehrten Ausbau zu untersuchen. Speziell die Errichtung von Nahwärmenetzen und Prozesswärmeanlagen sowie Anlagen auf Dächern von Mehrfamilienhäusern sollten hierbei gefördert werden. Die Art und Höhe der einzuleitenden Maßnahmen und Regularien sind entsprechend zu erforschen.

Wärmepumpe

Status Quo und Zukunftsentwicklung

¹²⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019). Bundesbericht Energieforschung 2019 - Forschungsförderung für die Energiewende. Berlin.

¹²⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018). Bundesbericht Energieforschung 2018 - Forschungsförderung für die Energiewende. Berlin.

¹²⁶ Giovanetti et al. (2018). Technologiebericht 1.4 Solare Wärme und Kälte. In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

Die Wärmepumpentechnologie lässt sich in mehrere Technologiestränge aufteilen: Zum einen elektrische Wärmepumpen, wie Luft-Wasser-Wärmepumpe (Wärmequelle Luft), Sole-Wasser-Wärmepumpe (Wärmequelle Erdreich), Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Wärmequelle Grundwasser) und Warmwasser-Wärmepumpe zur Erzeugung von Trinkwarmwasser (Wärmequelle i.d.R. Keller- oder Außenluft). Zum anderen existieren auch Gas-Wärmepumpen, welche in Kompressions- und Sorptionswärmepumpen unterschieden werden. Im Folgenden werden Auszüge aus der Technologieanalyse für Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen dargestellt, da diese beiden Technologien die dominante Rolle im derzeitigen Wärmepumpenmarkt einnehmen. Der Fokus innerhalb dieser beiden Technologien liegt wiederum auf den Kleinanlagen, d. h. Groß-Wärmepumpen werden aufgrund der noch geringen Relevanz nachfolgend nicht dargestellt.

Status Quo

Exemplarisch für die Analyse des Status Quo im Rahmen der Arbeiten zu den Technologiesteckbriefen des AP2 zeigen nachfolgende Tabellen die Ausbauentwicklung von Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen in Deutschland seit 2000. Neben der installierten Leistung und der Wärmebereitstellung, wird auch die Entwicklung der durchschnittlichen thermischen Leistung sowie der Jahresarbeitszahl dargestellt.

TABELLE 16: BESTAND, WÄRMEBEREITSTELLUNG, DURCHSCHNITTLICHE THERMISCHE LEISTUNG UND DURCHSCHNITTLICHE JAHRESARBEITSAHLE VON LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPEN IN DEUTSCHLAND SEIT 2000.¹²⁷

Messgröße	Einheit	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Bestand DE (Installierte Leistung)	MW_{th}	236	367	1.749	3.773	4.210	4.730
Bestand DE (Anzahl, gerundet)	Anzahl	14.800	25.100	137.800	323.900	369.200	423.600
Wärmebereitstellung	GWh	463	678	3.233	7.322	8.174	-
Durchschnittliche thermische Leistung	kW_{th}	15,9	14,6	12,7	11,6	11,4	-
Durchschnittliche Jahresarbeitszahl		2,11	2,39	2,74	2,90	2,92	-

TABELLE 17: BESTAND, WÄRMEBEREITSTELLUNG, DURCHSCHNITTLICHE THERMISCHE LEISTUNG UND DURCHSCHNITTLICHE JAHRESARBEITSAHLE VON SOLE-WASSER-WÄRMEPUMPEN IN DEUTSCHLAND SEIT 2000.¹²⁷

Messgröße	Einheit	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Bestand DE (Installierte Leistung)	MW_{th}	930	1.015	2.199	3.120	3.288	3.450
Bestand DE (Anzahl, gerundet)	Anzahl	67.100	79.600	196.700	277.800	295.100	311.600
Wärmebereitstellung	GWh	1.846	1.938	4.242	6.235	6.550	-
Durchschnittliche thermische Leistung	kW_{th}	13,9	12,7	11,2	11,2	11,1	-
Durchschnittliche Jahresarbeitszahl		3,17	3,36	3,59	3,68	3,69	-

Tabelle 16 verdeutlicht, dass Luft-Wasser-Wärmepumpen in den vergangenen Jahren einen vergleichsweise starken Zubau verzeichnen konnten. Auch Sole-Wasser-Wärmepumpen sind hinsichtlich ihres Zubaus deutlich angestiegen (Tabelle 17). Dieser hat sich jedoch in den vergangenen Jahren abgeschwächt, sodass seit 2013 die Wärmeerzeugung von Luft-Wasser-Wärmepumpen diejenige aus Sole-Wasser-Wärmepumpen übersteigt. Wichtige Gründe für die höhere Nachfrage an Luft-Wasser-Wärmepumpen stellen die vergleichsweise geringen Installationskosten sowie die einfachere Installation der Systeme dar. Beide Wärmepumpentypen weisen kontinuierlich steigende Jahresarbeitszahlen bei gleichzeitig geringerer installierter Anlagengröße je System auf.

¹²⁷ ZSW (2019). ENavi Technologiendatensteckbriefe Wärmepumpen 2019

Ausbauprognosen

Für die Prognose des weiteren Zubaus von elektrischen Wärmepumpen bestehen in der Literatur sehr differenzierte Aussagen. So wird bspw. für 2030 eine Bandbreite an installierten Wärmepumpenanlagen von 1,5 Mio. bis 7,9 Mio. prognostiziert.¹²⁷ Dies zeigt, dass die weitere Entwicklung in diesem Bereich noch relativ unsicher ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Wärmepumpentechnologie für den Wärmemarkt der Zukunft eine entscheidende Rolle spielen wird. Darüber hinaus wird von weiter steigenden Jahresarbeitszahlen sowie kontinuierlich abnehmender installierter Leistung je System bei den einzelnen Wärmepumpentypen ausgegangen (siehe Tabelle 18 und Tabelle 19).

TABELLE 18: ENTWICKLUNG VON JAHRESARBEITSAHLE UND DURCHSCHNITTLICHER HEIZLEISTUNG VON LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPEN.¹²⁷

Messgröße	Einheit	2020	2030	2040	2050
Durchschnittliche thermische Leistung	kW_{th}	10,5	10,1	9,5	9,0
Durchschnittliche Jahresarbeitszahl		3,2	3,5	3,65	3,9

TABELLE 19: ENTWICKLUNG VON JAHRESARBEITSAHLE UND DURCHSCHNITTLICHER HEIZLEISTUNG VON SOLE-WASSER-WÄRMEPUMPEN.¹²⁷

Messgröße	Einheit	2020	2030	2040	2050
Durchschnittliche thermische Leistung	kW_{th}	9,8	8,1	7,5	7,0
Durchschnittliche Jahresarbeitszahl		3,9	4,0	4,0	4,2

Prognosen der Kostenentwicklung

Auch bei den Wärmepumpen wird von stetig sinkenden Anlagekosten ausgegangen. Abbildung 23 und Abbildung 24 stellen jeweils die Bandbreite der Kostenentwicklung von Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen bis 2050 von relevanten Studien dar. Ausgehend von einer Literaturanalyse konnten auch jeweils Referenzwerte für die Kostenentwicklung gebildet werden.

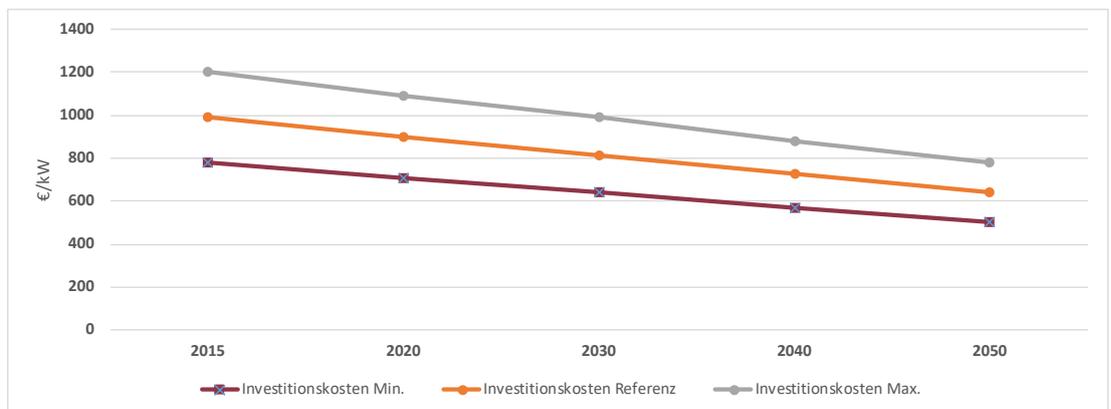
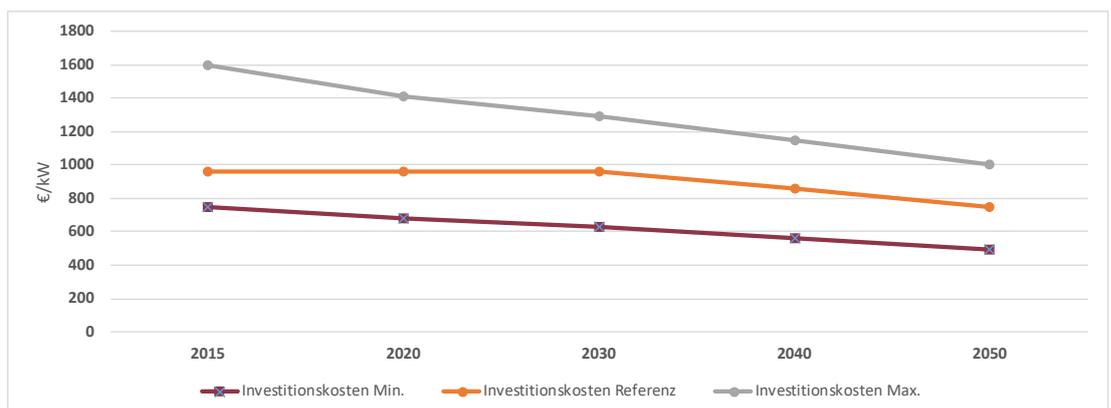


ABBILDUNG 23: INVESTITIONSKOSTEN VON LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPEN MIT PROGNOSEWERTEN.¹²⁷



Die Analyse der Kostenentwicklung von Luft-Wasser- sowie Sole-Wasser-Wärmepumpen zeigt das geringere Investitionskostenniveau von Luft-Wasser-Wärmepumpensystemen gegenüber Sole-Wasser-Wärmepumpen. Bei beiden Systemen ist mit deutlichen Kostenreduktionen bis 2050 zu rechnen. Jedoch ist ebenso mit einer Angleichung der Investitionskosten bis 2050 zu rechnen.

Innovationsanalyse

Ähnlich zur Solarthermie stellen auch bei Patenten im Bereich der Wärmepumpen Deutschland, Japan, die USA, Frankreich sowie Italien die fünf anmeldestärksten Nationen dar. Deutschland, welches sich Anfang der 80er Jahre hinsichtlich der Zahl seiner Inventionen deutlich von anderen Ländern abhob und kumuliert immer noch über die meisten Patentanmeldungen verfügt, wurde hierbei in den letzten Jahren deutlich von Japan überholt, welches zuvor kaum Entwicklungen im Bereich der Wärmepumpentechnologie vorweisen konnte.

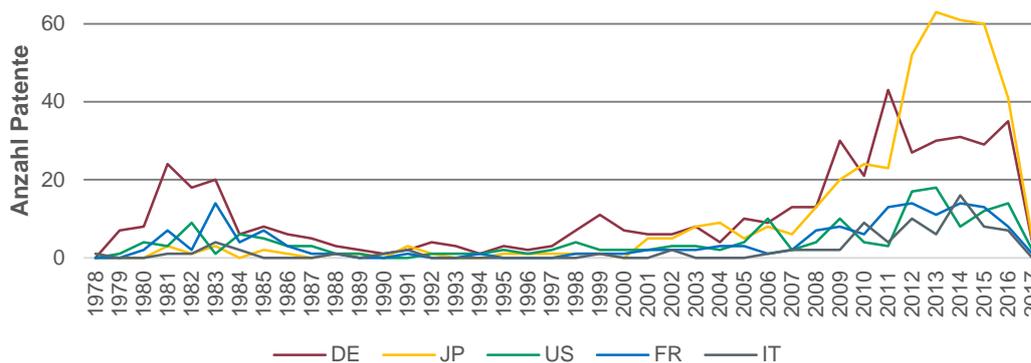


ABBILDUNG 25: ANZAHL PATENTANMELDUNGEN AM EUROPÄISCHEN PATENTAMT IM BEREICH WÄRMEPUMPEN¹²³

Forschungsschwerpunkte – aktuell und zukünftig

Öffentliche Forschungsausgaben in DE

Nach Angaben des BMWi liefen 2018 bundesweit 31 Projekte zu Wärmepumpen und Kältemittel, 2017 waren es noch 23 Projekte.^{124 125} Die in Tabelle 20 aufgezeigten Forschungsausgaben des Bundes für Wärmepumpen und Kältemittel zeigen ein über die Jahre insgesamt deutlich ansteigendes Fördervolumen (mit Ausnahme von 2013 auf 2014 und 2017 auf 2018), was die zunehmende Relevanz der Wärmepumpentechnologie gerade auch im Hinblick auf die Wärmewende unterstreicht.

TABELLE 20: FORSCHUNGS-AUSGABEN DES BUNDES FÜR WÄRMEPUMPEN UND KÄLTEMITTEL¹²⁴

Messgröße	Einheit	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Fördervolumen Wärmepumpen, Kältemittel	Mio. Euro	1,28	2,99	2,58	3,02	3,83	4,45	4,30

6.9 Wirkung von EE-Quoten im Gebäudebestand: Das Beispiel des EWärmeG in Baden-Württemberg

Beitrag des ZEW Mannheim

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“
- „Effektivität“

für das Policy Package

Die Wärmeversorgung von Gebäuden in Deutschland wird hauptsächlich von konventionellen Technologien bereitgestellt, insbesondere basierend auf Erdgas oder Öl. Die Bedeutung erneuerbarer Energietechnologien wächst in den letzten Jahren jedoch stetig. So hatten Solarthermie, Wärmepumpen und Technologien basierend auf dem Einsatz von Biomasse zusammen einen Anteil von 16 % bei der Raumwärme und 11 % bei der Warmwasserbereitstellung in 2017 (AGEB, 2018)¹²⁸.

Diese Technologien haben häufig höhere Kosten als konventionelle Technologien. Daher spielen Politikmaßnahmen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung und Marktdurchdringung dieser Technologien. In Deutschland gibt es z.B. Förderprogramme von dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) oder der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), die einen finanziellen Anreiz für die Installation solcher Technologien durch Investitionskostenzuschüsse oder vergünstigte Kredite geben.

Neben diesen finanziellen Anreizen existieren auch Mindeststandards (Quoten) für den Einsatz erneuerbarer Energien in der Wärmeerzeugung im Gebäudebereich. Ein solches Instrument findet bei Neubauten bereits bundesweit seit 2009 Anwendung (das Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz, EEWärmeG). Seit 2010 existiert in Baden-Württemberg als einziges Bundesland ein solcher Standard auch für Bestandsgebäude (das Erneuerbare-Wärme Gesetz, EWärmeG, das in 2008 bereits für Neubauten in Baden-Württemberg eingeführt wurde). Die Regulierung erfordert, dass ein bestimmter Mindestanteil der Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien erfüllt wird, wenn die Heizung gewechselt wird.

Im Rahmen von ENavi hat das ZEW zwei Studien zu der Wirkung des EWärmeG in Baden-Württemberg (vor der Novellierung in 2015) angefertigt. In der ersten Studie wird der Einfluss des EWärmeG auf die Installation erneuerbarer Wärmetechnologien analysiert¹²⁹, während in der zweiten Studie der Kapitalisierungseffekt des EWärmeG in Häuserpreise in Baden-Württemberg untersucht wird¹³⁰.

Einleitung und Daten

Um die Wirkung einer bestimmten Maßnahme in empirischen Ex-post Evaluationen identifizieren zu können, muss dieser Einfluss von anderen potenziellen Faktoren isoliert werden. Im Kontext von erneuerbaren Wärmetechnologien und der Wirkung des EWärmeG existiert eine Vielzahl solcher potenzieller Einflussfaktoren, wie z.B. weitere Politikmaßnahmen, sozio-ökonomische Charakteristika oder politische Einstellungen / Umweltpräferenzen. Für die Identifikation der Wirkung des EWärmeG wird in beiden Studien die begrenzte regionale Gültigkeit des EWärmeG genutzt und ein Differenz-von-Differenzen Ansatz verfolgt, der mit Matching-Verfahren verfeinert wird.

In der ersten Studie wird der kausale Effekt des EWärmeG auf die Investitionen in erneuerbare Energietechnologien für die Wärmebereitstellung in Bestandsgebäuden untersucht. Hierfür wird die Anzahl der Neuinstallationen erneuerbarer Energien in Gemeinden in Baden-Württemberg mit der in Gemeinden auf der anderen Seite der Bundeslandgrenze verglichen. Dieser Vergleich wird vor und nach Inkrafttreten des Gesetzes durchgeführt. Gemeinden außerhalb von Baden-Württemberg, aber mit einer geringen geografischen Distanz zu der Baden-Württembergischen Grenze dienen als Kontrollgruppe. Dieser Ansatz erlaubt es, für zahlreiche unbeobachtete Faktoren zu kontrollieren, die gleichzeitig die Einführung des EWärmeG und das Investitionsverhalten in erneuerbare Wärmetechnologien beeinflussen könnten. Natürliche Gegebenheiten, wie z.B. die Solarstrahlung oder die Verfügbarkeit von Biomasse, sind Beispiele für Faktoren, die durch die Analyse geografisch naher Einheiten aufgefangen werden können. Zudem werden nur Gemeinden miteinander verglichen, die ähnlich in beobachtbaren Größen sind. Hierzu wird das sogenannte „Genetic Matching“ (Diamond &

¹²⁸ AG Energiebilanzen (2018): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2017.

¹²⁹ Germeshausen, R.; von Graevenitz, K.; Achtnicht, M. (2019): Does the Stick make the Carrot more attractive? State Mandates and Uptake of Renewable Heating Technologies, mimeo (ältere Version verfügbar als ZEW Discussion Paper No. 17-067, Mannheim).

¹³⁰ Germeshausen, R.; von Graevenitz, K. (2019): State Mandates on Renewable Heating Technologies and the Housing Market, ZEW Discussion Paper No. 19-028, Mannheim.

Sekhon, 2013)¹³¹ verwendet, um Gemeinden auszuwählen, die ähnliche sozio-ökonomische Charakteristika (z.B. Arbeitslosigkeit, Einkommenssteueraufkommen etc.) sowie eine ähnliche Baustruktur (z.B. Altersstruktur der Gebäude, Anteil von 1-2 Familienhäusern etc.) aufweisen.

Die Analyse basiert auf den Daten der bewilligten Förderanträge für das Marktanreizprogramm, das durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) verwaltet wird. Es bietet Investitionskostenzuschüsse für die Errichtung von Wärmeanlagen auf Basis erneuerbarer Energien; hauptsächlich für private Haushalte. In der Studie werden Daten über die bewilligten Anträge im Zeitraum von 2007 bis 2014 verwendet. Zudem werden sozio-ökonomische Daten sowie Informationen über die Gebäudestruktur auf Gemeindeebene genutzt.

Es sind keine umfassenden Mikrodaten über Investitionen in erneuerbare Wärmetechnologien verfügbar. Daher werden die bewilligten Förderanträge für diese Technologien im Rahmen des Marktanreizprogramms als Maß für den Ausbau genutzt. Wenn das EWärmeG zu einer vermehrten Installation neuer erneuerbarer Energietechnologien in Bestandsgebäuden in Baden-Württemberg führt, dann sollte auch ein stärkerer Anstieg in den bewilligten Anträgen für das Marktanreizprogramm in Baden-Württemberg als in den Gemeinden auf der anderen Seite der Grenze beobachtet werden können.

In der zweiten Studie wird der Einfluss des EWärmeG auf (Angebots)preise von Häusern im Gebäudebestand in Baden-Württemberg untersucht. Eine Kapitalisierung des EWärmeG in Häuserpreisen kann dabei ein Indikator für die (wahrgenommenen) Kosten des EWärmeG sein. Dabei werden Preise von Bestandsgebäuden (Baujahr vor 2009) in Baden-Württemberg mit denen außerhalb von Baden-Württemberg verglichen. Dieser Vergleich wird dann ebenfalls für Neubauten (Baujahr nach 2008) durchgeführt. Aus der Differenz dieser beiden Vergleiche kann die Kapitalisierung des EWärmeG geschätzt werden. Um die Vergleichbarkeit der Häuser entlang beobachtbarer Größen (wie z.B. der Häusertyp, Fläche, Anzahl an Zimmern etc.) zu gewährleisten, wird wieder das „Genetic Matching“ Verfahren verwendet und nur die Preise von relativ ähnlichen Häusern miteinander verglichen.

Die Daten für diese Analyse stammen hauptsächlich von empirica ag und umfassen den Zeitraum von 2012 bis 2014. Die Daten enthalten Informationen über die Angebotspreise und Eigenschaften von individuellen Häusern nahe der Baden-Württembergischen Grenze. Zudem werden sozio-ökonomische Daten von Gemeinden bzw. Gemeindeverbänden, in denen die Häuser liegen, sowie Informationen über den Grundsteuerhebesatz der Gemeinden von Destatis verwendet.

Ergebnisse

Die erste Studie zeigt, dass die Einführung des EWärmeG für Bestandsgebäude keinen statistisch signifikanten Effekt auf die bewilligten Förderanträge des Marktanreizprogramms von privaten Haushalten für erneuerbare Wärmetechnologien hat. Dieses Ergebnis bleibt unverändert, wenn Effekte über die Zeit und an unterschiedlichen Stellen entlang der Bundeslandgrenze analysiert werden. Das Ergebnis legt daher nahe, dass die Einführung des EWärmeG zu keinen zusätzlichen Investitionen in diese Technologien im Haushaltsbereich geführt hat. Die Ergebnisse sind konsistent damit, dass andere Erfüllungsoptionen mit potenziell geringeren Kosten, die im EWärmeG gültig sind, wie z.B. der Einsatz von Biogas und Bioöl in neuen konventionellen Heizkesseln, eine wichtige Rolle zur Erfüllung einnehmen können.

Zudem gibt es Anzeichen für eine Reduktion der Renovierungsaktivität bzw. im Wechsel von Heizsystemen in Baden-Württemberg nach Inkrafttreten des EWärmeG für Bestandsgebäude. Dieses Ergebnis basiert auf einer Analyse mithilfe der „Synthetic Control“ Methode mit Daten aus den Erhebungen des Bundesverbands des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV).

Die Analyse der Häuserpreise in der zweiten Studie legt nahe, dass die Kosten des EWärmeG als nicht hoch wahrgenommen werden. Denn der Effekt des EWärmeG auf die Häuserpreise ist in allen untersuchten Jahren (2012 bis 2014) statistisch nicht signifikant. Beide Analysen umfassen nicht die No-

¹³¹ Diamond, A., and J. S. Sekhon (2013): Genetic Matching for Estimating Causal Effects: A General Multivariate Matching Method for Achieving Balance in Observational Studies, *Review of Economics and Statistics*, 95(3), 932-945.

vellierung des EWärmeG in 2015. Jedoch deutet das Ergebnis der Hauspreisanalyse für das Jahr 2014 darauf hin, dass keine Veränderungen in den zusätzlichen Kosten durch die Novellierung erwartet werden.

Implikationen für die Maßnahmen

Die beiden Studien erlauben keine Rückschlüsse auf die Wirkung des gesamten Policy Packages, das in diesem Schwerpunkt untersucht wird. Die Studien haben aber einen Anknüpfungspunkt zu einer zentralen teilsystembezogenen Maßnahmen, nämlich der „Erhöhung der EE-Quote“. In Tabelle 6 wird dem Einsatz einer EE-Quote im Gebäudebestand mögliches Konfliktpotenzial attestiert. Da der Gebäudebestand (insbesondere mit Baujahr vor 2009) jedoch für einen Großteil der gesamten Gebäude steht, ist eine Abschätzung der potenziellen Wirkung auch für dieses Instrument wichtig. Hier kann eine Analyse des einzigen bereits existierenden Regulierungsfall in Deutschland über mögliche Wirkungen des Instruments informieren.

Die Analysen des Baden-Württembergischen Gesetzes sind dabei nicht vollständig auf eine mögliche bundesweite Einführung von EE-Quoten (im Gebäudebestand) oder eine Erhöhung von EE-Quoten bei Neubauten übertragbar. Dennoch können einige Rückschlüsse gezogen werden. So wird in dem Beispiel des Baden-Württembergischen deutlich, dass neben der Wahl des Instruments, auch dessen genaue Ausgestaltung wichtig ist. So können die verfügbaren Erfüllungsoptionen die Wirkungsrichtung stark beeinflussen. Wird zum Beispiel der teilweise Einsatz von Biogas oder Bioöl in neuen fossilen Heizkesseln als Erfüllungsoption anerkannt, kann dies zu einem geringeren Ausbau von anderen erneuerbaren Energietechnologien führen als durch das Instrument vielleicht ursprünglich erwartet und abgezielt wurde. Dabei ist zu beachten, dass die Erfüllungsoptionen eine gleichwertige Wirkung auf die Reduktion von CO₂ Emissionen in der Wärmeversorgung haben sollten. Andernfalls kann zwar eine formale Erfüllung mit dem Gesetz, vermutlich auch zu geringeren Kosten, erreicht werden, jedoch nimmt die Effektivität der Maßnahme ab. So kann die genaue Ausgestaltung des Instruments einen wichtigen Einfluss auf den Trade-off zwischen Effektivität und Kosten der Maßnahme haben.

Die Analysen deuten auch daraufhin, dass weitere (nicht beabsichtigte) Effekte berücksichtigt werden müssen. So kann eine EE-Quote auch zu einer Veränderung in der Häufigkeit von Heizungswechseln führen (wenn die Quote erst beim Wechsel der Heizung relevant wird). Kurzfristig können Verschiebungen beim Heizungswechseln zu höheren Emissionen führen, wenn ältere Systeme mit höheren Emissionen verbunden sind. Ähnliche potenzielle Effekte bei Neubauten sollten auch bei der Bewertung der Maßnahme „Erhöhung von EE-Quoten“ untersucht und ggf. berücksichtigt werden.

6.10 Kurzstudie zur Bewertung der gesundheitlichen und ökologischen Folgen der “Policy Packages“

Beitrag der TU Darmstadt

Dieser Beitrag behandelt die Bewertungskriterien

- *„Schutz der menschlichen Gesundheit“*
- *sowie*
- *„Umwelt- und Ressourcenschonung“*

und stellt diese dem Kriterium „Effektivität“ gegenüber

Einleitung und Vorgehen

In dieser Kurzstudie werden die in Abschnitt 6.2 analysierten Transformationspfade hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt untersucht. Hierzu werden die wich-

tigten Wärmeerzeugungstechnologien¹³² der drei Szenarien (Business-as-Usual (BAU), Marktregulierung (MR), Trans-Wärmesektor (TWS)) einer vergleichenden Lebensweganalyse/ Ökobilanz unterzogen. Für ausgewählte Wirkungsindikatoren, die den beiden Bewertungskriterien „Schutz der menschlichen Gesundheit“ und „Umwelt- und Ressourcenschonung“ zugeordnet werden, werden spezifische Wirkungen (je MJ Nutzenergie) ermittelt. Anschließend erfolgt eine Verknüpfung mit den Szenarien anhand der in Abschnitt 6.2 berechneten jährlichen Nutzenergiemengen. Im Fokus der Analyse stehen die Forschungsfragen, welche gesundheitlichen und ökologischen (Neben-)Wirkungen die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Wärmesektor mit sich bringt und wie diese vermieden werden können.

Zu diesem Zweck wird auch der Indikator „Klimawandel“, der dem Bewertungskriterium „Effektivität“ zuzuordnen ist, in die Analyse eingeschlossen. Dies ermöglicht einen Vergleich zu den modellbasierten Szenarioanalysen. Hier sind Abweichungen zu erwarten, da die in dieser Kurzstudie durchgeführte Ökobilanz einerseits nur ausgewählte Technologien, andererseits aber auch der Nutzungsphase vor- und nachgestellte Lebensabschnitte einbezieht. Alle untersuchten Indikatoren und die zugehörigen Bewertungskriterien sind in Tabelle 21 aufgeführt.

In Tabelle 22 sind die getroffenen Annahmen zu den analysierten Wärmeerzeugern samt Energieträgern aufgelistet. Als Biomassekessel wurde ein Holzpelletkessel angenommen. Den Ökobilanzen aller Technologien liegen Datensätze der Datenbank Ecoinvent 3.2¹³³ zu Grunde. Referenzjahr ist 2015. Die getroffenen Annahmen und verwendeten Datensätze gelten für Geräte, die in Einfamilienhäusern mit durchschnittlichem Wärmedämmstandard eingesetzt werden können (Nennleistungen ca. 10 kW). Eine genauere, nach Gebäudetypen aufgeschlüsselte Analyse erfolgt im Rahmen dieser Kurzstudie nicht. Ferner wurden keine Effizienzsteigerungen für das Jahr 2050 angenommen.

TABELLE 21: UNTERSUCHTE INDIKATOREN UND ZUORDNUNG ZU DEN BEWERTUNGSKRITERIEN

ENavi-Bewertungskriterium	Indikator	Einheit
Effektivität 	Klimawandel (climate change*, CC)	kgCO ₂ -eq
Schutz der menschlichen Gesundheit 	Humantoxizität (human toxicity potential**, HTP)	kg _{1,4-DCB} -eq
	Feinstaubbelastung (particulate matter formation**, PM)	kg _{PM10} -eq
	Bildung von Photooxidantien (photochemical oxidant formation**, POF)	kg _{NMVOC} -eq
	Eutrophierung (eutrophication potential***, EP)	kg _N -eq
Umwelt- und Ressourcenschonung 	Wasserverbrauch (water depletion**, WD)	m ³
	Fossiler Ressourcenverbrauch (fossil depletion**, FD)	kg _{oil} -eq
	Metallischer Ressourcenverbrauch (metal depletion**, MD)	kg _{Fe} -eq

*Wirkungsabschätzungsmodell IPCC 2013, ** ReCiPe Midpoint (H), ***EDIP 2003

¹³² Die fünf ausgewählten Technologien decken zusammen den Großteil des gesamten Wärmebedarfs im Gebäudesektor ab. Im Basisjahr 2015 werden in Summe 95 % des Raum- und Warmwasserbedarfs von diesen Technologien erzeugt, in 2050 je nach Szenario 64 – 79 %.

¹³³ Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>

TABELLE 22: BETRACHTETE WÄRMEERZEUGER UND ZUGEHÖRIGE ANNAHMEN.

Betrachteter Wärmeerzeuger	Mittleres Verhältnis Nutz-/Endenergie ^{134*}	Energieträger & spezif. Heizwert	Hilfsenergie-zuschlag ¹³⁴
	%		%Nutzenergie
Gasbrennwertkessel (Gas-BK)	JNG = 90	Erdgas 35,169 MJ/m ³ ¹³⁵	1,0
Ölbrennwertkessel (Öl-BK)	JNG = 90	Heizöl 42,816 MJ/kg ¹³⁵	1,0
Biomassekessel (BMK)	JNG = 81	Holzpellets 18,0 MJ/kg ¹³⁶	2,5
Luft/Wasser-Wärmepumpe (L/W-WP)	JAZ = 290	Strom 3,6 MJ/kWh	**
Sole/Wasser-Wärmepumpe (B/W-WP)	JAZ = 390	Strom 3,6 MJ/kWh	**

* Jahresnutzungsgrad (JNG) bei Kesseln, Jahresarbeitszahl (JAZ) bei Wärmepumpen.

** Hilfsenergie für Wärmepumpen nicht separat aufgelistet.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 26 dargestellt. Für jeden Indikator sind die aus der Wärmebereitstellung der betrachteten Technologien resultierenden Emissionen bzw. Verbräuche für 2015 denen der drei Szenarien für 2050 gegenübergestellt. Tabelle 23 enthält zudem die absoluten Gesamtwerte für 2015 sowie die prozentualen Änderungen für die drei Szenarien.

¹³⁴ IER (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung), 2018: Datengrundlagen und Konzeption für den Online-Wärmekostenrechner für Wohn- und Nichtwohngebäude, Härdtlein, M.; Reith, S.; Notheis, M.; Kirch, F.; Eltrop, L.

¹³⁵ BMWi, 2019: Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi, Stand: 22.01.2019

¹³⁶ DIN V18599 Beiblatt 1, 2010: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

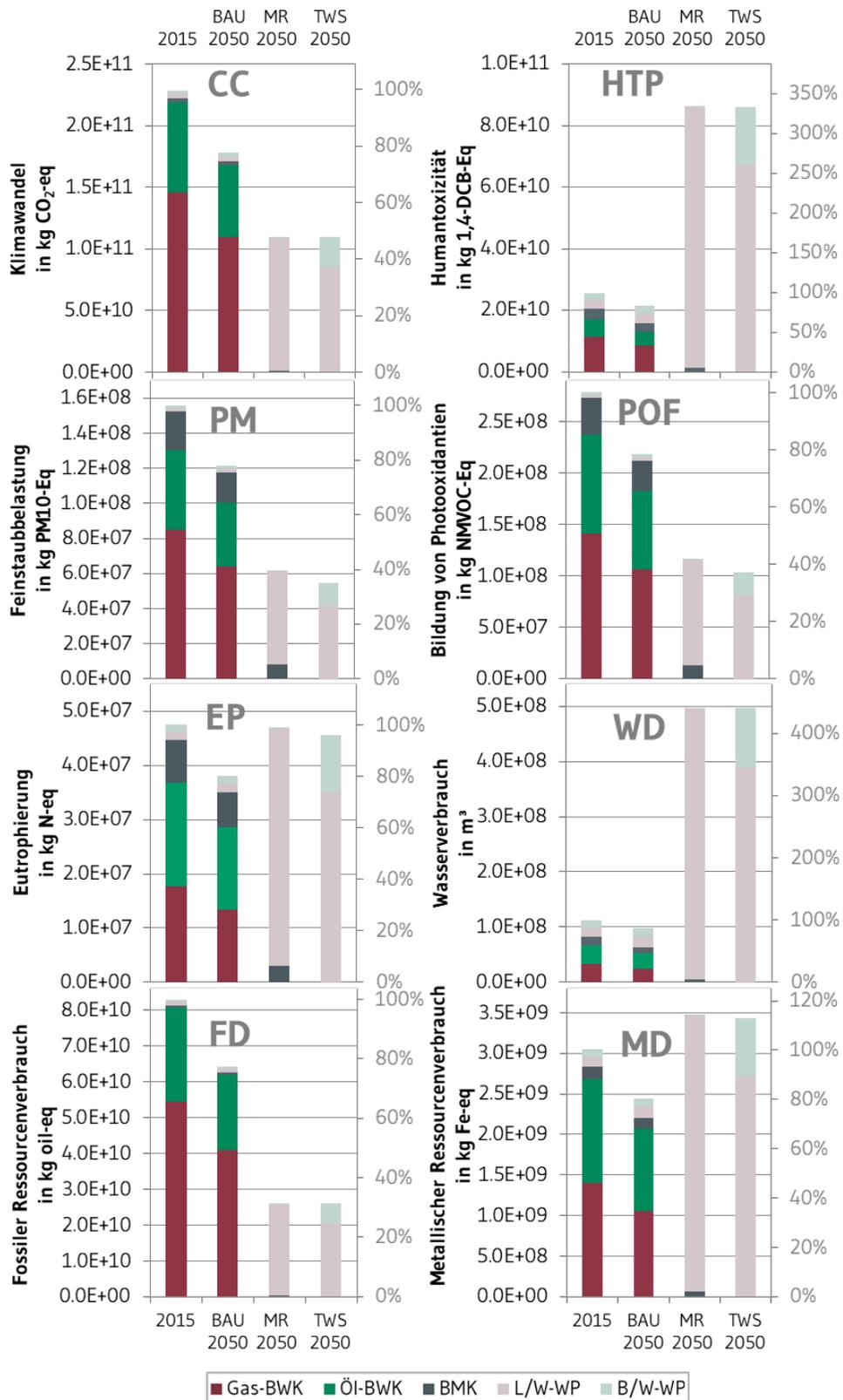


ABBILDUNG 26: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER FOLGENABSCHÄTZUNG DER TRANSFORMATIONSPFADE NACH INDIKATOREN.

TABELLE 23: ÄNDERUNGEN DER GESUNDHEITS- & UMWELTINDIKATOREN VON 2015 ZU 2050 IN DEN DREI SZENARIEN.

Indikator	Gesamtwert 2015	Änderung 2050 ggü. 2015		
		Szenario BAU	Szenario MR	Szenario TWS
Klimawandel (climate change, CC)	230 Mt _{CO2-eq}	-22 %	-52 %	-52 %
Humantoxizität (human toxicity potential, HTP)	26 Mt _{1,4-DCB-eq}	-16 %	+234 %	+234 %
Feinstaubbelastung (particulate matter formation, PM)	160 kt _{PM10-eq}	-22 %	-61 %	-65 %
Bildung von Photooxidantien (photochemical oxidant formation, POF)	280 kt _{NMVOE-eq}	-22 %	-59 %	-63 %
Eutrophierung (eutrophication potential, EP)	50 kt _{N-eq}	-20 %	-1 %	-4 %
Wasserverbrauch (water depletion, WD)	0,11 km ³	-13 %	+339 %	+342 %
Fossiler Ressourcenverbrauch (fossil depletion, FD)	83 Mt _{oil-eq}	-23 %	-69 %	-69 %
Metallischer Ressourcenverbrauch (metal depletion, MD)	3 Mt _{Fe-eq}	-20 %	+14 %	+13 %

Grüne (rote) Werte: positiver (negativer) Effekt politischer Maßnahmen.

Zunächst fällt auf, dass alle Indikatoren im zeitlichen Verlauf des BAU-Szenarios abnehmen, die prozentualen Anteile der einzelnen Technologien aber ungefähr gleichbleiben. Dies ergibt sich direkt aus den kaum veränderten Technologiemixen (vgl. Abbildung 7) in Kombination mit einer abnehmenden Wärmenachfrage.

In den beiden anderen Szenarien ändert sich der Technologiemix im Wärmesektor aufgrund der angenommenen Maßnahmen jedoch deutlich (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9). Dies spiegelt sich auch in den Änderungen der Gesundheits- und Umweltwirkungen wider. Alle Indikatoren werden in diesen Szenarien 2050 deutlich von den Beiträgen der Wärmepumpen dominiert, wohingegen die konventionellen Kessel nur noch eine marginale Rolle spielen. Im Szenario MR gehen die Emissionen bzw. Verbräuche fast ausschließlich zulasten der L/W-WP, im Szenario TWS steuert auch die dann vermehrt verbaute B/W-WP signifikante Anteile zu den Gesamtwerten bei.

Als Folge der politischen Interventionen weisen die Indikatoren Klimawandel, Feinstaubbelastung, Bildung von Photooxidantien und fossiler Ressourcenverbrauch bis 2050 noch stärkere Rückgänge als im BAU-Szenario auf (das Szenario TWS bringt hier nur unwesentlich stärkere Auswirkungen als das Szenario MR). Allerdings zeigt sich eine gegenläufige Entwicklung für die Indikatoren Humantoxizität, metallischer Ressourcenverbrauch und vor allem Wasserverbrauch. Auch der Indikator Eutrophierung ist zwar gegenüber 2015 leicht reduziert, allerdings weniger stark als im BAU-Szenario. Bezüglich dieser vier Indikatoren weisen die politischen Maßnahmen also Nebenwirkungen auf, die zu einer Abstufung der Bewertungskriterien „Schutz der menschlichen Gesundheit“ und „Umwelt- und Ressourcenschonung“ führen.

Diskussion und Ausblick

Die identifizierten Nebenwirkungen der beiden Szenarien MR und TWS resultieren aus dem erhöhten Wärmeanteil aus L/W-WP und B/W-WP und den damit verbundenen höheren Strombedarfen. Dies betrifft insbesondere die Nebenwirkungen der Indikatoren Humantoxizität und Wasserverbrauch. Beide Indikatoren weisen gegenüber 2015 eine starke Erhöhung auf. Der Grund für diese Erhöhungen liegt insbesondere in den Gesundheit- & Umweltwirkungen des Strommixes: Im Rahmen dieser Kurzstudie war es nicht möglich Vorhersagen für den Strommix 2050 zu integrieren. Daher basieren die Ergebnisse auf dem Strommix 2015; zu erwartende Verbesserungen bis 2050 gehen nicht ein.

Der größte Beitrag an den Indikatoren Humantoxizität und Wasserverbrauch stammt aus der Braunkohleverstromung, genauer aus dem Braunkohleabbau. Die Verwertung der Rückstände des Braunkohleabbaus betragen über 80% an den humantoxischen Gesundheitswirkungen in den Szenarien MR und TWS. Auch zum Wasserverbrauch trägt der Braunkohleabbau zu ein Drittel bei. Weitere relevante Beiträge stammen hier aus der Stromerzeugung aus Steinkohle und der Kernkraft.

Der Indikator metallischer Ressourcenverbrauch ist im Jahr 2050 geringfügig erhöht. Diese Erhöhung ergibt sich aus zwei Faktoren: Zum einen ebenfalls aus dem erhöhten Strombedarf (60%) und zum anderen aus der Zusammensetzung der produzierten L/W-WP und B/W-WP (40%). Der Unterschied zu den anderen beiden Indikatoren ist, dass die Erhöhung des metallischen Ressourcenverbrauchs unter anderem aus der Windenergie und dem Übertragungsnetz stammen. Der Anteil der Wärmepumpen an diesem Indikator resultiert aus dem vermehrten Materialaufwand gegenüber den konventionellen Kesseln, insbesondere durch den Elektromotor des Kompressors.

Die identifizierten Nebenwirkungen insbesondere für die beiden Indikatoren Humantoxizität und Wasserverbrauch lassen sich vermeiden, wenn an dem Kernausstieg 2022 und dem anvisierten Kohleausstieg 2038 festgehalten wird. Trotzdem ist es wichtig darzustellen, welche Nebenwirkung auftreten, wenn die Wärmewende unabhängig von der Stromwende vorangetrieben wird. Es wird dennoch empfohlen die Analysen für einen angepassten Strommix 2050 zu wiederholen und zu überprüfen, ob weitere gesundheitliche oder ökologische Nebenwirkungen auftreten werden. Ein erhöhter metallischer Ressourcenverbrauch wird sich im Rahmen der Strom- sowie Wärmewende nicht vermeiden lassen. Allerdings können diese im Gegensatz zu den fossilen Ressourcen im Laufe des Lebenswegs zurückgewonnen werden und stehen für weitere Energietechnologien zur Verfügung.

Die Bewertung der betrachteten politischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Gesundheit und Umwelt im Rahmen dieser Kurzstudie fällt somit gemischt aus. Durch die steigenden Marktanteile von Wärmepumpen wird das Ziel, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, erreicht. Dadurch sinken ebenfalls die von den wichtigsten Wärmetechnologien verursachte Feinstaubbelastung, das Bildungspotenzial für Photooxidantien sowie der Verbrauch fossiler Ressourcen. Gleichzeitig wirken sich die Maßnahmen allerdings negativ auf Wasserverbrauch, Humantoxizität, den Verbrauch metallischer Ressourcen und das Eutrophierungspotenzial aus.

Die in dieser Kurzstudie ermittelten Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Bewertung der Folgenabschätzung der Transformationspfade nicht nur anhand der erzielten Reduktion von Treibhausgasen der Nutzungsphase, sondern auch anhand weiterer Kriterien, Indikatoren und des kompletten Lebenswegs durchgeführt werden sollte. Eine Integration der ermittelten Ökobilanzdaten in Energiesystemmodelle würde die endogene Ermittlung und Bewertung verschiedener Indikatoren der Gesundheits- und Umweltwirkungen ermöglichen. So können Sektorkopplungseffekte (z. B. Auswirkungen eines geänderten Strommix) dynamisch berücksichtigt und ein angemessener Detailgrad bezüglich Technologiemix, Unterscheidung nach Gebäudetyp und zeitlicher Auflösung gewährleistet werden.

6.11 Legitimität/Akzeptanz einer CO₂-Bepreisung im Wärmesektor

Beitrag des IASS Potsdam (Hannes Gaschnig, Rainer Quitzow, Sophia Büermann, Katiryna Basinkevich)

Dieser Beitrag behandelt das Bewertungskriterium Legitimität für die Kernmaßnahme CO₂-Bepreisung im Wärmesektor.

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Im Rahmen des ENavi-Prozesses wird als eines von zehn Kriterien die Legitimität energiepolitischer Maßnahmen bewertet. Eine Maßnahme gilt als legitim, wenn sie von den direkt und indirekt betroffenen gesellschaftlichen Akteurinnen und Akteuren unterstützt oder zumindest akzeptiert wird. Für diese Akzeptanz ist sowohl der Inhalt der Maßnahme als auch der Prozess der politischen Entscheidungsfindung von Bedeutung, wobei letzteres maßgeblich durch die Einhaltung wichtiger Demokratieprinzipien bei beteiligten Institutionen und der politischen Entscheidungsfindung bedingt ist. Insgesamt werden für die Bewertung der Legitimität von energiepolitischen Maßnahmen daher die folgenden drei Unterkriterien definiert:

- 1) **Institutionelle Legitimität:** Repräsentanz und Überprüfbarkeit demokratischer Institutionen
- 2) **Prozedurale Legitimität:** Transparenz und Kontrollierbarkeit politischer Willensbildung
- 3) **Empirische Legitimität:** Akzeptanz des Politikinhaltes bei relevanten Interessensgruppen

Die drei Unterkriterien wurden in Quitzow et al. (2018) detailliert beschrieben.¹³⁷ Eine Bewertung der institutionellen und prozeduralen Legitimität konnte im Rahmen dieser Arbeit (u. a. aufgrund ungenügender Datenbasis) nicht durchgeführt werden. Das Kapitel fokussiert sich daher auf die Analyse der empirischen Legitimität.

Bewertungsverfahren und Datengrundlage zur empirischen Legitimität

Die empirische Legitimität der Maßnahme „CO₂-Bepreisung“ wurde mithilfe der Indikatoren „Akzeptanz in der Bevölkerung“ und „Akzeptanz unterschiedlicher Interessensgruppen (Stakeholder)“ ermittelt. Die Bewertung der Stakeholder-Positionen fand anhand einer dreistufigen Ampelskala statt, die sich an die Legitimitätskategorien von Montpetit (2008) anlehnt.¹³⁸

- **Starke empirische Legitimität:** Die Maßnahme steht im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld sowie mit den Positionen der wichtigsten Akteursgruppen.
- **Legitimitätsdefizit:** Die Maßnahme steht zwar im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld, weicht jedoch von den Positionen wichtiger Akteursgruppen ab.
- **Keine bzw. schwache empirische Legitimität:** Die Maßnahme steht nicht im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld und zugleich im Widerspruch zu den Positionen wichtiger Akteursgruppen.

Dabei erfolgte die Bewertung der Einzelpositionen ausschließlich auf Grundlage der aktuellen Akzeptanz der Akteure, die in Form schriftlicher Stellungnahmen wie Positionspapieren, Pressemitteilungen und Policy Briefs vorliegt. Zudem wurden in einigen wenigen Fällen Zeitungsartikel berücksichtigt, wenn keine selbst verfasste Stellungnahme zur Verfügung stand.¹³⁹ Eine dynamische Bewertung,

¹³⁷ Quitzow, R., Bangert, A., Düber, D., Fraune, C., Fricke, A., Gaschnig, H., Gößling-Reisemann, S., Kaltenecker, O., Kemmerzell, J., Kopfmüller, J., Löschel, A., Meyer, T., Ollier, L., Renn, O., Schlacke, S., Schnittker, D., Stelzer, V., Thier, P., Zeccola, M. (2018): Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit Enavi. Geschäftsstelle des Kopernikus-Projekts Energiewende-Navigationssystem, IASS Potsdam, Potsdam. [URL](#).

¹³⁸ Montpetit, É. (2008): Policy design for legitimacy: Expert knowledge, citizens, time and inclusion in the United Kingdom's biotechnology sector. *Public Administration* 86, 259-277.

¹³⁹ Die zugrunde gelegte Anzahl an Quellen ist sehr umfassend, weshalb auf eine Auflistung an dieser Stelle verzichtet wird. Bei Interesse wenden Sie sich bitte an die Autorinnen und Autoren dieses Beitrages.

welche neben der momentanen Akzeptanz auch deren vergangene und (wahrscheinliche) zukünftige Entwicklung(en) einbeziehen würde, konnte bei gegebener Datenlage jedoch nicht vorgenommen werden.

In der Untersuchung wurden Positionen von Stakeholdern berücksichtigt, die von der Einführung einer CO₂-Bepreisung im Wärmebereich direkt oder indirekt potentiell stark betroffen wären oder in diesem Bereich über fachliche Expertise verfügen. Die identifizierten Stakeholder stammen aus Zivilgesellschaft, Forschung und Politikberatung sowie Wirtschaft und Industrie. Insgesamt wurden mehr als fünfzig Stakeholder in die Analyse einbezogen (vgl. Tabelle 24).

TABELLE 24: DIE BERÜCKSICHTIGTEN STAKEHOLDER IM ÜBERBLICK

Zivilgesellschaft
BUND, Bund der Energie Verbraucher, CO ₂ Abgabe e.V., Deutscher Gewerkschaftsbund (DGB), Deutscher Mieterbund, Eigentümerversand Haus und Grund, Germanwatch, IG BAU, IG BCE, IG Metall, Klima-Allianz, NABU, Verband privater Bauherren, Verband Wohneigentum, Verbraucherservice Bundesverband, Ver.di
Forschung & Think Tanks
Agora Energiewende, Deutsche Energie Agentur (dena), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Institut der Deutschen Wirtschaft (IW), Institut für Wärme und Öltechnik, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC)
Wirtschaft & Industrie
Bund Deutscher Architekten (BDA), Bund deutscher Baumeister Architekten und Ingenieure, Bundesarbeitsgemeinschaft Immobilienwirtschaft Deutschland (BID), Bundesfachverband der Immobilienverwalter, Bundesverband Baustoffindustrie (BBS), Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie, Bundesverband der deutschen Industrie (BDI), Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft (BDEW), Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (GdW), Bundesverband Erneuerbarer Energien, Bundesverband Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen (BFW), Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung (B.KWK), Bundesverband Wärmepumpe (bwp), Dachverband Deutscher Immobilienverwalter (DDIV), Deutscher Großhandelsverband Haustechnik, Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, Energieintensive Industrien (EID), EnBW, E.ON, Energiewerke Schönau (EWS), Greenpeace Energy, Hauptverband der deutschen Bauindustrie, Immobilienverband Deutschland (IVD), Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Naturstrom, Spitzenverband der Gebäudetechnik (VdZ), Vattenfall, Verband kommunaler Unternehmen (VKU), Zentraler Immobilienausschuss (ZIA), Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (ZDB), Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK)

Als Akzeptanz wurde die Zustimmung, Indifferenz oder Ablehnung einer CO₂-Bepreisung gewertet. Für die Einstellungen in der Bevölkerung wurden quantitative Umfrageergebnisse verwendet. Die Positionen der Stakeholder wurden basierend auf eigenen Einschätzungen in die sieben Kategorien "Ablehnung jeglicher CO₂-Bepreisung" (--), "schwache Ablehnung einer CO₂-Bepreisung" (-), "neutrale Position" (0), "schwache Befürwortung einer CO₂-Bepreisung" (+), "Befürwortung von spezifischen Arten der CO₂-Bepreisung" (++*), "Befürwortung von CO₂-Bepreisung allgemein" (++) und "keine Angabe" (/) eingeteilt. Im nachfolgenden Abschnitt werden die Ergebnisse dieser Positionsanalyse allerdings ausschließlich qualitativ und bereits aggregiert dargestellt.

Nach einer Bewertung der Einzelindikatoren „Einstellungen in der Bevölkerung“ und „Akzeptanz bei Stakeholdern“ ist eine Aggregation der Einzelbewertungen zu einer Gesamtbewertung für das Unterkriterium vorgesehen. Hierbei werden beide Indikatoren gleich gewichtet.

Bewertungsergebnisse zur empirischen Legitimität

Analyse der Einstellungen in der Bevölkerung

Für die Analyse der Einstellungen in der **Bevölkerung** wurden zwei aktuelle, repräsentative Umfragen verwendet.

Nach Angaben des DeutschlandTRENDS hielten im August 2019 ca. sechs von zehn Bundesbürgerinnen und -bürgern die Einführung einer CO₂-Steuer nicht für sinnvoll. Für die Ausweitung des Emissionshandels für Unternehmen sprachen sich 41 % der Befragten aus, zugleich lehnten dies aber auch 40 % ab. Ca. ein Fünftel der Befragten mochten finanziell nicht durch den Klimaschutz belastet werden, weitere 21 % nur bis zu 25 € pro Monat.¹⁴⁰

Die Erhebungen im Rahmen des sozialen Nachhaltigkeitsbarometers des IASS Potsdam ergaben, dass die Mehrheit der Deutschen (54 %) steigende Energiepreise für mehr Klimaschutz grundsätzlich für gerechtfertigt hält, jede*r Fünfte (22 %) allerdings nicht. 28 % sind persönlich bereit, mehr Geld für die Nutzung fossiler Energie zu bezahlen, 46 % nur bei entsprechenden Entlastungen an anderer Stelle. 25 % lehnen eine klimabedingte Preissteigerung aus finanziellen oder anderen Gründen wiederum strikt ab.¹⁴¹

Diese Ergebnisse belegen, dass die Einführung eines CO₂-Preises von Bürgerinnen und Bürgern bzw. Wählerinnen und Wählern weder klar befürwortet noch vollständig abgelehnt wird.

Analyse der gesellschaftlichen Stakeholder-Gruppen

Das Bild in der organisierten **Zivilgesellschaft** ist ebenfalls durchwachsen. Alle untersuchten Gewerkschaften sprechen sich für die Einführung eines CO₂-Preises aus, wobei u.a. der Emissionshandel als Vorbild genannt wird. Auch umweltorientierte Nicht-Regierungs-Organisationen, der Verbraucherservice Deutschland, der Bund der Energieverbraucher und der Verband Wohneigentum befürworten einen (sektorenübergreifenden) CO₂-Preis. Jedoch halten sich mit dem Deutschen Mieterbund und dem Eigentümerverband Haus & Grund wichtige Akteure eher zurück und fordern strikte flankierende Maßnahmen.

In der Kategorie **Forschung & Think Tanks** findet sich bei den untersuchten Einrichtungen ausschließlich starke Unterstützung für eine CO₂-Bepreisung.¹⁴² Ein Preis wird hier von vielen als zentrales Lenkungsinstrument der Klimapolitik empfohlen.

In der Kategorie **Industrie & Wirtschaft** sind gemischte Positionen zu finden. Alle untersuchten Unternehmen und Verbände der Energieproduktionsbranche sprachen sich für eine CO₂-Bepreisung aus, genauso wie der Zentralverband des deutschen Baugewerbes (ZDB). Auch der Deutsche Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, in welchem viele der Wärme-Stakeholder aus dem Wirtschafts-, Zivil-, Forschungs- und Politiksektor Mitglied sind, befürwortet eine CO₂-Bepreisung. Ebenso äußerten sich als weitere zentrale Verbände der Bund der Industriellen (BDI), der zentrale Immobilienausschuss (ZIA) und der Verband kommunaler Unternehmen (VKU) positiv gegenüber einer CO₂-Bepreisung. Allerdings befürworten sie diese Maßnahme nur als eine kurzfristige Übergangslösung vor einer EU-weiten Regelung (BDI), geknüpft an die Erfüllung bestimmter anderer Maßnahmen (z.B. Fördermaßnahmen) (ZIA) oder als Reform bestehender Umlagen (VKU). Kritisch stehen einer CO₂-Bepreisung u.a. der Verband energieintensiver Industrien (EID) und der Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (GdW) gegenüber. Der EID befürwortet zwar grundsätzlich eine CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor, eine Anwendung im energieintensiven Bereich bewertet er aber als existenzgefährdend. Der GdW schätzt die Lenkungswirkung eines CO₂-Preises als sehr gering ein und betont die Gefahr einer zusätzlichen Belastung für Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer sowie Bewohnerinnen und Bewohner, wodurch die Akzeptanz für klimapoli-

¹⁴⁰ Infratest dimap (2019). Eine Studie zur politischen Stimmung im Auftrag der ARD-Tagesthemen und der Tageszeitung DIE WELT. [URL](#).

¹⁴¹ IASS Potsdam (2018). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS). [URL](#).

¹⁴² Die Position des Instituts für Wärme und Öltechnik konnte nicht ermittelt werden.

tische Maßnahmen schwinden könne. Bestenfalls müsse ein CO₂-Preis als Ergänzung zu anderen Instrumenten wirken.

TABELLE 25: GEÄUßERTE ARGUMENTE FÜR UND GEGEN EINE (SEKTORÜBERGREIFENDE) CO₂-BEPREISUNG

Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none"> zentral für die Erreichung der Klimaschutzziele kosteneffiziente Reduzierung von Treibhausgasen Lenkungswirkung für die CO₂-Minderung in der gesamten Energieversorgung Transparenz tatsächlicher Kosten der Energieerzeugung regt Investitionen in kohlenstoffarme Infrastruktur, Technologien und Produkte an klares und kalkulierbares Preissignal sektorneutral, technologieoffen und gut skalierbar steigert Kreativität beim Bauen und Energiesparen schafft gleiche und faire Wettbewerbsbedingungen zwischen und innerhalb der Verbrauchsgruppen und Sektoren 	<ul style="list-style-type: none"> unklare Auswirkungen unterschiedliche CO₂-Vermeidungskosten zwischen den Sektoren Verlust der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Industrie mit Verlagerung energieintensiver Industrien ins Ausland führt nicht zwangsläufig zu Investitionsentscheidungen oder Energiesparmaßnahmen unvorhersehbare Preisentwicklungen keine Lenkungswirkung in vermieteten Wohnungen Verteuerung von Wohnen Verringerung der Akzeptanz von Vermieterinnen und Vermietern sowie Mieterinnen und Mietern gegenüber Klimaschutz

Insgesamt stehen sich in der Diskussion eine umfangreiche Anzahl an Argumenten gegenüber, die von den untersuchten Stakeholdern für und gegen einen CO₂-Preis genannt wurden (vgl. Tabelle 25). Die Zustimmung zu einer Bepreisung wird zudem häufig an Bedingungen geknüpft, die für eine umfassende Bewertung der Legitimität dieser Maßnahme bzw. eines gesamten Maßnahmenbündels ebenfalls berücksichtigt werden müssten (vgl. Tabelle 26).

TABELLE 26: GEÄUßERTE BEDINGUNGEN DER STAKEHOLDER FÜR DIE EINFÜHRUNG EINES CO₂-PREISES

Bedingungen für eine Zustimmung
<p>Allgemeine Restriktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> umfassende Analyse der Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft vor einer Einführung Konsistenz mit bestehenden Instrumenten vorhergehende Prüfung der Umsetzbarkeit nur als Reform bestehender Abgaben und Umlagen
<p>Ökonomische Restriktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> Gewährleistung der Wettbewerbsfähigkeit enge Verzahnung mit Investitionsstrategie Umsetzung an Hand eines klaren, langfristigen Zeitplanes für verbesserte Planungssicherheit
<p>Soziale Restriktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> Berücksichtigung sozialer Aspekte wie bezahlbarer Wohnraum keine negativen Verteileffekte für Haushalte mit niedrigen Einkommen sozialverträgliche und verbraucherfreundliche Ausgestaltung keine Umlage der Kosten auf Mieterinnen und Mieter finanzielle Entlastung der Bürgerinnen und Bürger an anderer Stelle staatliche Übernahme der Kosten, die weder von Mietern noch Vermietern sozialpolitisch oder wirtschaftlich getragen werden können Nutzung des Aufkommens für die Reduktion anderer Steuern sowie neue steuerliche Abschreibungsoptionen
<p>Ökologische bzw. klimapolitische Restriktionen</p> <ul style="list-style-type: none"> Verwendung der resultierenden Steuereinnahmen in einem nationalen Effizienzfond bzw. für gezielte Förderprogramme EU- oder G20-weite Bepreisung mittelfristig anstreben nur bei internationaler Abstimmung Einbettung in sektorspezifische Maßnahmenpakete Einführung eines wirksamen Carbon-Leakage-Schutzes

Generell wurde in den meisten Fällen auf keine spezifische Ausgestaltungsform (CO₂-Steuer, Reform der bestehenden Umlagen, etc.) Bezug genommen. Nur eine Ausweitung des europäischen Emissionshandels als Variante einer CO₂-Bepreisung wurde von mehreren Stakeholdern (BDI, EID, BBS, BDH, BUND, NABU, IG Metall) explizit abgelehnt.

Abschließende Gesamtbewertung der Akzeptanz

Insgesamt haben sich 38 der 55 identifizierten Akteure für eine sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung ausgesprochen, die auch für den Gebäude- und Wärmebereich gelten würde. Von 11 Stakeholdern wurden neutrale oder keine Äußerungen zur CO₂-Bepreisung gefunden, 6 lehnten sie explizit ab.

Die meiste Zustimmung kommt von zivilgesellschaftlichen Institutionen und Organisationen, Forschungsinstituten sowie Unternehmen der Energiebranche. In der Heizungs-, Bau- und Immobilienwirtschaft sind die Positionen hingegen sehr unterschiedlich. Doch auch hier war keine starke Ablehnung zu finden. Allerdings stehen einige wichtige Akteure, u. a. der Verband energieintensiver Industrie Deutschland (EID), einer Bepreisung kritisch gegenüber.

Das Instrument ist somit zwar im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld, es sind aber dennoch Divergenzen mit den Positionen einiger wichtiger Akteursgruppen zu finden. Aufgrund der großen Zustimmung eines überwiegenden Anteils der zentralen Akteure, aber zugleich nicht durchgehender Befürwortung, wird ein Legitimitätsdefizit identifiziert. Das eher gemischte Meinungsbild in der Bevölkerung bestätigt diesen Eindruck, weshalb die Autorinnen und Autoren dieses Beitrages für die Gesamtbewertung der empirischen Legitimität eine **gelbe Ampel** vergeben.¹⁴³

Wenn zusätzlich über ein ausgewogenes Maßnahmenbündel verschiedene Bedingungen der unterschiedlichen Anspruchsgruppen eingehalten werden, könnte auch das Prädikat „Starke empirische Legitimität“ vergeben werden. Dies gilt allerdings nur, wenn diese Forderungen nicht im Widerspruch zueinander stehen und nicht zugleich eine grundsätzlich andere Situation geschaffen wird, die aufgrund von Wechselwirkungen und Interdependenzen neu bewertet werden müsste.

6.12 Einzelwirtschaftliche Analyse ausgewählter Technologien zur dezentralen Wärmebereitstellung für private Haushalte in Abhängigkeit vom CO₂-Preis

Beitrag der Becker Büttner Held Consulting AG (bbhc)

Dieser Beitrag analysiert die Bewertungskriterien

- „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“
- „Effektivität“

für die Maßnahmen

- CO₂-Bepreisung und
- Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten

des Policy Packages

Einleitung

Angesichts der Emissionen in Höhe von 91,5 Mt CO₂-eq¹⁴⁴, die im Gebäudebereich den privaten Haushalten zuzuweisen sind, wird deutlich, dass ein enormer Wandel im Bereich der Wärmebereitstellung erfolgen muss, um die für das Jahr 2050 angestrebte weitgehende Klimaneutralität bei der Wärmeversorgung zu erreichen. Bis zum Jahr 2035 wird für die Emissionen privater Haushalte eine Minderung um 62,5 % im Vergleich zum Jahr 1990 projiziert, wie in Abbildung 27 dargestellt.

¹⁴³ Diese wissenschaftliche Bewertung kann durch eine diskursive Bewertung im Rahmen des ENavi-Zyklus mithilfe der Stakeholder-Beteiligung überprüft und bei Bedarf korrigiert bzw. verfeinert werden.

¹⁴⁴ Vgl. Emele et al. (2019).

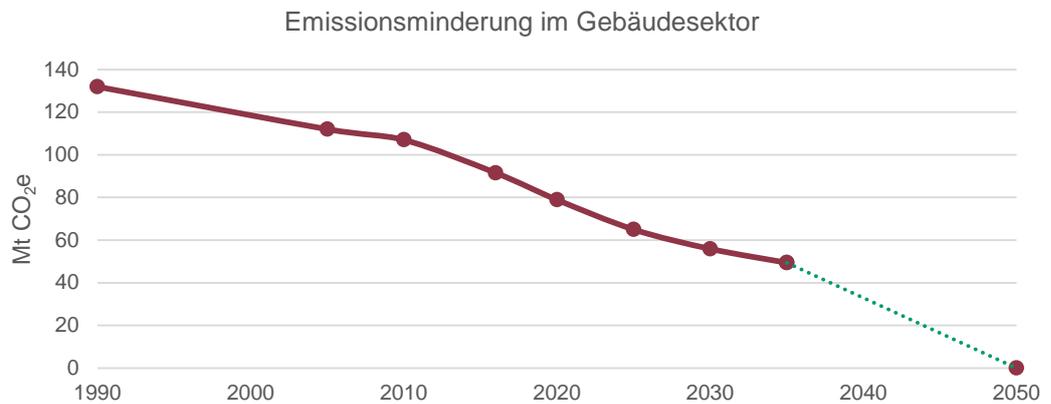


ABBILDUNG 27: EMISSIONSMINDERUNGEN IM GEBÄUDESEKTOR

Quelle: Eigene Darstellung nach Emele et al. (2019)

Ein Großteil der Gebäudewärme stammt in Deutschland aktuell aus fossilen Energieträgern. Abbildung 28 zeigt die Anteile der für die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung in Deutschland genutzten Energieträger. Dabei haben erdgasbetriebene Heizsysteme mit 46,7 % den größten Anteil. Auch Ölheizungen sind mit knapp 24 % noch stark verbreitet. Unter Erdgas zusammengefasst sind Erdgas-Zentralheizungen und -Etagenheizungen. Strom wird vorwiegend in Nachtspeicherheizungen sowie Wärmepumpen verwendet.¹⁴⁵

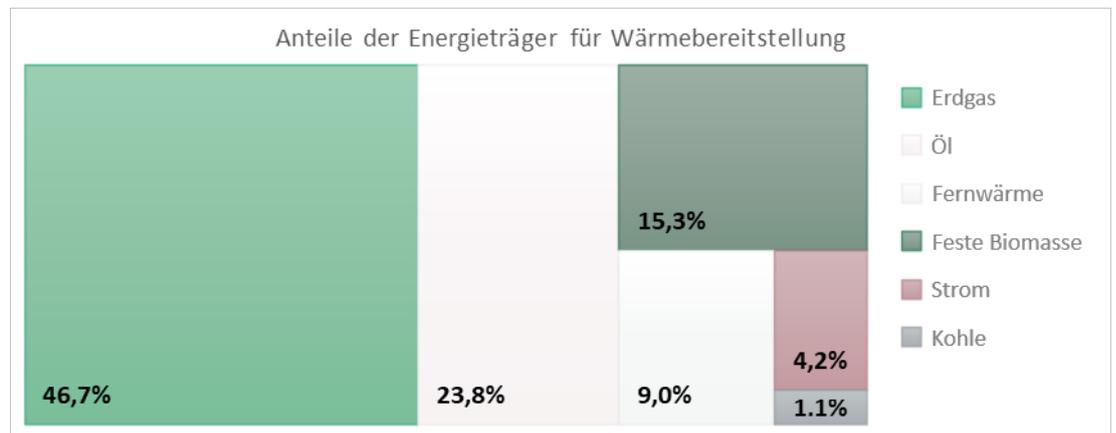


ABBILDUNG 28: ANTEILE DER ENERGIETRÄGER FÜR WÄRMEBEREITSTELLUNG

QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG NACH BMWi (2019)

Für ausgewählte Technologien werden in Abbildung 29 die aktuellen spezifischen Wärmegestehungskosten und Emissionen je Kilowattstunde abgebildet. Anhand dieser beiden Kennzahlen werden in diesem Beitrag verschiedene Wärmetechnologien exemplarisch untersucht.

Im aktuellen Vergleich zeigen sich die geringsten Wärmegestehungskosten bei dem Einsatz eines Erdgas-Brennwertkessels, die Verwendung von Biomasse oder Wärmepumpe stellen sich als am teuersten dar. In Bezug auf die erzeugten Emissionen, weist die Biomasse sehr geringe Werte auf. Die sehr hohen Emissionen bei Wärmepumpen, rühren von dem zugrunde gelegten Einsatz des Strommix aus dem Jahr 2015 her, der einen hohen Anteil an fossiler Stromerzeugung beinhaltet. Im Jahr 2015 lag der durchschnittliche Emissionsfaktor im Bereich Gebäudewärme bei 0,234 kg/kWh.¹⁴⁶

¹⁴⁵ Vgl. BDEW (2019a).

¹⁴⁶ Eigene Berechnung nach dena (2016, S. 16 f.).

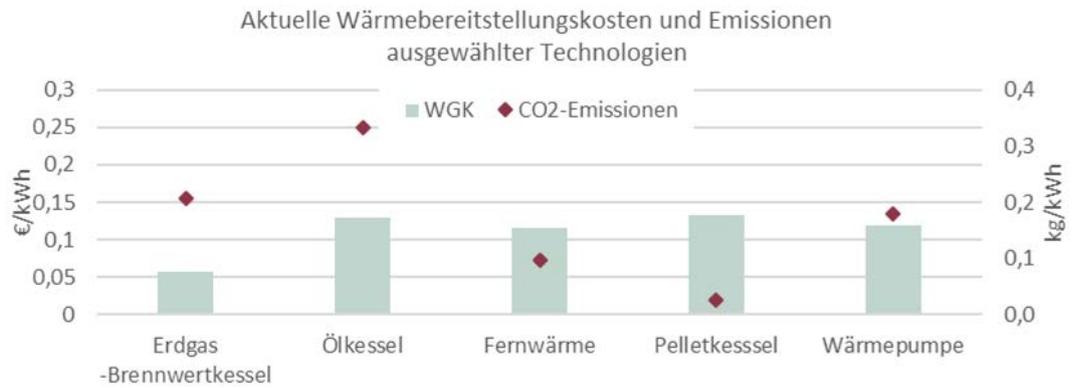


ABBILDUNG 29: KOSTEN UND EMISSIONEN AUSGEWÄHLTER TECHNOLOGIEN ZUR WÄRMEBEREITSTELLUNG

QUELLEN: EIGENE DARSTELLUNG UND BERECHNUNG NACH BAFA (2019), UBA (2016) UND BLESLE ET AL. (2018).

Um den bis 2050 angestrebten nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu realisieren, ist eine Abkehr von fossilen Wärmetechnologien unerlässlich. Dabei ist der Einsatz von Biomasse, die einen sehr geringen Emissionsfaktor aufweist, begrenzt und kann nur als Ergänzung weiterer klimaschonender Wärmetechnologien dienen. Voraussetzung für den klimaschonenden Einsatz strombasierter Wärmetechnologien, ist die Dekarbonisierung des deutschen Strommix.

Ein viel diskutiertes Mittel, um Anreize für den Einsatz klimafreundlicher Technologien voranzutreiben und eine Senkung der Emissionen zu erreichen, ist die Bepreisung von CO₂. Dieser Ansatz soll nachfolgend in Form einer einzelwirtschaftlichen Betrachtung am Beispiel der Wärmebereitstellung für Einfamilienhäuser untersucht werden.

Es werden für verschiedene Technologien die Wärmegegestehungskosten und Emissionen ermittelt und bewertet. Dafür werden Gasbrennwertkessel, Wärmepumpen und eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle, ergänzt um einen Elektrokessel, betrachtet. In nachfolgender Tabelle 27 werden die betrachteten Optionen für die Wärmebereitstellung dargestellt.

TABELLE 27: ÜBERSICHT DER BETRACHTETEN WÄRMEBEREITSTELLUNGSOPTIONEN

Nr.	Technologie	Energieträger	Akronym
1a	Brennwertkessel	Erdgas	cb_ngas
1b	Brennwertkessel	Synthetisches Methan, Strommix	cb_methan_m
1c	Brennwertkessel	Synthetisches Methan, Strom aus EE-Eigenversorgung	cb_methan_r
1d	Brennwertkessel	Gasmix aus 80% Erdgas, 10 % synth. Methan, 10% synth. Wasserstoff (Strom aus EE-Eigenversorgung)	cb_mix
2a	Wärmepumpe (Luft-Wasser)	Strommix	hp_elec_m
2b	Wärmepumpe (Luft-Wasser)	Strom aus EE-Eigenversorgung	hp_elec_r
3a	Brennstoffzelle	Wasserstoff, Strommix	fc_hydro_m
3b	Brennstoffzelle	Wasserstoff, Strom aus EE-Eigenversorgung	fc_hydro_r

Als Referenz werden zudem die aktuellen Kosten und Emissionsfaktoren für Ölheizungen und Fernwärme dargestellt.¹⁴⁷

Methodik und Datengrundlage

Um den Vergleich verschiedener Technologien auf ökonomischer Basis zu ermöglichen, wird ein etabliertes Verfahren¹⁴⁸ zur Berechnung der „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ angewendet.¹⁴⁹ Die jeweiligen spezifischen Wärmegestehungskosten ergeben sich als Quotient der Gesamtannuität und der jährlich bereitgestellten Energiemenge. Die Gesamtannuität der jeweiligen Wärmebereitstellungstechnologie beinhaltet die kapitalgebundenen Kosten (Anlagenkomponenten), die bedarfsgebundenen Kosten (Energie-/Brennstoffkosten, CO₂-Kosten), die betriebsgebundenen Kosten (Betriebs- und Wartungskosten) und sonstige Kosten (Versicherungen, Planung etc.).

Gemäß der Annuitätenmethode nach VDI 2067 wird die Annuität AN der kapitalgebundenen Kosten gemäß folgender Gleichung bestimmt.

$$AN = I \times a$$
$$\text{mit } a = \frac{(1+i)^T \times i}{(1+i)^T - 1}$$

Dabei ist I die Investitionshöhe, a der Annuitätenfaktor, i der kalkulatorische Zinssatz und T die kalkulatorische Nutzungsdauer der Anlage.

Für die Bestimmung der spezifischen Wärmegestehungskosten und spezifischen Emissionen der ausgewählten Versorgungsoptionen werden Angaben aus der aktuellen Literatur genutzt. Voraussetzung war, dass in die Literatur Angaben zu zukünftigen CO₂-Preisen und jeweils daraus resultierenden Strompreisen und Emissionsfaktoren mit einem Zeithorizont bis zum Jahr 2050 enthalten waren. Aufgrund der beschränkten Datenverfügbarkeit werden der nachfolgenden Analyse lediglich Werte aus der Studie "Klimapfade für Deutschland" zugrunde gelegt.¹⁵⁰ Dieser Studie wurden die CO₂-Preise sowie die korrespondierenden Preise und Emissionsfaktoren für Strom und Gas entnommen. Dabei wurde der 95 %-Klimapfad mit den CO₂-Preisen von 55 €/t CO₂-eq im Jahr 2030 und 124 €/t CO₂-eq im Jahr 2050 gewählt.¹⁵¹ Für dieses Szenario werden die Kosten für das gesamte Stromsystem¹⁵² dargestellt, wobei die Netzkosten separat ausgewiesen werden.¹⁵³

Die Tabelle 28 und Tabelle 29 geben einen Überblick über die Annahmen zu den Preisen und Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger für die nachfolgenden Berechnungen.

¹⁴⁷ Dabei beziehen sich die Angaben für Fernwärme auf durchschnittliche Werte der Wärmeerzeugung aus BHKWs und Gaskesseln der Gemeindeklasse Mittelstadt, vgl. Blesl et al. (2018).

¹⁴⁸ Vgl. bspw. Löbbberding, Madlener (2017) und Leven et al (2001).

¹⁴⁹ VDI-Richtlinie 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung. September 2012. Beuth Verlag.

¹⁵⁰ Vgl. BCG, Prognos AG (2018).

¹⁵¹ In den beiden anderen in der Studie analysierten Szenarien wurde ein Anstieg des CO₂-Preises auf 45 €/t im Jahr 2050 unterstellt, vgl. BCG & Prognos (2018). Dies erscheint jedoch vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion und Erkenntnisse als zu wenig ambitioniert und ausreichend, um die Klimaschutzziele zu erfüllen. Daher wurden diese Szenarien bei der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt.

¹⁵² Dies beinhaltet erneuerbare Energien, konventionelle Kraftwerke, Speicher, Energietransport und -verteilung.

¹⁵³ Vgl. BCG & Prognos (2018, S. 269).

TABELLE 28: PREIS FÜR ENERGIETRÄGER

Energieträger	Preis/ Gesteungskosten (€/kWh)Pr			Kommentar/Quelle
	2015	2030	2050	
Strommix ¹⁵⁴	0,1621	0,1971	0,1831	Eigene Berechnung nach BNetzA (2019); BCG & Prognos (2018) Eigene Annahme nach Kost et al. (2018)
EE-Strom ¹⁵⁵			0,06	
Erdgas	0,0474	0,0506	0,0514	BCG & Prognos (2018); BDEW (2019b)
Wasserstoff (Strommix)	0,1725	0,1767	0,1403	Eigene Berechnung nach dena (2018)
Wasserstoff (EE-Strom)	0,1286	0,1209	0,1127	Eigene Berechnung nach dena (2018)
Synth. Methan (Strommix)	0,2511	0,2469	0,1932	Eigene Berechnung nach dena (2018)
Synth. Methan (EE-Strom)	0,1982	0,1795	0,1609	Eigene Berechnung nach dena (2018)
Öl	0,13	-	-	UBA (2016)
Fernwärme	0,116	-	-	Blesl et al. (2018)

TABELLE 29: EMISSIONSFAKTOREN

Energieträger	Emissionsfaktor (kg CO ₂ -eq/kWh)			Kommentar/Quelle
	2015	2030	2050	
Strommix	0,521	0,199	0	Eigene Berechnung nach BCG & Prognos (2018)
EE-Strom		0		
Erdgas	0,202	0,202	0,202	Bafa (2019)
Wasserstoff (Strommix)	0,726	0,274	0	Eigene Berechnung
Wasserstoff (EE-Strom)		0		
Synth. Methan (Strommix)	0,805	0,293	0	Eigene Berechnung
Synth. Methan (EE-Strom)		0		
Öl	0,266	-	-	Bafa (2019)
Fernwärme	0,096	-	-	Bafa (2019)

Bei dem Einsatz von Strom für die Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen und für die Herstellung synthetischer Gase wird neben dem Strommix aus dem allgemeinen Netz auch die Variante einer Eigenversorgung mit erneuerbarem Strom betrachtet. Für die Berechnung der zukünftigen Gesteungskosten synthetischer Gase wird die aktuell bestehende Netzentgelt-Befreiung von Elektrolyseuren¹⁵⁶ fortgeschrieben. Daher werden nur die jeweiligen Stromsystemkosten abzüglich der Netzkosten zugrunde gelegt.

¹⁵⁴ Dabei handelt es sich um einen spezifischen Preis für den Abnahmefall Wärmepumpe gemäß BNetzA (2019, S. 301). Die relevanten Preisbestandteile werden nach BCG & Prognos (2018) bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben.

¹⁵⁵ Bei dieser Variante wird ein EE-Strombezug aus einer EE-Erzeugungsanlage per Direktleitung ohne Netznutzung zu Grunde gelegt. Daher werden lediglich die Stromgestehungskosten angesetzt.

¹⁵⁶ Vgl. § 118 Abs. 6 Satz 6 und 7 EnWG.

In den Tabelle 30 und TABELLE 31 sind die technologiespezifischen und -übergreifenden Annahmen für die Berechnungen dargestellt.

TABELLE 30: TECHNOLOGIESPEZIFISCHE PARAMETER

Technologie	Investitionshöhe			Betriebsgebundene Kosten (Prozentsatz der Investition)	Wirkungsgrad/Jahresarbeitszahl
	2015	2030	2050		
Gasbrennwertkessel	175 €/kW	175 €/kW	175 €/kW	1 %	$\eta = 95 \%$
Wärmepumpe	1.195 €/kW	1.080 €/kW	956 €/kW	2,5 %	JAZ = 2,9
Brennstoffzelle¹⁵⁷	30.196 €/System	22.043 €/System	11.625 €/System	2,5%	$\eta_{th} = 25 \%$ $\eta_{el} = 60 \%$

QUELLEN: FRAUNHOFER ISE (2015), BUDERUS (2019), MIARA (2017), BERGMANN ET AL. (2017), EIGENE ANNAHMEN

TABELLE 31: TECHNOLOGIEÜBERGREIFENDE PARAMETER

Parameter	Wert
Zinssatz	2 %
Nutzungsdauer der Anlagen	20 a
Sonst. Kosten (Prozentsatz der Investition)	1 %
Jährliche Wärmenachfrage	16.200 kWh/a
Benutzungsstunden (EFH)	1.800 h/a

Ergebnisse

In Abbildung 30 werden zusammenfassend die spezifischen Wärmegestehungskosten (und spezifischen CO₂-Emissionen für die Jahre 2015, 2030 und 2050 dargestellt.

¹⁵⁷ Für ein System mit einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle sind die notwendigen Daten in der Literatur nicht verfügbar. Daher basieren die Werte auf eigenen Annahmen auf Grundlage eines existierenden Systems mit einer erdgasbetriebenen Brennstoffzelle, vgl. Buderus (2019). Das in der vorliegenden Analyse betrachtete System besteht aus einer Brennstoffzelle und einem integrierten Elektrokessel als Spitzenlastmodul. Dieser wird mit dem durch die Brennstoffzelle erzeugten Strom betrieben, der überschüssige Strom wird ins Netz eingespeist und mit 8 ct/kWh vergütet. Dieser Betrag wird den Wärmegestehungskosten gutgeschrieben. Die Kostendegression der Brennstoffzelle bis zum Jahr 2050 orientiert sich an der prognostizierten Kostenentwicklung für Elektrolyseure, vgl. dena (2018).

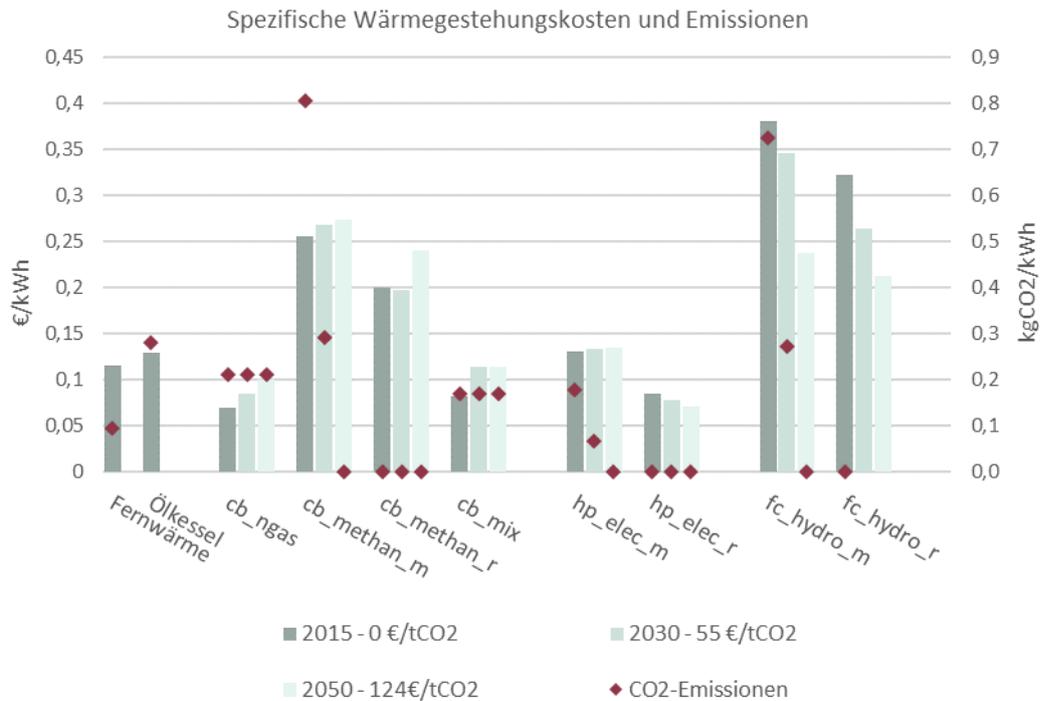


ABBILDUNG 30: TECHNOLOGIESPEZIFISCHE WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN UND EMISSIONEN

QUELLEN: EIGENE DARSTELLUNG

Im Jahr 2015 weisen die Wärmeversorgungsoptionen mit Strommix im Vergleich die höchsten spezifischen Emissionen auf. Die Emissionen sinken bei diesen Optionen über den Zeitverlauf auf 0 kg/kWh CO₂-eq im Jahr 2050. Ein Rückgang der spezifischen Emissionen ist nur durch den Einsatz von Strom mit wachsenden Anteilen erneuerbarer Energien möglich.

Unter den konventionellen Technologien weist der Ölkessel die höchsten und die Fernwärme die niedrigsten spezifischen Emissionen auf. Im Jahr 2015 sind die spezifischen Emissionen des mit Erdgas betriebenen Brennwertkessels und der Wärmepumpe mit Strommix auf einem vergleichbaren Niveau und liegen zwischen dem Ölkessel und der Fernwärme. Im Jahr 2030 sinken die spezifischen Emissionen der Wärmepumpe mit Strommix minimal unterhalb des aktuellen Niveaus der Fernwärme.¹⁵⁸

Im Vergleich aller Technologien weisen die Wärmebereitstellungsoptionen mit synthetischen Brennstoffen auf Basis des Strommix die mit Abstand die höchsten spezifischen Emissionen für das Jahr 2015 auf. Im Jahr 2030 sind die spezifischen Emissionen dieser Optionen zwar auf das Niveau eines Ölkessels gesunken, liegen damit jedoch weiterhin über dem aktuellen Durchschnittswert von ca. 0,234 kg/kWh. Erst durch die weitere Reduktion des Emissionsfaktors des Strommix in den Folgejahren würden diese Option somit einen Beitrag zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung leisten. Somit ist der ausschließliche bzw. überwiegende Einsatz von EE-Strom zur Herstellung synthetischer Gase erforderlich.

Grundsätzlich weisen die Wärmebereitstellungsoptionen mit synthetischen Brennstoffen über den gesamten Betrachtungszeitraum die höchsten Wärmegestehungskosten auf. Die Wärmegestehungskosten beim Einsatz von Wärmepumpen mit Strommix liegen über dem Niveau konventioneller Technologien. Erst im Jahr 2050 sind die Wärmegestehungskosten einer mit dem vergünstigten EE-Strom aus Eigenerzeugung betriebenen Wärmepumpe unterhalb der Kosten eines mit Erdgas betriebenen Brennwertkessels. Während beim Einsatz des Strommix im Jahr 2015 noch keine Emissionsreduktion durch die Nutzung von Wärmepumpen erreicht werden kann, ist bereits im Jahr 2030 eine deutliche Reduktion der spezifischen Emissionen erkennbar. Jedoch ist der Einsatz von Wärmepum-

¹⁵⁸ Aufgrund aktueller Bestrebungen ist auch für die Fernwärme bis zum Jahr 2030 eine Reduktion des Emissionsfaktors erwartbar. Dies wird jedoch im Rahmen dieser Analyse nicht weiter untersucht.

pen aufgrund technischer Restriktionen vom Gebäude- und Sanierungszustand abhängig und daher nach aktuellem Stand der Technik nicht für einen flächendeckenden Einsatz geeignet.

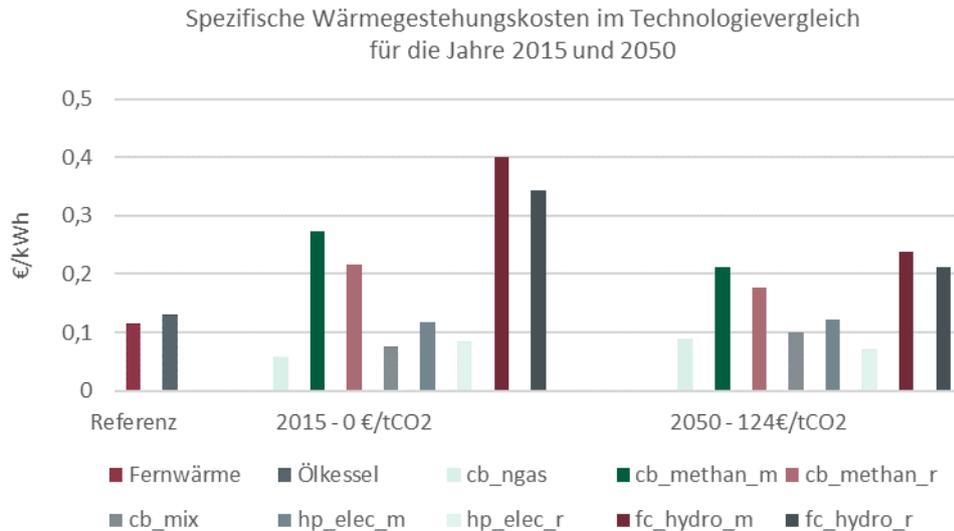


ABBILDUNG 31: WÄRMEGESTEHUNGSKOSTEN IM TECHNOLOGIEVERGLEICH

QUELLEN: EIGENE DARSTELLUNG

Der Vergleich der Wärmegestehungskosten verschiedener Technologien in Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigt, dass die für die Jahre 2030 und 2050 angesetzten CO₂-Preise keinen nennenswerten Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit alternativer Heiztechnologien hat. Auch bei einem CO₂-Preis von 124 €/t CO₂-eq im Jahr 2050 erweist sich beispielsweise der erdgasbetriebene Gasbrennwertkessel noch als günstiger als eine Wärmepumpe, die mit Strom aus dem allgemeinen Netz betrieben wird. Die hohen Gestehungskosten machen den Einsatz synthetischer Gase in diesem Betrachtungsfall nicht wirtschaftlich attraktiv.

Deutlich wird die Vorteilhaftigkeit der Eigenversorgung mit Erneuerbarem Strom, auf den keine Steuern und sonstigen Abgaben anfallen. Hier zeigt sich wiederum die Diskrepanz der hohen Belastung von Strom mit Steuern, Abgaben und Umlagen im Vergleich zu Gas.¹⁵⁹ Eine wirtschaftliche Attraktivität von Technologien, die klimaschonend mit Strom oder Strombasierten synthetischen Gasen betrieben werden können, wird dadurch erschwert.

Fazit und Ausblick

Im Folgenden wird die Auswirkung des CO₂-Preises auf die konkreten Wärmegestehungskosten der verschiedenen Wärmetechnologien für Einfamilienhäuser dargestellt.

Für die Sensitivitätsanalysen werden die spezifischen Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit des CO₂-Preises berechnet, wobei vereinfachend vorausgesetzt wird, dass lediglich der CO₂-abhängige Kostenbestandteil variiert und alle weiteren Kosten sowie die Zusammensetzung des Strommix unverändert bleiben.

¹⁵⁹ Vgl. u. a. Agora Energiewende (2018).

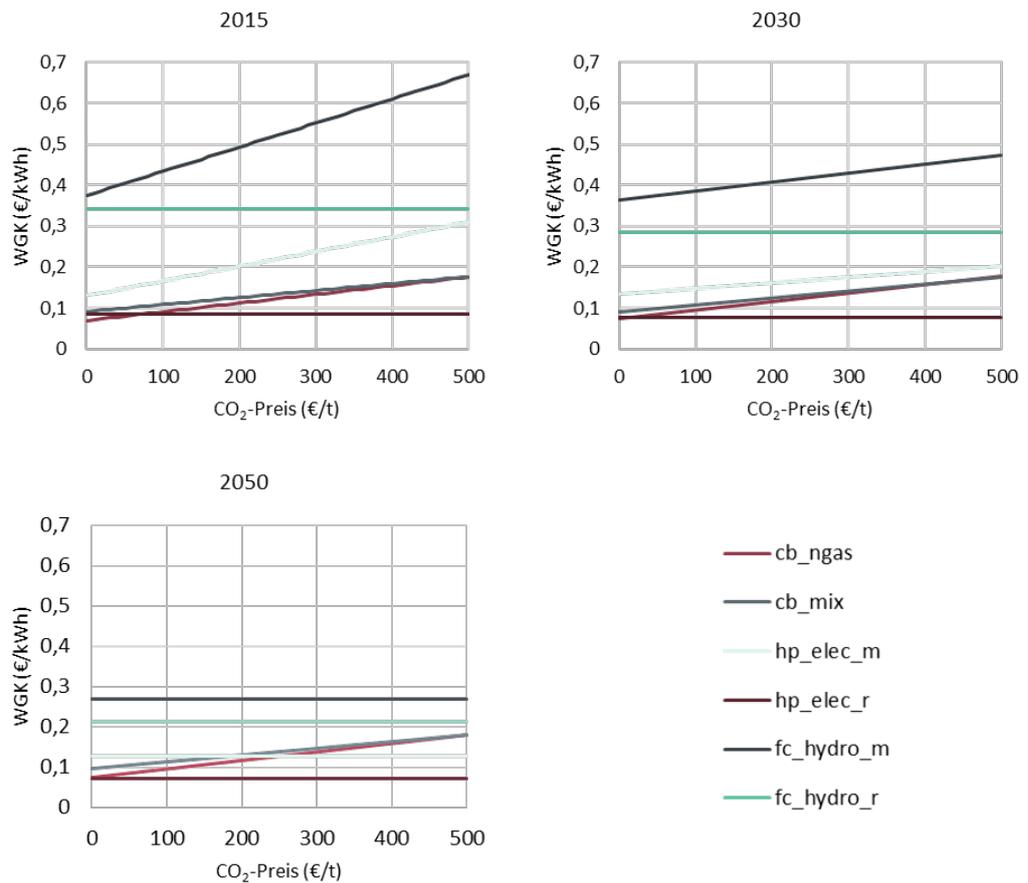


ABBILDUNG 32: SENSITIVITÄTSANALYSE ZUR HÖHE DES CO₂-PREISES IM TECHNOLOGIEVERGLEICH

QUELLEN: EIGENE DARSTELLUNG

Die Sensitivitätsanalyse¹⁶⁰ veranschaulicht, dass erst im Jahr 2050 bei einem klimaneutralen Strommix und einem CO₂-Preis von ca. 240 €/t CO₂-eq die ökonomische Vorteilhaftigkeit von (mit dem Strommix betriebenen) Wärmepumpen gegenüber konventionellen Technologien wie einem mit Erdgas betriebenen Brennkessel eintritt. Für die anderen betrachteten Jahre setzt die CO₂-Bepreisung aufgrund des hohen Emissionsfaktors des Strommix keine bzw. erst bei deutlich höheren CO₂-Preisen ökonomische Anreize zur Umstellung auf eine klimafreundlichere Wärmeversorgung.

Beim Vergleich der Wärmegestehungskosten der beiden Versorgungsvarianten mit Wärmepumpen wird der große Kostenunterschied zwischen der Nutzung von Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung (hp_elec_m) und der Eigenversorgung mit erneuerbarem Strom (hp_elec_r), auf den keine Netzentgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen anfallen, deutlich. Auch im Vergleich strombasierter Versorgungsvarianten mit auf konventionellen Technologien basierende Versorgungsvarianten wird die höhere Belastung von Strom durch Steuern, Umlagen und Abgaben ersichtlich.¹⁶¹ Eine alleinige CO₂-Bepreisung kann somit bei moderaten CO₂-Preisen in dieser einzelwirtschaftlichen Betrachtung kurzfristig keinen ausreichenden Anreiz für den vermehrten Einsatz klimaschonender Technologien zur Wärmebereitstellung bieten. Vielmehr müsste diese Maßnahme durch eine Reformierung der Systematik für Steuern, Abgaben und Umlagen flankiert werden.

¹⁶⁰ Bei der Sensitivitätsanalyse wurden vereinfachend konstante Emissionsfaktoren für den Strommix im jeweiligen Jahr angenommen, Jedoch wäre grundsätzlich zu erwarten, dass aus Änderungen des CO₂-Preises auch Änderungen in den Emissionsfaktoren für den Strommix resultieren würden.

¹⁶¹ Vgl. Agora Energiewende (2018).

7 ZENTRALE SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Aus den oben dargelegten interdisziplinären Analysen lassen sich nun zentrale Schlussfolgerungen zu den Maßnahmen des Policy Packages sowie den angelegten Bewertungskriterien ableiten. In der folgenden Tabelle sind die Bewertungen je Folgenabschätzung nach Bewertungskriterien sortiert. Die Bewertungen beziehen sich auf das gesamte Policy Package oder auf die Maßnahmen des Policy Packages, die in der jeweiligen Folgenabschätzung und Bewertung, analysiert werden.

TABELLE 32: FOLGENABSCHÄTZUNG NACH BEWERTUNGSKRITERIEN

Kriteriencluster	Bewertungskriterium	Folgenabschätzung
<p>Beiträge zu zentralen energie- und klimapolitischen Zielsetzungen („Zieldreieck“)</p>	 <p>Effektivität</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Für eine effektive Zielerreichung kann eine CO₂-Preis einen wichtigen Beitrag leisten, aber aufgrund der besonderen Eigenschaften des Gebäudesektors sind ergänzende Maßnahmen zwingend erforderlich (Kapitel 6.6) • Zusammengefasst zeigt die Analyse, dass nur ein vollständiges Policy Package mit einer Implementierung aller Maßnahmen ausreichend ist, um die Ziele einer hohen CO₂-Reduktion zu erreichen, da die Transformation und die umzusetzenden Maßnahmen umfangreich und weitreichend sind. (Kapitel 6.2) • Die systemdienliche Einbindung von dezentralen Akteuren/ Prosumern ist daher von zentraler Bedeutung. (Kapitel 6.3) • Bei der Solarthermie werden hohe Potenziale, u. a. aufgrund derzeit konstanter Investitionskosten, kaum gehoben. Für die Erreichung der Klimaschutzziele sind deutlich stärkere Zubauraten erforderlich (Kapitel 6.8.). • Der Wärmepumpenausbau schreitet stetig voran. Zukunftsprognosen gehen stark auseinander. Bei einer hohen Elektrifizierung nimmt jedoch auch die Tragweite der Rolle der Wärmepumpe zu (Kapitel 6.8). • EE-Quoten können grundsätzlich den Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung erhöhen. Jedoch ist die Definition der verfügbaren Erfüllungsoptionen wichtig für die Wirkungsrichtung. Zudem müssen die Erfüllungsoptionen gleichwertig zu dem Ziel, die CO₂-Emissionen zu reduzieren, beitragen. (Kapitel 6.9) • Bei EE-Quoten müssen nicht beabsichtigte Effekte untersucht werden. Zum Beispiel kann eine EE-Quote im Gebäudebestand zu einem verzögerten Heizungswechsel und damit kurzfristig möglichen CO₂-Einsparungen entgegenwirken. (Kapitel 6.9) • Eine alleinige CO₂-Bepreisung kann somit bei moderaten CO₂-Preisen in dieser einzelwirtschaftlichen Betrachtung kurzfristig keinen ausreichenden Anreiz für den vermehrten Einsatz klimaschonender Technologien zur Wärmebereitstellung bieten. Vielmehr müsste diese Maßnahme durch eine Reformierung der Systematik für Steuern, Abgaben und Umlagen flankiert werden. (Kapitel 6.12) • Langfristige Kommunikation von Entwicklung bei der CO₂-Bepreisung für Investitionen im Industriebereich notwendig. (Kapitel 6.4.)

	 Resilienz	<ul style="list-style-type: none"> keine
	 Kosteneffizienz / Gesamtkosten	<ul style="list-style-type: none"> Die Wärmepumpe ist eine der wichtigsten Technologien zur kosteneffizienten Zielerreichung im Wärmesektor. (Kapitel 6.2.) Bei der Solarthermie sinken die Kosten bis 2030 um nahezu die Hälfte. Danach ist mit einer mäßigen Kostenreduktion zu rechnen (Kapitel 6.8). Die Investitionskosten von Wärmepumpen sinken bis 2050 voraussichtlich konstant, aber vergleichsweise gering (Kapitel 6.8). tendenziell ist bei den aktuellen regulatorischen eine Erhöhung der Wärmegestehungskosten bis zum Jahr 2050 zu erwarten; einzelne Wärmeversorgungsvarianten liegen auf dem heutigen Kostenniveau
Wichtige Bereiche, in denen Nebenwirkungen von Energiepolitik auftreten	 Förderung des sozialen Zusammenhalts	<ul style="list-style-type: none"> Die regulatorischen Verteilmechanismen führen zu zusätzlicher Belastung der Non-Prosumer bei hohen Eigenversorgungsgraden der Prosumer. Diese Belastung können im zweistelligen Prozentbereich liegen und sind damit insbesondere für einkommensschwache Haushalte relevant. (Kapitel 6.3.)
	 Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt	<ul style="list-style-type: none"> Für eine betriebswirtschaftlich rentable Einbindung von Power-to-Heat (in Wärmenetze) ist die Höhe von Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelten im Stromsektor bzw. die Höhe einer CO₂-Bepreisung mit Wirkung auf den Wärmesektor entscheidend (Kapitel 6.7). Zur Erreichung der in den volkswirtschaftlichen Analysen ermittelten hohen Wärmepumpenzahlen (Kapitel 6.2) muss sich die (einzel-)wirtschaftliche Situation gegenüber fossilen Wärmeversorgungsvarianten deutlich verbessern (Kapitel 6.7 und 6.12). Die Patentanmeldungen im Bereich Solarthermie stiegen in den vergangenen 10 bis 12 Jahren weltweit stark an. Deutschland trägt hier die Technologieführerschaft. Das Fördervolumen stieg von 2015 bis 2018 nach einem kurzen Abfall für Niedertemperatur Solarthermie an. In den Bereichen Solare Kälte und Solare Prozesswärme laufen die Fördermittel jedoch derzeit gegen Null (Kapitel 6.8). Auch bei den Wärmepumpen stiegen die Patente in den letzten 10 Jahren stark an, allerdings auf einem geringeren Niveau als bei Solarthermie. Japan konnte Deutschland hierbei vor einigen Jahren überholen und meldet seither teilweise pro Jahr ca. die doppelte Menge an Patenten an. Die deutschen Forschungsausgaben stiegen von 2014 bis 2017 um jeweils unter 1 Mio. Euro, um 2018 leicht zu sinken (Kapitel 6.8).
	 Schutz der menschlichen Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> Als Folge der politischen Interventionen weisen die Indikatoren Klimawandel, Feinstaubbelastung, Bildung von Photooxidantien und fossiler Ressourcenverbrauch bis 2050 noch stärkere Rückgänge als im BAU-Szenario auf. Allerdings zeigt sich eine gegenläufige Entwicklung für die Indikatoren Humantoxizität, metallischer Ressourcenverbrauch und vor allem Wasserverbrauch (Kapitel 6.10.), wenn sich der Strommix im Vergleich zu 2015 nicht ändert.
	 Umwelt- und Ressourcenschonung	
Vereinbarkeit mit rechtlichen, politischen und ethischen Normen / Orientierungen	 Legalität	<ul style="list-style-type: none"> Alle Maßnahmen des Policy Packages können verfassungs- und europarechtskonform in den geltenden Rechtsrahmen integriert werden (Kapitel 6.5). Eine CO₂-Bepreisung kann auf verschiedene Weisen rechtskonform gestaltet werden, eine indirekte Besteuerung des CO₂-Gehalts fossiler Energieträger ist ohne Änderungen des Finanzverfassungsrechts möglich (Kapitel 6.5).
	 Legitimität	<ul style="list-style-type: none"> Insgesamt haben sich 38 der 55 identifizierten Akteure für eine sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung ausgesprochen, die auch für den Gebäude- und Wärmebereich gelten würde. Von 11 Stakeholdern wurden neutrale oder keine Äußerungen zur CO₂-Bepreisung gefunden, 6 lehnten sie explizit ab. (Kapitel 6.11)
	 Ethische Akzeptabilität	<ul style="list-style-type: none"> Beim Umbau der Wärmeversorgung sollten in der Folge mögliche nachteilige Reboundeffekte probabilistisch erörtert werden. Eine dekarbonisierte Wärmeversorgung könnte auf Verbraucherseite zu einem anderen Konsumverhalten führen. Eine derartige Studie

		<p>liegt bis zum jetzigen Zeitpunkt leider nicht vor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Sinne deliberativer vs. repräsentativer Demokratiediskurse und deren epistemische sowie geltungstheoretischen Annahmen zu Akzeptanz und Akzeptabilität (intersubjektive Angemessenheit) ist die Eigentumsfrage (kommunal, privatwirtschaftlich, unternehmerisch, genossenschaftlich etc.) der Dampferzeugungsanlagen von gesellschaftlicher Bedeutung. • Eine nicht mit flankierenden Maßnahmen versehene und sozial ausgestaltete CO₂-Bepreisung kann einkommensschwache Haushalte besonders nachteilig treffen; besonders wenn für einen Umbau der Heiz- und Dampferzeugungsanlagen das erforderliche Kapitel für die staatliche Förderung nicht gegeben ist. Daneben führen die regulatorischen Verteilmechanismen zu zusätzlicher Belastung der Non-Prosumer bei hohen Eigenversorgungsgraden der Prosumer, die im zweistelligen Prozentbereich liegen kann. (Kapitel 6.3.) • Der Ausbau bzw. der klimaverträgliche Umbau der Fernwärmeinfrastruktur stockt, weil ökonomische und regulative Rahmenbedingungen oftmals unattraktiv sind. (Kapitel 1) Auch im Gebäudesektor sind ergänzende Maßnahmen zwingend erforderlich (Kapitel 6.6) Vor dem Postulat einer (globalen) Klimagerechtigkeit und dem Autonomieerhalt zukünftiger Generationen sind verbindliche Maßnahmen auch im Gebäudesektor erforderlich. • Die in der Photovoltaik-Industrie verwendeten endlichen Ressourcen gilt es genauso kritisch im Sinne eines Nachhaltigkeitspostulats in den Blick zu nehmen, wie die Frage nach der Recyclbarkeit. Zu befürworten ist ein naturverträglicher Ausbau der Wärmeerzeugungsanlagen. • EE-Quoten stellen gegenüber der CO₂-Bepreisung einen zusätzlichen und wichtigen Anreiz dar, die für alle im Sinne einer Parteieninvarianz (Akteure der Wärmewende werden unabhängig vom Ansehen der Person betrachtet) Verbindlichkeiten schafft. (Tabelle 6)
--	--	--

Für die Maßnahmen des Policy Package lassen sich die nachfolgenden zentralen Schlussfolgerungen ziehen.

TABELLE 33: SCHLUSSFOLGERUNG NACH MAßNAHMEN

Maßnahme	Schlussfolgerungen
CO ₂ -Bepreisung	<ul style="list-style-type: none"> • Durch eine hohe CO₂-Bepreisung kann der Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase im Wärmesektor wirksam gemindert werden. • Würde ein CO₂-Preis als alleiniges Steuerungselement verwendet, wäre ein sehr hoher Preis zur Defossilisierung des Wärmesektors notwendig. • Die CO₂-Bepreisung ist durch geeignete Maßnahmen zu ergänzen, um die Klimaschutzziele zu erreichen sicherzustellen. • Aus einzelökonomischer Perspektive empfehlen sich wegen der angelegten Diskontraten bereits ein Einstieg mit relativ hohen Preisen sowie eine längerfristige Preisfestlegung, um Investitionsentscheidungen zu lenken. • Aus rechtlicher Perspektive empfiehlt sich eine Anknüpfung an die vorhandene Energiesteuer.
Verbot konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Ein baldiges Verbot von konventioneller Wärmeerzeugungsanlagen (Öl) kann der Transformationspfad schneller durchlaufen werden. • Gasbrennwertkessel müssen in Dekarbonisierungsszenarien bis 95% auch ab 2030 verboten werden oder mit alternativen Kraftstoffen versorgt werden.
Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten	<ul style="list-style-type: none"> • Steuern, Abgaben, Umlagen und (Strom-)Netzentgelte verschlechtern die Wettbewerbssituation von Strom zur Wärmebereitstellung gegenüber fossiler klimaschädlicher Wärmebereitstellung. • Bei (Einführung von weiteren) Privilegierungstatbeständen für Steuern, Abgaben, Umlagen oder (Strom-)Netzentgelte

	sind Verteilungseffekte zu beachten.
Erhöhung der EE-Quoten	<ul style="list-style-type: none"> • Eine erhöhte EE-Quote kann hinsichtlich der Effektivität eine gute Ergänzung einer CO₂-Bepreisung sein. • Die genaue Ausgestaltung des Instruments hat einen wichtigen Einfluss auf den Trade-off zwischen Effektivität und Kosten der Maßnahme. Insbesondere die Auswahl der verfügbaren Erfüllungsoptionen beeinflusst die Wirkungsrichtung des Instruments. • Nicht beabsichtigte Effekte müssen untersucht und berücksichtigt werden.
Informationsanspruch für die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Behebung von Koordinationsproblemen bei kollektiven Investitionsentscheidungen wie bei Wärmenetzen kann eine kommunale Wärmeplanung genutzt werden, die aber eine gute Daten- bzw. Informationsbasis erfordert.
Abschaffung der Förderung für konventionelle Wärmebereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Als flankierende Maßnahmen zur CO₂-Bepreisung und Reformierung der Steuern-, Abgaben- und Umlagen-Systematik • Ansatz, auch bei moderaten CO₂-Preisen den Neubau konventioneller Anlagen zu reduzieren
Erweiterung der Energiebesteuerung auf den Einsatz fossiler Energieträger für die Stromerzeugung und Senkung der Stromsteuern	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe oben bei „Überarbeitung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten“.
Finanzielle Unterstützung für Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionsbezogene Maßnahmen wie die finanzielle Förderung von Sanierungen weisen aufgrund der langen Lebensdauern im Gebäudebereich eine erhöhte Rationalität auf.

Ausblick

Wenngleich für das Policy Package umfangreiche Folgenabschätzungen und Bewertungen zu den breit angelegten Bewertungskriterien aus Sicht verschiedener Disziplinen sowie unter transdisziplinärer Einbindung von Stakeholdern durchgeführt werden konnten, war der Anspruch des Projekts nicht, eine vollständige Abdeckung des gesamten Wärmesektors zu leisten. Ein solcher Anspruch hätte sich aufgrund der Breite und thematischen Vielschichtigkeit des Wärmesektors auch gar nicht durchführen lassen. Dennoch konnten einerseits durch die systematische Verortung der Beiträge sowie andererseits durch die forschungsseitige Bearbeitung selbst inhaltliche Abdeckungslücken und weitere Forschungsbedarfe identifiziert werden. Zudem konnten eine Vielzahl von Hemmnissen und Maßnahmen der Wärmewende herausgearbeitet werden, welche in Folgeanalysen aufgegriffen werden können. Nachfolgend sind exemplarisch einige Aspekte für forschungsseitige Anknüpfungen herausgestellt:

- Finanzierungs- und Verteilungsfragen für die Defossilisierung des Wärmesektors sind durch weitere Forschungen zu analysieren. In diesem Kontext sind auch rechtliche Ausgestaltungsmöglichkeiten und Partizipationsfragen zu klären. Insbesondere hinsichtlich der Ausgestaltung einer CO₂-Bepreisung und der Umgestaltung und komplexen Interaktion mit Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelten ergeben sich weitere Forschungsfragen.
- Hinsichtlich der ökologischen Folgewirkungen und internationalen Verflechtungen der Wärmewende besteht erheblicher Forschungsbedarf.
- Zur Defossilisierung der heterogenen Fernwärmeinfrastrukturen besteht weiterer Forschungsbedarf. In diesem Kontext sind Diskrepanzen zwischen betriebs- und gesamtwirtschaftlichen Rationalitäten ebenso wie (sektorenübergreifende) Infrastrukturplanungs- und -Finanzierungsfragen zu berücksichtigen.
- Weiterer interdisziplinärer Forschungsbedarf ergibt sich hinsichtlich der Defossilisierung des Gebäudesektors.
- Forschungsbedarf ergibt sich zudem hinsichtlich der Auswirkung auf die Energieinfrastruktur bei der Transformation der Wärmeversorgung

Mit der vorliegenden Analyse konnten Handlungsmöglichkeiten für die Politik aufgezeigt und eingeordnet werden, wenngleich kein eindeutiger Transformationspfad vorgezeichnet wurde. Dennoch offenbarten die interdisziplinären Analysen, dass ambitionierte Klimaschutzpolitiken zur Defossilisie-

rung des Wärmesektors frühzeitig in die Wege zu leiten sind und viele komplexe Verflechtungen existieren. Das entwickelte Policy Package stellt einen möglichen, wenngleich nicht abschließenden Politikmaßnahmenmix zur Adressierung der Herausforderungen dar, der durch weitere Maßnahmen – z.B. sozialpolitische – zu flankieren ist. Sollten sich Zielverfehlungen oder unerwünschte Nebenwirkungen im Zeitverlauf andeuten, sind die Maßnahmen entsprechend zu ergänzen und/oder nachzuschärfen, um die Klimaschutzzielerreichung sicherzustellen.

8 LITERATUR

Neben den Literaturangaben in der Fußzeile werden hier weitere Literaturquellen, nach Kapiteln geordnet, aufgeführt.

Literatur zu Kapiteln 1-5

BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.

Bundesregierung (2010): Energiekonzept. Der Weg zur Energie der Zukunft- Sicher, Bezahlbar und Umweltfreundlich.

Göllinger, T; Gaschnig, H. (2016) Ansätze zu Transformations- und Phasenmodellen der Energiewende. Institut für ökologische Betriebswirtschaft - Arbeitspapier Nr. 61.

Umbach, E. (2017) Zwischenbericht aus der Arbeitsgruppe Sektorkopplung, Energiesysteme der Zukunft. Sitzung des Themennetzwerks Energie & Ressourcen.

Quitow, R. et al. (2018) Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende. Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi.

BReg (2019): Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030, September 2019.

Consentec und Fraunhofer ISI (2018): Optionen zur Weiterentwicklung der Netzentgeltsystematik für eine sichere, umweltgerechte und kosteneffiziente Energiewende. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Projekt Nr. 043/16, Schlussbericht, Aachen und Karlsruhe

E4Tech und Fraunhofer IEE (2017): Das gekoppelte Energiesystem. Vorschläge für eine optimale Transformation zu einer erneuerbaren und effizienten Energieversorgung, Studie im Auftrag des BEE, London, Kassel

E-Bridge, ZEW, TU Clausthal (2018): Neue Preismodelle für die Energiewirtschaft – Reform der Struktur von Netzentgelten und staatlich veranlasster Preisbestandteile, hrsg. v. Agora Energiewende, Berlin

Ecofys (2014): Der Spotmarktpreis als Index für eine dynamische EEG-Umlage. Vorschlag für eine verbesserte Integration Erneuerbarer Energien durch Flexibilisierung der Nachfrage, hrsg. v. Agora Energiewende, Berlin.

ewi ER&S (2018): Gutachterbericht zur dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. hrsg. v. dena. Berlin.

Fraunhofer ISI; Consentec; ifeu; TU Wien; M-Five und TEP Energy (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Karlsruhe, Aachen und Heidelberg.

Grosse, B. und Kochems, J. (2019) Hemmnisse der Wärmewende und mögliche Policy-Maßnahmen, Working Paper Energie und Ressourcen – Prozessstudie, Fachgebiet Energie- und Ressourcenmanagement, TU Berlin.

Prognos und BCG (2018): Klimapfade für Deutschland. München, Hamburg, Berlin und Basel. – Studie im Auftrag des BDI.

Quitow, R. et al. (2018) Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende. Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi.

Weymer-Jehle, W. (2014) Einführung in die qualitative System- und Szenarioanalyse mit der Cross-Impact-Bilanzanalyse, ZIRN Universität Stuttgart, Methodenblätter zur Cross-Impact Bilanzanalyse - Blatt Nr. 1.

Weymer-Jehle, W. (2015): Cross-Impact-Analyse, in: M. Niederberger und S. Wassermann (Hrsg.) Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung, Springer VS, Wiesbaden, S, 243-258.

Literatur zu Kapitel 6.6

- Bach, S; Isaak, N.; Kemfert, C.; Kunert, U.; Schill, W.P.; Schmalz, S.; Wagner, N.; Zaklan, A. (2019): „CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Diskussion von Wirkungen und alternativen Entlastungsoptionen“ abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.676034.de/diwkompakt_2019-140.pdf.
- Beckers, T. / Bieschke, N. / Lenz, A.-K. / Heurich, J. / Kühling, J. / Hertel, W. / Schäfer, D. (2014): „Alternative Modelle für die Organisation und die Finanzierung des Ausbaus der Stromübertragungsnetze in Deutschland“; abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter https://www.wip.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/forschung/publikationen/2014/tuberlin-wip_et_al_2014-afuen_gutachten-v50.pdf.
- Deutsche Energie Agentur (2016): „dena Gebaudereport 2016“; abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter <https://shop.dena.de/sortiment/detail/produkt/broschuere-dena-gebaeudereport-2016> https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf
- Deutsche Energie Agentur (2017): „Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor“; abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/dena_Gebaeuestudie.pdf.
- Hoffrichter, A. / Beckers, T. (2016): „Perspektiven für die Bereitstellung und Refinanzierung von Windkraft- und PV-Anlagen – Eine Analyse von Weiterentwicklungsoptionen des institutionellen Rahmens unter Einbezug institutionenökonomischer Erkenntnisse“; abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter https://www.wip.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/forschung/publikationen/2016/hoffrichter_beckers_2016-perspektiven_fuer_die_bereitstellung_und_refinanzierung_von_windkraft-_und_pv-anlagen-v20.pdf.
- Maaß, C.; Sandrock, M.; Schaeffer, M. (2019): „Fernwärme 3.0 - Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwarmepolitik“; abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter https://www.hamburg-institut.com/images/pdf/studien/150219%20Fernwrme%203_0a.pdf.
- Thöne, M.; Gierkink, M.; Pickert, L.; Kreuter H.; Decker, H. (2019): „CO₂-Bepreisung im Gebäudesektor und notwendige Zusatzinstrumente“ abgerufen im Internet am 21.11.2019 unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2019/09/EWI_FiFo_Studie_CO2-Bepreisung-im-Geb%C3%A4udesektor_190918.pdf

Literatur zu Kapitel 6.7

- Antoni, O.; Hilpert, J.; Kahles, M. et al. (2016), S. 65–66, Gutachten zu zuschaltbaren Lasten. Stiftung Umweltenergierecht, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Würzburg
- Assmann, L. (2016): Assmann: "Der Anreiz für Zuschaltbare Lasten ist gering". Online verfügbar unter <https://www.energate-messenger.de/news/167704/assmann-der-anreiz-fuer-zuschaltbare-lasten-ist-gering->, Abruf am 19.11.2019.
- BCG; Prognos AG (2018): Klimapfade für Deutschland. Unter Mitarbeit von Philipp Gerbert, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner et al. Im Auftrag des BDI. Berlin, München, Basel, Hamburg. Online verfügbar unter https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf, Abruf am 19.11.2019.
- Behm, A. (2013), Negative Regelleistung durch Power to Heat und die Auswirkung auf den Primärenergiefaktor der Fernwärme., Mannheim.
- Danner, W.; Theobald, C.; Missling S. EnWG.
- Danner, W.; Theobald, C.; Wustlich, G. EEWarmeG.
- Däuper, O.; Lachmann, H.-C. (2018), Rechtliche Optionen für die Weiterentwicklung der EEG-Umlage und eine neue Finanzierung der Energiewende, München.

- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf B., und Pahle, M. (2019) Optionen für eine CO₂-Preisreform“. MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Berlin: MCC; PIK.
- Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Agora Energiewende. Berlin. Online verfügbar unter https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf, Abruf am 19.11.2019.
- Frontier Economics; BET (2016), Kosten und Nutzen einer Dynamisierung von Strompreiskomponenten als Mittel zur Flexibilisierung der Nachfrage, Berlin.
- Gähns, Swantje; Hirschl, Bernd; Aretz, Astrid (2016): Möglichkeiten zur Umgestaltung der EEG-Umlagebasis. Hg. v. Bundesverband Neu Energiewirtschaft e.V. (bne). Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). Berlin.
- Gerhardt, N.; Sandau, F.; Scholz, A. et al. (2015), Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr, Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland im Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung, Kassel.
- Golling, C.; Heuke, R.; Seidl, H. et al. (2017), Roadmap Power to Gas, Berlin.
- IKEM (2018): Power to Heat. Eine Chance für die Energiewende. Erstellt im Rahmen von SINTEG-WindNode. Unter Mitarbeit von Hannes Doderer, Sophia Steffensen und Simon Schäfer-Stradowsky. Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM). Berlin, Greifswald, Stuttgart.
- Jansen, Malte; Sager-Klauß, Christina (2017): Das gekoppelte Energiesystem. Vorschläge für eine optimale Transformation zu einer erneuerbaren und effizienten Energieversorgung. Hg. v. Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. E4tech (UK) LtD, Fraunhofer-Institut für für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE). Kassel.
- Nabe, Christian; Bons, Marian (2014): Der Spotmarktpreis als Index für eine dynamische EEG-Umlage. Vorschlag für eine verbesserte Integration Erneuerbarer Energien durch Flexibilisierung der Nachfrage. Hg. v. Agora Energiewende. Ecofys Germany GmbH. Berlin.
- Öko-Institut e.V.; Fh ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Unter Mitarbeit von Julia Repenning, Lukas Emele, Ruth Blanck, Hannes Böttcher, Günter Dehoust, Hannah Förster et al.
- Praetorius, B.; Lenck, T.; Büchner, J. et al. (2017), Neue Preismodelle für Energie, Grundlagen einer Reform der Entgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen auf Strom und fossile Energieträger. E-Bridge Consulting, Technischen Universität Clausthal, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung. Agora Energiewende (Hrsg.), Berlin.
- Reuster, L.; Runkel, M.; Zerzawy, F. et al. (2017), Energiesteuerreform für Klimaschutz und Energiewende, Konzept für eine sozial- und wettbewerbsverträgliche Reform der Energiesteuern und ein flächendeckendes Preissignal. Forum Ökologisch-soziale Marktwirtschaft., Berlin
- Rodi, M. (2018): Die Zukunft der Energiesteuer im Rahmen der Energiewende. Dünkel, Frieder; Fahl, Christian; Hardtke, Frank; Harrendorf, Stefan; Regge, Jürgen; Sowada, Christoph (Hrsg.) Strafrecht Wirtschaftsstrafrecht Steuerrecht, Gedächtnisschrift für Wolfgang Joecks. ISBN: 978-3406724039. München.
- Schmitt, T.; Schäfer, M.; Gretschel, O. (2017), Kläranlagen als Flexibilitätsoption im Stromnetz, Berlin.
- Weiser, E.; Schäfer-Stradowsky, S. (2018), Weiterentwicklungsbedürfnis und -potentiale der Regelung zu zuschaltbaren Lasten in § 13 Abs. 6a EnWG., Berlin.
- Wietschel, M.; Plötz, P.; Pfluger, B. et al. (2018), Sektorenkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen, Karlsruhe.
- Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag (2018), Die CO₂-Abgabe in der Schweiz, Frankreich und Großbritannien, Mögliche Modelle einer CO₂-Abgabe für Deutschland, Berlin.

Literatur zu Kapitel 6.12.

- Agora Energiewende (2018): Eine Neuordnung der Abgaben und Umlagen auf Strom, Wärme, Verkehr. November 2018. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Abgaben_Umlagen/147_Reformvorschlag_Umlagen-Steuern_WEB.pdf (11.10.2019)
- Bafa - Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2019): Merkblatt zu CO₂-Faktoren. Januar 2019
- BCG; Prognos AG (2018): Klimapfade für Deutschland. Unter Mitarbeit von Philipp Gerbert, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner et al. Im Auftrag des BDI. Berlin, München, Basel, Hamburg. Online verfügbar unter https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf. Miara (2017): Wärmepumpen-Effizienz – Erkenntnisse aus langfristigen Felduntersuchungen, Fraunhofer ISE. April 2017. https://www.zebau.de/fileadmin/images/Veranstaltungen/2017/Expertenkreise/Vortrag_Expertenkreis_Waermepumpe_MMiara_web.pdf
- BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft -(2019a): Studie zum Heizungsmarkt „Wie heizt Deutschland?“ https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_final_30.09.2019_3ihF1yL.pdf (11.10.2019)
- BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2019b): BDEW-Gaspreisanalyse Juli 2019. Haushalte. https://www.bdew.de/media/documents/190723_BDEW-Gaspreisanalyse_Juli-2019.pdf (11.10.2019)
- Bergmann, A.; Erhorn, H. (2017): Kleiner als gedacht. Monitoring zeigt Defizite bei Wärmepumpen-Systemen. Der Gebäude Energieberater. 05. 2017. https://www.geb-info.de/gentner.dll/0036-0040-GEB-1705_NzY0NjMx.PDF? (11.10.2019)
- Blesl et al. (2018): 40/40 Strategie Unser Konzept für die Wärmewende; AGFW (Hrsg.), 2. Auflage, Juni 2018
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019): Energiedaten: Gesamtausgabe. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=40 (11.10.2019)
- Buderus (2019): Datenblatt BlueGen https://www.buderus.de/de/produkte/catalogue/alle-produkte/108941_brennstoffzelle-bluegen (11.10.2019)
- BnetzA - Bundesnetzagentur (2019): Monitoringbericht 2018. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2018/Monitoringbericht_Energie2018.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (11.10.2019)
- dena - Deutsche Energie-Agentur (2016): dena-Gebäudereport. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaedereport.pdf (11.10.2019)
- dena - Deutsche Energie-Agentur (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Juli 2018. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf (11.10.2019)
- Emele, L.; Harthan, R. O.; Moosmann, L. (Öko-Institut e.V.) (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland – Zusammenfassung in der Struktur des Klimaschutzplans - Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politiksznarien IX“)“, Umweltbundesamt, September 2019. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-06_climate-change_33-2019_pb19-ksp2050_teilbericht-psz-ix.pdf (11.10.2019)
- Fraunhofer ISE (2015): WAS KOSTET DIE ENERGIEWENDE? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. November 2015.

[https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20\(1\).pdf](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20(1).pdf) (11.10.2019)

Kost, C.; Shammugam, S.; Jülich, V.; Nguyen, H.-T.; Schlegl, T. (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien

Leven, B.; Neubarth, J., Weber, C. (2001): Ökonomische und ökologische Bewertung der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Heizungssystemen. Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendungen. Band 80.

Löbberding, L.; Madlener, R. (2017): System Cost Uncertainty of Micro Fuel Cell Cogeneration and Storage. Energy Procedia. 142 (2017). 2824-2830.

Umweltbundesamt - UBA (2016): CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. CLIMATE CHANGE 27/2016.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf (04.11.2019).

VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung VDI 2067. Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2012.