



# Transformation der Wärmeversorgung

## Eine Pfadwechselkonzeption

Jens Clausen

Klaus Fichter

# Impressum

## Autoren

Jens Clausen (Borderstep Institut) | clausen@borderstep.de

Klaus Fichter (Borderstep Institut) | fichter@borderstep.de

## Projektdurchführung

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH

Clayallee 323

14169 Berlin

## Zitiervorschlag

Clausen, J. & Fichter, K. (2021). Transformation der Wärmeversorgung. Eine Pfadwechselkonzeption. Hannover, Berlin: Borderstep Institut.

## Titelbild

Kohlekraftwerk Hannover, © Jens Clausen, Solarthermie Dronninglund © Danish Energy Agency

## Hinweis

Diese Publikation stellt eine Weiterentwicklung eines Werkstattberichtes aus dem Projekt Go aus dem Jahr 2020 dar (Clausen & Fichter, 2020a) und weist textliche Überschneidungen mit diesem Papier auf.

## Zuwendungsgeber:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Innovations- und Technikanalyse (ITA)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	1
2	Einleitung .....	3
3	Überblick über regenerative Wärmepotenziale .....	7
3.1	Wärmepotenziale zur Nutzung in Fernwärmenetzen.....	8
3.2	Wärmepotenziale für Gebäude außerhalb vom Fernwärmenetz .....	9
3.3	Der Weg zur Realisierung.....	10
4	Richtungssicherheit schaffen .....	12
4.1	Die Wärmewende auf die Agenda setzen.....	13
4.2	Wissen zur Wärmewende weiterentwickeln und verbreiten.....	14
4.3	Wärmeleitplanung als Grundlage für lokale Richtungssicherheit .....	16
5	Innovation und Nischenentwicklung .....	18
5.1	Seriell Sanieren auf Null-Energie Standard .....	18
6	Den Pfadwechsel durch eindeutige ökonomische Vorteile für neue Lösungen und klare Exnovationsregeln einleiten .....	19
6.1	CO <sub>2</sub> -Bepreisung.....	19
6.2	Der Strompreis und seine Komponenten .....	20
6.3	Exnovationsinstrumente und Ordnungsrecht .....	21
7	Spezifische politische Instrumente für die Wärmewende.....	20
7.1	Geothermie- und Abwärme-Risikofonds .....	21
7.2	Erneuerbare-Energie-Anlagen-Planungs-Beschleunigungsgesetz .....	23
7.3	Energetische Sanierungsgebiete.....	25
8	Zentrale Infrastrukturen transformieren.....	27
8.1	Maßnahmenpaket grüne Fernwärme.....	27
8.2	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz und Vorhaltepflcht von KWK-Anlagen.....	28
9	Wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Aspekte .....	30
10	Quellen.....	33

# 1 Zusammenfassung

Etwa drei Viertel des deutschen Gebäudebestandes wird mit Erdgas (ca. 50 %) oder Heizöl (ca. 25 %) beheizt (AGEB, 2021). Um eine klimafreundliche Wärmeversorgung ohne den Einsatz fossiler Brennstoffe zu realisieren, müssen Millionen von Gebäuden umgebaut oder an ein mit regenerativer Wärme versorgtes Fernwärmenetz angeschlossen werden.

Ein zentrales Problem der Wärmewende ist dabei, dass sie zwar in Bezug auf ihre klimapolitische Notwendigkeit begriffen wird, dass die im Kontext der Wärmewende notwendigen Transformationen aber weder von der Bevölkerung noch der Politik her verstanden werden oder auch nur bekannt sind. So wird immer wieder deutlich, dass der Pfad der Verbrennung verschiedenster Stoffe von Abfall über Klärschlamm bis zu Biomasse oder grünem Gas das Nachdenken über die Wärmeversorgung absolut prägt. Wo es nicht brennt, wird es nicht warm, scheint eine in zahlreichen Köpfen fest verankerte dominante Logik zu sein. Die zahlreichen und sehr umweltfreundlichen und effizienten Low Exergy-Technologien, die die Versorgung mit Raumwärme auf Basis von **Wärmequellen** niedrigerer Temperatur leisten, haben es in diesem Umfeld schwer (vgl. Kapitel 3).

Der Pfadwechsel zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung muss daher zunächst mit dem Setzen einer klaren Agenda für die klimafreundliche Wärmewende beginnen und **Richtungssicherheit** schaffen. Hierzu wird es erforderlich sein, Politik, Verwaltung und Bevölkerung über die besten Lösungsstrategien für eine erfolgreiche Wärmewende zu informieren und über klare ökonomische Rahmenbedingungen (deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Steuer und Reform der Strommarktregulierung) sowie deutliche Signale zur Beendigung der fossilen Energieversorgung durch ordnungsrechtliche Verbote des Einbaus jeder Form fossiler Wärmeerzeugungsanlagen den Rahmen für die Entwicklung zu setzen (vgl. Kapitel 4).

Viele Technologien für eine nachhaltige Wärmeversorgung sind bereits langjährig erprobt und serienreif. Dennoch ist die Förderung von **Innovation und Nischenentwicklung** auch zukünftig in ausgewählten Feldern von Bedeutung, z.B. bei der Automatisierung und damit Verbilligung der Produktion von Wärmepumpen wie auch im Feld Entwicklung und Skalierung der „seriellen Sanierung“ bis hin zur großtechnischen Einsatzreife (vgl. Kapitel 5).

Die Strategie der **Synchronisation von Diffusion und Exnovation** dient der Verbreitung neuer nachhaltiger Lösungen bei gleichzeitigem Zurückdrängen, alter, nicht nachhaltiger und oft fossiler Wärmetechnologien (vgl. Kapitel 6). In dieser Phase wird der Pfadwechsel durch eindeutige ökonomische Vorteile für neue Lösungen und klare Exnovationsregeln eingeleitet und durch die Einführung spezifischer Instrumente zur Förderung einzelner Praktiken und Technologien der erneuerbaren Wärmeversorgung gestaltet, z.B. durch:

- (1.) einen Risikofonds, mit dem den einzelnen, oft kleinen Stadtwerken und Energieversorgern das Risiko der Nicht-Fündigkeit einer geothermischen Bohrung oder eines in Konkurs gehenden Unternehmens mit Abwärmequelle für eine angemessene Frist abgenommen wird,

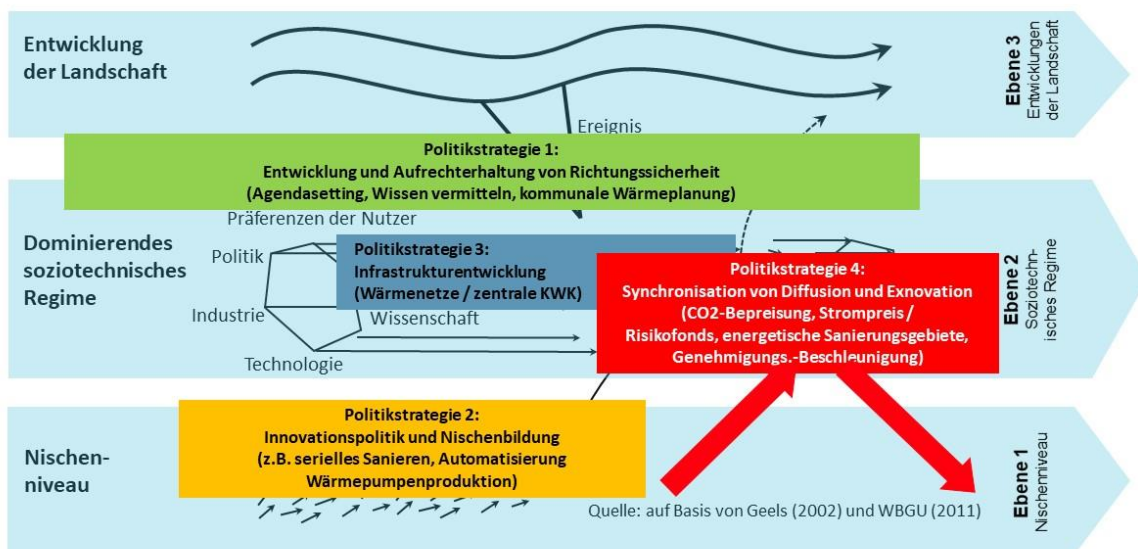
- (2.) ein Erneuerbare-Energie-Anlagen-Planungs-Beschleunigungsgesetz, das eine hinreichende personelle Ausstattung von Genehmigungsbehörden sicherstellt und Verwaltungsabläufe und Gerichtsverfahren im Kontext der Errichtung von Anlagen priorisiert und beschleunigt, wenn diese dem Klimaschutz dienen,
- (3.) energetische Sanierungsgebiete, in denen mit Maßnahmen des besonderen Städtebaurechts städtebauliche Missstände hinsichtlich mangelnder energetischer Effizienz oder des Einsatzes fossiler Heizstoffe behoben werden.

Weiter sind die für eine nachhaltige Wärmeversorgung zentralen **Infrastrukturen** zu transformieren (vgl. Kapitel 7), z.B. durch:

- (1.) ein Maßnahmenpaket grüne Fernwärme, mit der der Fernwärmemarkt zukunftsfähig umgestaltet wird,
- (2.) die Abschaffung jeder Förderung von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, soweit sie auf nicht absehbare Zeit mit fossilen Brennstoffen betrieben werden sollen.

Ist der Prozess in Gang gesetzt, müssen große Finanzressourcen mobilisiert werden, um das Multimilliarden-Programm der Wärmewende zu finanzieren. **Wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Aspekte** sind zu beachten (vgl. Kapitel 8). Einzelne Branchen, die durch die Wärmewende vor große Herausforderungen zur Ausweitung ihrer wirtschaftlichen Aktivitäten gestellt werden, sollten dabei Gegenstand eines staatlich unterstützten Strukturwandelsprogramms werden.

**Abbildung 1: Basisstrategien der Transformation der Wärmeversorgung vor dem Hintergrund der Mehrebenenperspektive**



Quelle: Borderstep

## 2 Einleitung

Die Zielsetzung des Borderstep-Projektes „Governance radikaler Umweltinnovationen (Go)“ bestand darin, Handlungskonzepte für die Rolle des Staates bei der Durchsetzung umweltentlastender radikaler Systemtransformationen zu erarbeiten und am Beispiel des Innovationsfeldes der gebäudebezogenen Wärmeversorgung konkret zu entwickeln.

Die Analyse von sieben Fällen der staatlichen Steuerung radikaler Systeminnovationen in AP1 (Clausen, 2019a, 2019b; Clausen & Beucker, 2019a, 2019b; Clausen & Olteanu, 2019; Clausen & Warnecke, 2019; Clausen, Warnecke & Schramm, 2019) lässt vier Kernstrategien erkennen, die ein aktivierender Staat für die grundlegende Transformation von Versorgungssystemen (Energie, Mobilität, Landwirtschaft) einsetzen kann (Clausen & Fichter, 2020b): Schaffung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit, Innovationspolitik und Nischenentwicklung, Synchronisation von Diffusion und Exnovation sowie Infrastrukturentwicklung:

- (1.) *Schaffung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit*: In allen Fällen spielen klare langfristige Zielsetzungen und Planungen sowie Maßnahmen zur Legitimierung der betreffenden neuen Technologien oder Systeme eine wesentliche Rolle und sorgen damit für Richtungssicherheit. Bei den erfolgreichen Transformationsfällen wird die Erzeugung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit außerdem durch die Veränderung von Netzwerkstrukturen und Schlüsselakteuren und z.T. auch durch die Etablierung grundlegender institutioneller Veränderungen flankiert.
- (2.) *Innovationspolitik und Nischenentwicklung*: In Nischenmärkten werden Innovationen erstmals in kleinen oder mittleren Stückzahlen erprobt. Dabei zeigen sich ggf. Schwachstellen und es erfolgen Optimierungen von Funktion, Leistung, Kosten und Qualität. Für die in den untersuchten Fällen beobachtbaren staatlichen Aktivitäten spielten zwei Instrumententypen an der Schnittstelle von Innovationsförderung und Nischenentwicklung eine zentrale Rolle. Forschung und Entwicklung und die Etablierung von Marktnischen und Marktformation kamen hier zum Einsatz.
- (3.) *Synchronisation von Diffusion und Exnovation*: Im Zentrum der heißen Phase der Transformation steht dann die Wechselwirkung der Instrumente zur Synchronisation von Diffusion und Exnovation<sup>1</sup>. Alle erfolgreichen Beispiele sind von einem Zusammenspiel von „diffusionsfördernden“- und „exnovierenden“ Instrumenten geprägt. Dies stützt die von Kivimaa & Kern (2016, S. 207) postulierte Annahme, dass die nachhaltige Transformation von sozio-technischen Systemen nicht nur auf die Funktionen von Innovationssystemen und ein strategisches Nischenmanagement angewiesen sind, sondern auch der „destruction side“ Aufmerksamkeit zu schenken ist, wenn sich die neue Lösung durchsetzen und diffundieren soll. Alle er-

---

<sup>1</sup> Unter Exnovation wird das Ausschleusen des Alten und nicht Nachhaltigen aus dem Wirtschaftssystem verstanden.

folgreichen Fälle nehmen „harte“ ökonomische Maßnahmen mit Hilfe der Steuer- und Abgabenpolitik vor und pflegen damit eine wirksame „monetäre Tendenzsteuerung“ ergänzt durch ordnungsrechtliche Maßnahmen (Jänicke, 2012, S. 19). In den von uns untersuchten erfolgreichen Fällen führt dies auch zur Verbesserung des relativen Kosten-Nutzen-Verhältnisses neuer Produkte oder Dienstleistungen. Zusätzlich wäre möglich, dass aufbauend auf Grundlageninnovationen systematisch Folgeinnovationen unterstützt oder gefördert werden, die zu signifikanten Kostensenkungen, Funktionsverbesserungen oder anwendungs- und zielgruppenspezifischen Anpassungen führen. Für die Schaffung klarer ökonomischer Rahmenbedingungen und Anreize ist in der Regel eine erhebliche Ressourcenmobilisierung notwendig, die in Form der Bereitstellung von Förder- oder Finanzmitteln in den meisten der untersuchten Fälle zu beobachten ist. Dies beinhaltet auch den Abbau von Subventionen für etablierte und als nicht-nachhaltig identifizierten Technologien und Systemen.

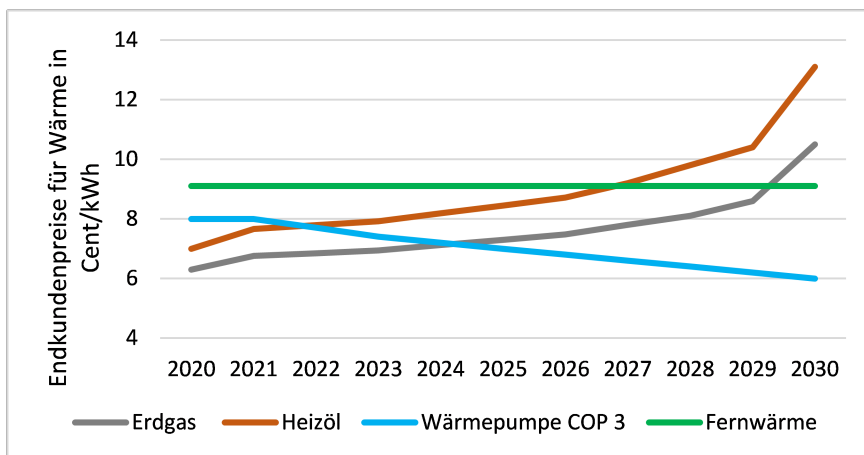
- (4.) *Infrastrukturentwicklung*: Bei der Untersuchung von „policy mixes for transition“ spielen Instrumente und Maßnahmen zur Infrastrukturentwicklung bislang eine geringe und untergeordnete Rolle. Sie stellt z.B. bei der Untersuchung von Kivimaa & Kern (2016, S. 207 ff.) kein eigenständiges staatliches Handlungsfeld bzw. kein eigenständiger Instrumente- und Funktionstyp dar. Im Falle unseres spezifischen Fokus auf Versorgungs- sowie Produkt-/Service-Systeme, kommt der Unterstützung der Entwicklung von notwendigen Infrastrukturen (Stromnetze, Wärmenetze, Fahrradwege usw.) eine fundamentale Bedeutung für den Erfolg radikaler Systemtransformationen im Verkehrs- und Energiesektor zu.

Ein zentraler Faktor für einen möglichen Erfolg der vier Strategien ist ein parteiübergreifender, möglichst gesellschaftlicher Konsens über die Notwendigkeit des Wandels. Schon kleine Gruppen, die den Problembezug anzweifeln oder soziale bzw. technologische Ziele in Frage stellen oder durch eine Vielzahl von scheinbar Problem lösenden Alternativen Verwirrung stiften können Transformationsprozesse erheblich verzögern oder ganz zum Stillstand bringen. Neben der aktiven Steuerung der Transformation ist daher ergänzend eine permanente Auseinandersetzung mit Gegenstrategien zu empfehlen. Denn insbesondere in großen Systemen, in denen erhebliche Werte umgesetzt werden, ist eine erfolgreiche Transformation in allererster Linie eine Frage von politischer Macht.

Der umweltpolitische Fokus des Projektes „Governance radikaler Umweltinnovationen (Go)“ lag im Feld des Klimaschutzes und hier speziell auf der Wärmeversorgung. Private Haushalte, Gewerbe und Industrie verursachen durch den Verbrauch von Wärme heute etwas mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Der Verbrauch verteilt sich zu ca. 50 % auf Raumwärme, zu 10 % auf Warmwasser und zu 40 % auf Prozesswärme (AGEB, 2020). Die Deckung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs erfolgt zum weit überwiegenden Teil mit den fossilen Energieträgern Erdgas, Heizöl und Kohle. Die Aufgabe, allein die Erzeugung von Raumwärme auf erneuerbare Energien umzustellen ist riesig und um diese vor 2050, dem Klimaziel von Bundesregierung und EU, oder sogar schon bis 2035 zu schaffen, dem Klimaziel der Landeshauptstadt Hannover und anderer Städte, ist schwierig (Gerhards et al., 2021).

Aber auch sozialpolitisch spricht vieles für erneuerbare Wärme. Erdgas kostete 2020 für Endkunden 6,31 Cent/kWh (BNetzA & BKartA (Hrsg.), 2021), Wärmepumpenstrom wird ab ca. 22 cent/kWh angeboten Und Heizöl kostet im April 2021 6,5 Cent/kWh (Tecson, 2021). Aber diese Preise werden sich ändern. Der seit Anfang 2021 geltende CO<sub>2</sub>-Preis (Die Bundesregierung, 2019) lässt Heizöl und Gaspreise bis 2026 ansteigen. Zusätzlich könnte der CO<sub>2</sub>-Preis weiter steigen, wenn eine neue Bundesregierung sich Sichtweisen der Klimaökonomie zu eigen macht und ihn auf das z.B. von Edenhofer et al. (2019) oder Nordhaus (Mattauch, Creutzig, aus dem Moore, Francks & Funke, 2020) empfohlene Niveau anhebt. Parallel spricht einiges dafür, dass die EEG-Umlage bis 2030 aus dem Strompreis herausfällt (Bundesrechnungshof, 2021, S. 7; Dittrich, 2021). Vergleicht man also den Einsatz einer stromgetriebenen Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3 mit einer Öl- oder Gasheizung und der Fernwärme (Hakenes, 2021) dann zeigt sich, dass fossiles Heizen schon in wenigen Jahren teuer für die Endkunden wird.

**Abbildung 2: Variable Endkundenpreise für Wärme im Vergleich**



Quelle: Borderstep

Im Rahmen des Projektes fand seit Anfang 2020 ein intensiver Dialog mit der For-Future-Bewegung in Hannover, den Stadtwerken Hannover (enercity AG) sowie zahlreichen Kommunalpolitikerinnen und -politikern statt. Auch die Verwaltung der Landeshauptstadt Hannover und ihr Oberbürgermeister Belit Onay beteiligten sich an Gesprächen zur Wärmewende. Eine zentrale Rolle spielte das Bürgerbegehren „hannover-erneuerbar“, welches mit dem Ziel der Abschaltung des KWK-Kohlekraftwerkes schon 2026 statt wie geplant 2030 erhebliche Dynamik in die Diskussion brachte. Vielfältige Anregungen aus diesem Dialog in Hannover sind in die folgenden Ausführungen eingeflossen.

So wurde auch lokal deutlich, dass der Pfad der Verbrennung verschiedenster Stoffe von Abfall über Klärschlamm bis zu Biomasse oder grünem Gas das Nachdenken über die Wärmeversorgung absolut prägt. Wo es nicht brennt, wird es nicht warm, scheint eine in zahlreichen Köpfen fest verankerte Wahrheit zu sein. Die zahlreichen und sehr umweltfreundlichen und effizienten Low Exergy-Technologien, die die Versorgung mit Raumwärme auf Basis von Wärmequellen niedrigerer Temperatur leisten, haben es in diesem Umfeld schwer. Das folgende Kapitel 4 gibt daher einen knappen



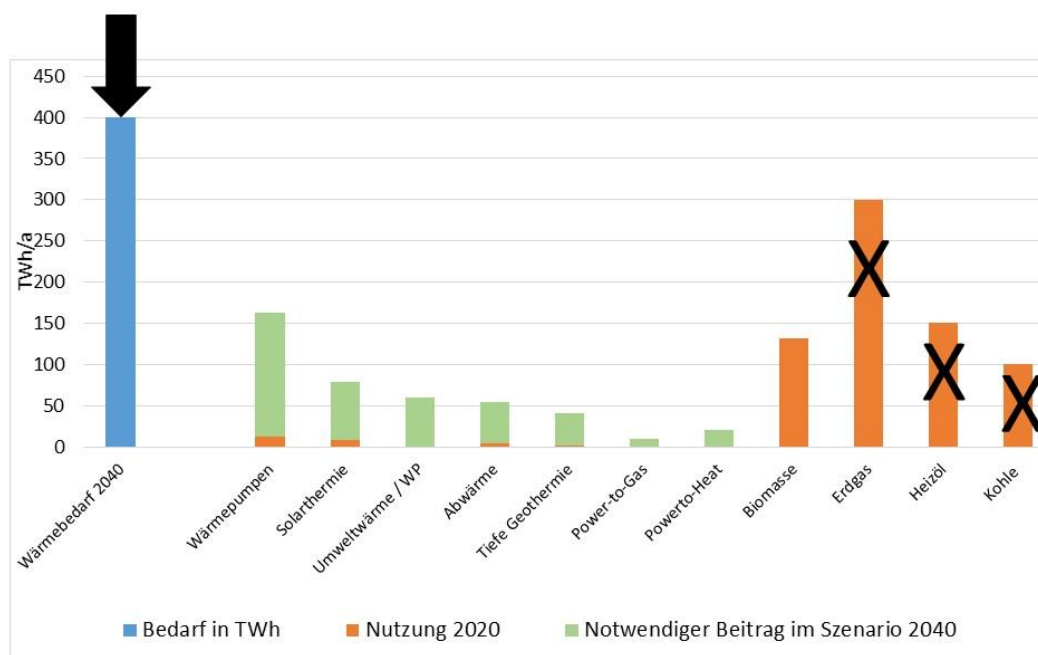
Überblick über die verfügbaren Wärmepotenziale inklusive der Wärmequellen mit niedrigem Temperaturniveau. Kapitel 4 beleuchtet die Frage, wie die Wärmewende klarer auf die politische Agenda gesetzt werden kann und wie die Vermittlung des notwendigen Wissens erfolgen kann. Auch die zentralen und quer über alle Technologien wirkenden ökonomischen Instrumente und Exnovationsregeln werden erläutert.

Kapitel 4.3 stellt die kommunale Wärmeplanung als notwendiges Instrument der Kommunalplanung vor, welches in Hamburg und Baden-Württemberg bereit verpflichtend vorgeschrieben ist. Kapitel 6.2 erläutert diejenigen politischen Instrumente, mit denen einzelne Technologie gezielt skaliert werden können. Kapitel 8 beleuchtet wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Aspekte.

### 3 Überblick über regenerative Wärmepotenziale

Die folgende Abbildung fasst beispielhaft die Ergebnisse einer Wärmepotenzialanalyse für Deutschland (Clausen, 2020a, 2020b) zusammen. Sie zeigt, dass der in 2040 erwartete Wärmebedarf von ca. 400 TWh/a auch nach Wegfall der fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und Kohle (in der Fernwärme) problemlos gedeckt werden kann, dass hierfür aber die augenblicklich vorhandenen Potenziale der populärsten nicht-fossilen Wärmequellen Biomasse, Power-to-Heat und Power-to-Gas nicht ausreichen. Die Diffusionspolitik für Wärmetechnologien muss deutlich breiter aufgestellt werden.

**Abbildung 3: Szenario zur Deckung eines Wärmebedarfs von 400 TWh für Heizung und Warmwasser in 2040**



Quelle: Borderstep auf Basis von Clausen (Clausen, 2020a, 2020b)

Grundsätzlich sind diese Überlegungen anschlussfähig an weitere Studien, die ähnliche Konzepte erarbeitet haben. Namentlich sind dies die „Machbarkeitsstudie Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“, (B E T Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, 2019), die aufgrund der hohen Berliner Flächenpreise allerdings die Solarthermie als zu teuer einstuft, die Studie „Wie werden Wärmenetze grün?“ (Agora Energiewende, 2019), das Positionspapier „Grüne Fernwärme der Deutschen Umwelthilfe (2020) und die Studie „Transformationsstrategien Fernwärme“ (AGFW e.V., 2014). Das Umweltbundesamt sieht ebenfalls eine steigende Bedeutung erneuerbarer Fernwärme sowie der regenerativen Wärmegewinnung auch in Einzelgebäuden und schlägt ein breites Instrumentenmix zur Förderung der Transformation vor (Engemann et al., 2021).

Die Einschätzung, dass Wärmepumpen eine absolut unverzichtbare Bedeutung für die Beheizung des wenig verdichteten Gebäudebestandes spielen werden, findet sich in der Dena-Leitstudie „Integrier-

te Energiewende“ (Dena, 2018, S. Teil 8, 19) wie auch in der „RESCUE-Studie“ des Umweltbundesamtes (2019) oder bei Quaschnig (2016). Aber auch Großwärmepumpen spielen eine Rolle, um Abwärme z.B. aus Kläranlagen oder Umweltwärme wie z.B. aus Flüssen (Schwinghammer, 2012) als Nah- oder Fernwärme nutzbar zu machen.

### 3.1 Wärmepotenziale zur Nutzung in Fernwärmenetzen

Für die Substitution der fossilen Fernwärmeerzeugung gibt es mit der Nutzung von Abwärme wie auch der großen Solarthermie zwei Technologien, die hohe Potenziale mit vergleichsweise günstigen, zumindest aber kalkulierbaren Preisen verbinden. Die gegenwärtig noch niedrigen Produktionszahlen von Solarkollektoranlagen wie auch die Kapazität der Planung und des Baus von Fernwärmenetzen stellen aber deutliche Hürden für ein rasches Aufskalieren der Technologien dar. Umso wichtiger ist ein rascher Beginn des Ausbaus. Im Fall der Nutzung industrieller Abwärme besteht ein weiteres Hemmnis in dem Risiko, dass eine neu an das Wärmenetz angeschlossene Abwärmequelle versiegt, weil das betreffende Unternehmen einen Standort schließt oder in den Konkurs geht. Die im Vergleich zu Dänemark geringe Ausdehnung vieler Deutscher Fernwärmenetze führt zudem dazu, dass zur Erschließung industrieller Wärmequellen oft sehr lange Wärmeleitungen gebaut werden müssen.

Unter Nutzung erneuerbaren Stroms lassen sich auch Quellen von Umweltwärme wie z.B. Flüsse, Seen oder unterirdische Aquifere als Wärmequelle für Wärmenetze nutzen (Heidelberg Kohlefrei, 2020). Schwinghammer (2012, S. 30ff) dokumentiert am Beispiel des Rathauses in Zürich eine Anlage zur Nutzung des Flusswassers im Limmat, die seit 1938 im Einsatz ist.

Eine ebenfalls attraktive Wärmequelle stellt die tiefe Geothermie dar. Ein erhebliches Wärmepotenzial ist mancherorts vorhanden und die Kosten der Gewinnung scheinen, abgesehen von der Risikofrage, bezahlbar. Aber eben aufgrund des Fündigkeitsrisikos scheint der Bau solcher Anlagen weitgehend zum Erliegen gekommen zu sein, während er sich in den Niederlanden (bei gelöster Risikofrage) im Aufwind befindet. Land oder Bund sollten engagiert die Absicherung des Fündigkeitsrisikos angehen und so den Weg für die wirtschaftliche Erschließung der tiefen Geothermie frei machen.

Mit der Bioenergie und der Nutzung von Power-to-Heat stehen zwei weitere Potenziale zur Verfügung, die kurzfristig und problemlos genutzt werden können. Die Größe des Potenzials dürfte aber besonders bei Power-to-Heat begrenzt sein. Steigt die Nachfrage nach Power-to-Heat, könnte es auch mit Gratisstrom oder negativen Preisen irgendwann vorbei sein.<sup>2</sup> Ähnlich ist die Lage mit der Bioenergie. Gegenwärtig scheint der vergleichsweise preisgünstige Kauf von Biomasse auch in großen Mengen kaum ein Problem zu sein. Wie es aber aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels mittelfristig mit der Verfügbarkeit – und dann gleichzeitig auch mit den günstigen Preisen – weiter-

---

<sup>2</sup> Es ist zu ergänzen, dass Power-to-Heat unter der derzeitigen Umlagen- und Entgeltsystematik der Gesetzgebung der Energiewirtschaft noch gar nicht attraktiv ist. Negativpreise und Gratisstrom existieren nur an der Strombörse. Stromverbraucher ohne Zugang zur Strombörse, egal ob privat oder gewerblich, sind aufgrund der Umlagen von solchen Anreizen noch komplett ausgeschlossen.

geht, ist zumindest unklar. Die Nutzung von Biomasse als Rückgrat einer nachhaltigen Wärmeversorgung könnte eine Übergangstechnologie sein, ist aber mittel- und langfristig mit hohen Risiken und Nutzungskonkurrenzen verbunden. Durch die Nutzung dieser beiden Potenziale allein kann der Wegfall fossiler Brennstoffe nicht ausgeglichen werden. Es muss darüber hinausgedacht werden.

Für eine Reihe von Optionen der Speisung der Fernwärme mit regenerativer Wärme, z.B. der Nutzung von Abwärme mit niedrigen Temperaturen, der Geothermie, aber auch der Umweltwärme mit Wärmepumpe oder der großen Solarthermie ist eine entscheidende Variable das Temperaturniveau im Fernwärmenetz. Das aktuelle Temperaturniveau von über 100°C im Vorlauf von vielen Fernwärmesystemen ist für alle diese Lösungen nur bedingt geeignet. Eine Vorlauftemperaturabsenkung auf 80 °C wäre anzustreben, damit der Kostenaufwand für den Betrieb von Wärmepumpen überschaubar bleibt. Auch Teilnetze mit noch niedrigerer Temperatur sollten angedacht werden.

### 3.2 Wärmepotenziale für Gebäude außerhalb vom Fernwärmenetz

Die Gewinnung solarer Wärme im Gebäudebestand ist bereits serienreif. Etwa 15% des Warmwasser- und Raumwärmebedarfs lassen sich mit einigen Solarkollektoren auf dem Dach gewinnen. Über diesen kleinen Anteil hinaus wird aber die Wärmepumpe die zentrale Technologie zur Wärmeversorgung von Häusern in wenig verdichteten Gebieten sein. Mit Blick auf die Tatsache, dass das Biomassopotenzial weitgehend ausgeschöpft ist, verbleibt neben der Wärmepumpenheizung nur noch die nur sehr langfristig realistische Option, das vorhandene Gasnetz mit „grünem Gas“ zur Beheizung des wenig verdichteten Gebäudebestandes zu nutzen (Hanke-Rauschenbach, 2020).

In Abhängigkeit von der Sanierung des Gebäudebestandes errechnet Quaschnig (2016) am Beispiel eines Einfamilienhauses mit einem Wärmebedarf von 30.000 kWh/a (unsaniert) und 15.000 kWh/a (saniert) folgende Bedarfe an erneuerbar erzeugtem Strom (Quaschnig, 2016) jeweils abhängig von der eingesetzten Technologie.

**Tabelle 1: Vergleich strombasierter Heizungstechnologien**

Technologie	Notwendige Stromerzeugung pro saniertem Gebäude kWh/a	Fiktive Wärmekosten je saniertem Gebäude auf Basis eines Preises von Strom UND von „grünem Methan“ von 20 Cent/kWh €/a	Nationaler Bedarf an Strom	
			Gebäudebestand 100% saniert TWh/a	Gebäudebestand 100% unsaniert TWh/a
Power-to-Gas (Gas-Brennwert)	23.000	2.400	383	767
Power-to-Gas (Gas-KWK)	Brutto 38.000, Netto 28.000	2.900	467	933
Wärmepumpe (COP 3)	5.000	1.000	83	167

Quelle: Aus Basis von Quaschnig (2016), Perner (Perner, Unteutsch & Lövenich, 2018, S. 13, 26,) Kostenschätzung durch Borderstep

Aufgrund des hohen Strombedarfs und der aufwendigen Gasproduktion läuft die Kostenschätzung auf extrem hohe Kosten sämtlicher Varianten von Power-to-Gas-Lösungen in der Wärmeversorgung hinaus. Hinzu kommen die Kapazitätsprobleme der Herstellung von grünem Gas (Clausen, 2020a).

Erfolgt die Verteilung der durch eine Wärmepumpe erzeugten Wärme durch warme Luft, also eine Warmluftheizung ähnlich einer Klimaanlage, dann lassen sich auch schlechter gedämmte Häuser mit Wärmepumpe heizen. Viele solche Anwendungen in Schweden, Kanada und Neuseeland belegen, zwar, dass auch schlechter isolierte Gebäude mit Wärmepumpe erwärmt werden können, aber die Jahresarbeitszahl sinkt oft auf 2 bis 2,5 ab und das Verfahren kann Komforteinbußen nach sich ziehen (Clausen, 2020a, S. 9f).

Erweitert man den Blick über die Heizung eines Einzelgebäudes hinaus auf Energiespeicherung und Spitzenlast, ergeben sich auch für KWK Einsatzmöglichkeiten, wenn auch von sehr begrenztem Umfang. Dies hängt mit der Netzstabilität im Stromnetz zusammen. Denn wenn viele Wärmepumpen installiert werden, ist damit zu rechnen, dass in einer kalten Winterwoche alle diese Wärmepumpen gleichzeitig betrieben werden. Im Stromnetz nimmt dadurch die Höchstlast zu, jedes installierte Wärmepumpen-GW<sup>3</sup> muss dabei teuer durch ein GW an gesicherter Erzeugungsleistung, im EE-Zeitalter also teurer Speicherkapazität, abgedeckt werden, denn die Jahresspitzenlast tritt jedes Jahr im Winter aufgrund von temperatursensitiver Last auf.

### 3.3 Der Weg zur Realisierung

Die Analyse der Wärmepotenziale zeigt, dass es Möglichkeiten erneuerbarer Wärmeversorgung sowohl für Gebiete mit wie auch für Gebiete ohne Fernwärmeversorgung gibt:

- Für Gebiete ohne Fernwärmeversorgung stehen die Sanierung des Gebäudebestandes und die Heizung durch Wärmepumpe an erster Stelle der Optionen.
- Für Gebiete mit Fernwärmeversorgung bietet sich die Erschließung von Abwärmequellen, der Bau großer Solarthermieanlagen und in weiten Teilen Norddeutschlands die Geothermie an. Ergänzend können die Umweltwärme, Abfallverbrennung und auch Biomasse Beiträge leisten.

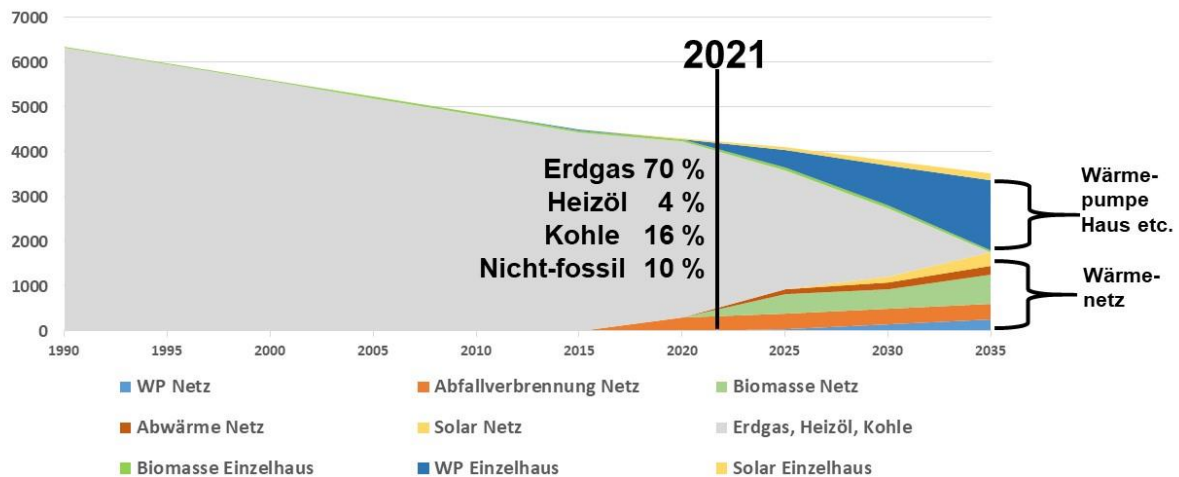
Um diese Wärmequellen zur Wärmeversorgung nutzen zu können, sind eine ganze Reihe von politischen Aktivitäten erforderlich. Zunächst aber gilt es, die Wärmewende als wichtiges Thema auf allen politischen Ebenen auf die Agenda zu setzen und Wissen darüber zu vermitteln, wie diese komplexe Aufgabe langfristig bewältigt werden kann. Zusätzlich sind die grundsätzlichen ökonomischen und ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen so weiter zu entwickeln, dass sie eine transformative Wirksamkeit entwickeln können.

Die Herausforderung der Wärmewende ist dabei groß. Die folgende Grafik zeigt am Beispiel der Landeshauptstadt Hannover die Fortschritte in der Gebäudeenergieeffizienz von 1990 bis 2021 und die Herausforderung der Umstellung der wenig verdichteten Gebäude primär auf Wärmepumpen und der starken Ausweitung der Gewinnung regenerativer Energien für das Wärmenetz.

---

<sup>3</sup> Gigawatt.

**Abbildung 4: Szenario zur weiteren Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz und zur regenerativen Deckung des Restbedarfs an Wärme am Beispiel der Landeshauptstadt Hannover**



Quelle: Borderstep

In der Konsequenz muss parallel an den drei großen Themen Gebäudeenergieeffizienz, regenerative Wärmeversorgung von Einzelgebäuden und regenerative Wärmeerzeugung für das Fernwärmenetz gearbeitet werden.

### Die Kosten der Transformation

Die Kosten einer Umstellung der Wärmeversorgung von fossilen zu erneuerbaren Quellen werden erheblich sein. So errechnete Clausen (2012, S. 26) für den Anschluss eines Gebäudes an ein ländliches Wärmenetz Kosten von ca. 20.000 €. Im Umfeld verdichteter Wohngebiete wurden im Kontext der Diskussion zur Wärmewende in Hannover aktuell Kosten für Netz und zusätzliche Wärmeerzeugungsanlagen für erneuerbare Wärme von ca. 25.000 € pro Gebäude genannt. Nach Realisierung solcher Maßnahmen würde im Gebäude selbst kein fossiler Wärmeträger mehr benötigt.

Bei der Sanierung von Einzelgebäuden ist eine De-Fossilisierung z.B. möglich, indem systematische Maßnahmen zur Gebäudeenergieeffizienz wie Dämmung und neue Fenster mit Maßnahmen zur Energiegewinnung wie Dachflächen-Photovoltaik und Einbau einer Wärmepumpe verknüpft werden, wie dies z.B. im seriellen Sanieren realisiert wird. Die Kosten für das serielle Sanieren liegen gegenwärtig in der Größenordnung von 60.000 bis 80.000 € pro Reihenhaus (Green Alliance, 2019, S. 15). Im Vergleich dürfte es mittelfristig deutlich preiswerter sein, Gebäude an ein regenerativ versorgtes Fernwärmenetz anzuschließen als Gebäude einzeln so zu sanieren, dass eine fossilfreie Wärmeversorgung möglich ist.

Eine kostenbewusste Lokalpolitik sollte daher auch im Interesse der Bürgerinnen und Bürger den Neubau von nicht-fossilen Wärmenetzen vorantreiben und dort, wo diese schon vorhanden sind, den Ausbau und die Verdichtung solcher Wärmenetze durch eine Anschluss- und Benutzungspflicht realisieren.

## 4 Richtungssicherheit schaffen

Die Ausgangsposition für eine zielgerichtete und effektive Wärmepolitik ist schlecht. Nicht nur das Ausmaß der Transformation der Wärmeversorgung weg von den fossilen Energieträgern und hin zu regenerativen Energien und mehr Effizienz ist nur wenigen Akteuren in der Gesellschaft bewusst, auch Einigkeit über die notwendigen Technologien ist nicht vorhanden. Zudem kursieren Wunschvorstellungen der Heizöl- und Erdgaswirtschaft, die von einer Zukunftsfähigkeit stofflicher Energieträger in der Wärmeversorgung ausgehen.<sup>4</sup> Weitere Kontroversen bestehen rund um das Ausmaß einer sinnvollen Nutzung von Biomasse, zur Frage der absoluten Priorität von Effizienzfortschritten gegenüber der Versorgung mit erneuerbarer Wärme, zur Rolle der Wärmepumpe und anderem mehr.

Die hohe technische und sozioökonomische Komplexität von Systeminnovationen ist genuin mit hoher Unsicherheit über den „richtigen technologischen Pfad“ verbunden. Der Umbau des gesamten vernetzten Systems der Wärmeversorgung ist deutlich komplexer als z.B. der Wechsel bei einer Einzeltechnologie wie der Umstellung vom Verbrenner zum batteriebetriebenen Elektroauto. Die Schaffung von Richtungssicherheit wird daher parallele Handlungsstränge umfassen und nur schrittweise vorangehen können.

Zum einen geht es darum, die Wärmewende auf die Agenda zu setzen (vgl. Kapitel 4.1). Nur wenn es gelingt, die Frage einer nachhaltigen Wärmeversorgung als wichtiges Thema auf die gesellschaftliche, wirtschaftliche und politische Agenda zu setzen, kann eine Auseinandersetzung über die richtigen Wege und Maßnahmen überhaupt geführt werden. Aktuelle gab es aufgrund der Proteste der FridaysForFuture-Bewegung in 2019 zwar diesbezüglich Fortschritte, aber noch keinen endgültigen Durchbruch.

Zum zweiten ist das Wissen zur Wärmewende einerseits weiterzuentwickeln und andererseits zu verbreiten (vgl. Kapitel 4.2). Weiterzuentwickeln ist es z.B. dort, wo die Erfahrungen mit einzelnen Lösungen noch selten und damit unsicher sind. Wie genau kann eine kommunale Wärmeplanung so durchgeführt und durch intelligente Digitalisierung unterstützt werden, dass möglichst viele Kommunen rasch einen klaren Plan für „ihre“ Wärmewende machen können? Wie genau können auch in

---

<sup>4</sup> Auf einer Seite mit Ölpreisinformationen ist z.B. der folgende Mythos zu lesen: „Heizöl und Kraftstoffe werden in Zukunft synthetisch und nahe an 100% klimaneutral hergestellt werden. Dabei kann die gesamte Infrastruktur bestehen bleiben, von der Ölheizung (die mit Green-Fuels arbeitet), über Verbrennungsmotoren (womit wir dann klimaneutral fahren), bis hin zu den Tankstellennetzen. Die Technologie ist da, aber die Politik ist in der Klimapolitik träge und zu schmalspurig!“ (Tecson, 2021). Gerhards et al. (2021, S. 27) argumentieren dagegen: „Deshalb ist die Verwendung von grünem Wasserstoff und daraus erzeugten synthetischen Energieträgern nicht in allen Bereichen sinnvoll, in denen es technisch möglich ist. Insbesondere für den Einsatz bei der Raumwärme und im Individualverkehr sind Lösungen mit Wärmepumpe und Wärmespeicherung sowie batterieelektrische Fahrzeuge in der Regel sinnvoller (und günstiger) als die Nutzung von Wasserstoff oder daraus erzeugten Brennstoffen, da diese aufgrund höherer Umwandlungsverluste ineffizienter bleiben.“ Ähnlich klar äußert sich das Öko-Institut (2021) in der für die Stiftung Klimaneutralität ausgearbeiteten „Wasserstoffstrategie 2.0.“

Deutschland solarthermische Großanlagen und Saisonspeicher einen relevanten Anteil zur Wärmeversorgung leisten? Aber die rein wissenschaftlich-technische Klärung von Sachverhalten reicht nicht aus. Die technischen Optionen und die ökonomischen und politischen Möglichkeiten müssen an die Bürgerinnen und Bürger, die Wirtschaft und die Politik auf allen Ebenen vermittelt werden, damit Einigkeit darüber herrschen kann, mit welcher Technologie bzw. mit welchem System wir eine nachhaltige Wärmeversorgung erreichen können.

Zum dritten ist durch bundesstaatliche Regelungen die CO<sub>2</sub>-Abgabe zu erhöhen und „das System der staatlich geregelten Energiepreis-Bestandteile grundlegend zu reformieren“ (Bundesrechnungshof, 2021, S. 7). Weiter bedarf es neuer Vorschriften, die dem Einbau von Anlagen fossiler Wärmeversorgung nicht nur im Neubau, sondern auch im Gebäudebestand ein möglichst rasches Ende setzen.

#### 4.1 Die Wärmewende auf die Agenda setzen

Ein zentrales Problem der Wärmewende ist, dass sie zwar von der klimapolitischen Notwendigkeit her begriffen wird, dass das Ausmaß der im Kontext der Wärmewende notwendigen Transformationen aber weder von der Bevölkerung noch der Politik her verstanden wird oder auch nur bekannt ist. Nachdem in Dänemark der Neueinbau von Öl- und Gasheizungen seit Jahren verboten ist und auch ihr Ersatz nur in bestimmten Fällen zulässig ist, ist der konkrete Ausstieg Deutschlands aus der Nutzung fossiler Energien zur Wärmeerzeugung für viele Menschen im Lande noch unvorstellbar. In einer Befragung der Verbraucherzentrale (2013) wird z.B. erkennbar, dass die Energiewende primär mit einer Umstellung der Stromversorgung assoziiert wird. Nur 20 % der Befragten finden es klar sinnvoller, sie auch auf Wärmeversorgung und Mobilität auszuweiten.

Im Rahmen unserer Begleitforschung zum Wärmewendeprozess in Hannover war zu beobachten, dass sowohl in den Kreisen der Klimabewegung wie in verschiedenen politischen Parteien und bei Kommunalpolitikern nur wenig Kenntnisse über die konkrete Umsetzung der Wärmewende vorhanden sind. Die fundamentalen Änderungen, die zur Defossilisierung der Wärmeversorgung mit einem kombinierten Kohle, Heizöl- und Erdgasausstieg erforderlich sind, sind kaum einem Akteur bewusst. Insbesondere fehlen Kenntnisse zu Low Exergy-Technologien wie Abwärmenutzung, Umweltwärme, Solarthermie, Geothermie und saisonaler Wärmespeicherung. Als Optionen sind eher die Verbrennung von Abfall und Biomasse sowie die Verbrennung von grünem Wasserstoff in den Köpfen verankert. Allgemein bekannt scheint zu sein, dass es nur dort, wo es brennt, warm werden kann. Ein erhebliches Problem besteht darin, dass ausgerechnet die beiden in den Köpfen bereits angekommenen Optionen aufgrund zu geringer Potenziale langfristig wohl nur eine Nebenrolle bei der Wärmewende spielen können (Clausen, 2020a; Gerhards et al., 2021; Öko-Institut e.V., 2021).

In einem ersten Schritt ist es daher notwendig, das Thema Wärmewende mit seinen wesentlichen Konsequenzen klar erkennbar auf die politische und gesellschaftliche Agenda zu setzen. Dies kann sich aber nicht nur darauf beschränken, den CO<sub>2</sub>-Preis zu erhöhen und darauf zu hoffen, dass die Wärmeversorgungsunternehmen und die Hausbesitzenden einen Ausweg finden. Denn die in der Bevölkerung bekannte Gebäudeeffizienzstrategie reicht allein nicht aus, um das Ziel der Klimaneutralität in 2050 oder gar früher zu erreichen. Parallel ist ein Schwenk von fossilen Wärmequellen zu



nicht-fossilen Wärmequellen erforderlich. Auch um zu vermeiden, dass alle Kommunen, Energieversorger und Hausbesitzenden sich auf die geringen Potenziale nicht-fossiler Brennstoffe stürzen, ist eine groß angelegte Informationskampagne mit dem Fokus auf Low-Exergy Technologien erforderlich.

Als Vorbilder können sowohl die Stromwende wie auch die Transformation der Antriebstechnologie von PKW weg vom Verbrenner und hin zu „Elektro“ dienen. Diese beiden Transformationen sind dabei, in der Bevölkerung „anzukommen“. In der Stromwende ist dies das Ergebnis von 30 Jahren Ausbau von Windkraft und Solarenergie, bei den PKW-Antriebstechnologien Ergebnis des Dieselskandals, jahrelanger Debatten über Fahrverbote, einer wirksamen EU-Klimastrategie für PKW sowie seit Anfang 2020 wöchentlicher ganzzseitiger Zeitungsartikel über ein ständig wachsendes Angebot von Elektrofahrzeugen und hoher Werbeaufwendungen der Hersteller.

## 4.2 Wissen zur Wärmewende weiterentwickeln und verbreiten

Die Vermittlung von Grundlagenwissen über Technologien wie auch politische Instrumente der Wärmewende ist wichtig, aber wer soll sie leisten? Wie die Ergebnisse des Vorhabens GO zeigen, können z.B. die Klimaschutz- und Energieagenturen der Bundesländer und Regionen eine wichtige Funktion in der Umsetzung und Verstetigung langfristiger Transformationsprozesse übernehmen. Aufgrund verschiedener struktureller Bedingungen (z.B. Abhängigkeit der Agenturen von den jeweiligen kommunalen oder landespolitischen Entscheidungsträgern), ist deren Transformationsrolle aber gerade in frühen Transformationsphasen (Agendasetting, Festlegung mittel- und langfristiger Zielsetzungen, strategische Entscheidungen über aussichtsreiche Technologiepfade und Systemveränderungen) sehr beschränkt. Wie die Fallanalyse zur Wärmewende in Hannover zeigte, können in diesen frühen Phasen engagierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine wesentliche Rolle spielen. Daher wird hier in Bezug auf die Weiterentwicklung und Verbreitung von Wissen zur Wärmewende ein „Scientists in Transition Action Plan“ vorgeschlagen.

### **Scientists in Transition Action Plan (STAP)**

Wie die Fallstudie zur Wärmewende in der Stadt Hannover zeigte, können engagierte Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen eine wesentliche Promotorenrolle in Transformationsprozessen übernehmen und durch verschiedene Governance-Mechanismen zur Beschleunigung und zum Erfolg radikaler Systemtransformationen beitragen. Dies ist nicht nur darauf zurückzuführen, dass sie wissenschaftlich fundierte Daten und Fakten in den Diskurs einbringen können, sondern auch über ein erhebliches Maß an Glaubwürdigkeit und fachlicher Autorität verfügen, die bei den meisten Entscheidungsträgern und Stakeholdern anerkannt und geschätzt werden. Dadurch können sie in besonderer Weise alternative Handlungsoptionen und Lösungsstrategien aufzeigen und legitimieren, fachliche Beratungskapazität einbringen und zu einem sachlich fundierten Dialog beitragen. So tragen sie zur geistigen und politischen „Rahmung“ (Framing) des Transformationsprozesses bei, sorgen für Legitimität für bestimmte Technologie- und Handlungsoptionen und geben den Entscheidungsträgern und Stakeholdern Richtungssicherheit.

Die beobachtete Promotorenrolle, die engagierter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler übernehmen, ist intrinsisch motiviert, wird in aller Regel ehrenamtlich und unbezahlt ausgeübt und geht weit über deren offizielle Stellenbeschreibungen und Ämterfunktionen hinaus. Da sie ihr Know-how und ihr Engagement überwiegend ehrenamtlich und als unbezahltes „Nebenamt“ einbringen, stößt diese Art der selbstorganisierten und spontanen Rolle als wissenschaftlicher Promotor der Transformation allerdings an Kapazitäts- und Ressourcengrenzen. Unter Governance-Gesichtspunkten stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, wie sich die Transformationskraft engagierter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler systematisch für radikale Umbauprozesse nutzen lässt und wie sie in ihrer Rolle im Rahmen staatlicher Transformationsstrategien aktiv unterstützt werden können. Hier bietet sich ein „Scientists in Transition Action Plan“ an, für den z.B. die folgenden zwei Maßnahmen vertiefend geprüft werden sollten:

(1.) Förderprogramm „Scientists in Transition“: Ein Förderprogramm „Scientists in Transition“, das z.B. vom BMBF aufgelegt werden könnte, fokussiert auf die befristete bzw. anteilige Freistellung und Förderung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die sich mit ihrem Know-how in ausgewählte regionale oder nationale Transformationsprozesse einbringen wollen und zur Erreichung der staatlich gesetzten Klimaschutzziele oder anderer Nachhaltigkeitsziele beitragen. Ein solches Förderprogramm adressiert die Transferfunktion von Wissenschaft und die sogenannte „Third mission“ von Hochschulen. Gerade für Handlungsfelder wie den schnellen und radikalen Umbau der Wärmeversorgung auf Klimaneutralität und 100% erneuerbare Energien, kann ein solches Programm eine wichtige Impuls- und Beschleunigungsfunktion übernehmen und die im Rahmen von AP 2 identifizierte Promotorenrolle von engagierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern stärken.

(2.) Science Transition Service Centers: Um den besonderen Beitrag, den unabhängige, fachlich ausgewiesene und engagierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Transformations- und Strukturwandelprozesse einbringen können, kann als innovativer Governance-Mechanismus eine neuartige Institution eingerichtet und dauerhaft betrieben werden, die als „Science Transition Service Centers (STSCs)“ gekennzeichnet werden kann. Diese neue Institution soll dazu dienen, die Unterstützung von Transformationsprozessen durch engagierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu verstetigen und für die Entscheidungsträger und Stakeholder in kommunalen, regionalen oder nationalen Transformationsprozessen, z.B. zur Wärmewende, für den Kohleausstieg usw., eine transformationsbezogene Anlaufstelle zu schaffen. Die STSCs sollten insbesondere kommunale und regionale Transformationsprozesse unterstützen und daher ortsnahe angesiedelt sein. Denkbar wäre z.B. ein Netzwerk von 10 bis 15 regionalen STSCs in Deutschland, die fachlich unterschiedlich breit aufgestellt sein können und ggf. temporär oder dauerhaft fachliche Schwerpunkte ausbilden, z.B. als „Informationszentrum Wärme“. Anders als z.B. das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, das eine wissenschaftliche Politikberatung für den Deutschen Bundestag übernimmt und vor allem die Potenziale und Auswirkungen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen umfassend und vorausschauend analysiert, übernehmen STSCs gezielt Aufgaben für die Unterstützung und Beschleunigung von regionalen und kommunalen Transformations- und Strukturwandelprozessen. Konkret übernehmen sie eine Impulsfunktion (Alternativen/Lösungspotenziale aufzeigen) und eine Ori-

entierungsfunktion (Fakten und Szenarien liefern). Für ihre Wirksamkeit müssen sie evidenzbasiert, proaktiv, kritisch und unabhängig arbeiten und mit einem für die Zielgruppen gut verständlichen Wissenschaftskommunikationskonzept ausgestattet sein. Die STSCs sollen auch nicht allein politischen Mandatsträgern zur Verfügung stehen, sondern alle gesellschaftlichen Gruppen adressieren, die sich für die Erreichung demokratisch gesetzter Nachhaltigkeits- und Transformationsziele einsetzen. Die Finanzierung sollte ihre Unabhängigkeit von den Entscheidungsträgern und Stakeholdern in den Regionen sicherstellen und langfristig angelegt sein. Die hier vorgeschlagene neuartige Institution der STSCs ist nicht mit dem Konzept des „Wissenschaftsladens“ zu verwechseln. Das primäre Ziel von Wissenschaftsläden, von denen es weltweit ca. 75 gibt, ist es, Anfragen von Bürgern in Wissenschaft und Forschung hineinzutragen sowie Ergebnisse der Wissenschaft für Bürger verständlich aufzubereiten, sodass diese sich kompetent engagieren können. Das primäre Ziel von STSCs ist es dahingegen, engagierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Hochschulen und außeruniversitären Wissenschaftseinrichtungen darin zu unterstützen, ihr Know-how gezielt in ausgewählte Transformations- und Strukturwandelprozesse einzubringen und diese in ihrer diesbezüglichen Promotorenrolle zu stärken.

Alle Akteure, die sich in der Vermittlung von Informationen über Mittel und Wege der Wärmewende engagieren wollen, müssen bereit und in der Lage sein, nicht nur Wissensdefizite zu beheben und gute Lösungen bekannt zu machen und zu empfehlen, sondern auch Mythen zu entlarven und falschen Perspektiven entgegen zu wirken. Insbesondere für die moderne Presse ist dies eine Herausforderung, da kaum eine Redaktion noch über hinreichend Zeit für eine kritische Recherche verfügt.

Die Wissenschaft wie auch die anderen Akteure der Wissensvermittlung sind gefordert, zielgruppen-gerechter und intensiver zu kommunizieren und dabei zusätzlich zu beachten, dass wichtige Menschen in Politik und Unternehmen oft quasi einzeln informiert werden müssen. Selbst Politikerinnen und Politiker in Kommunalparlamenten haben oft keine Zeit, um Veranstaltungen zu besuchen oder lange Schriften zu lesen. In Gesprächen und durch Vorträge vor Parteigremien oder Fraktionen lassen sich ihnen komplexe Informationen besser vermitteln.

### 4.3 Kommunale Wärmeplanung für lokale Richtungssicherheit

Die kommunale Wärmeplanung wird zunehmend in der Energiepolitik als zentrales Instrument wahrgenommen. In Hamburg und Baden-Württemberg ist sie schon gesetzlich vorgeschrieben, in Schleswig-Holstein ist ein Gesetz in Vorbereitung. Was aber versteckt sich hinter dem Begriff? Eine treffende Charakterisierung der kommunalen Wärmeplanung findet sich beim Verband kommunaler Unternehmen (VKU, 2018, S. 27):

*„Die Wärmewende ist kleinteilig, weil sie die speziellen örtlichen Verhältnisse berücksichtigen muss. Zugleich muss das große Ganze im Blick bleiben. Und es müssen aufgrund der Langlebigkeit der Technologien „Lock-in“-Effekte vermieden werden. Der holistische Ansatz der kommunalen Wärmeplanung adressiert diese Herausforderungen. Er zeigt auf die*

*Kommune zugeschnittene Pfade in eine kosteneffiziente, versorgungssichere und klimafreundliche Zukunft der Wärmeversorgung auf.“*

Die kartografischen Informationen in den Wärmeplänen sind die Grundlage für die Planung von Änderungen oder Erweiterungen der bestehenden Energieinfrastruktur. Auf Basis des Wärmeplans genehmigt die Verwaltung geplante Änderungen des Erdgas- oder Fernwärmenetzes oder lehnt sie ab. Auf Basis der Wärmepläne können Kommunen eine Anschluss- und Benutzungspflicht an das Fernwärmenetz verfügen, wie sie auch nach dem neuen Gebäudeenergiegesetz möglich ist (Die Bundesregierung, 2020a). Ein kommunaler Wärmeplan kann, wie Bebauungs- und Flächennutzungspläne bzw. mit diesen zusammen, die Planungsgrundlage für eine klimaorientierte Stadtentwicklung werden. Aber erst gegenwärtig kommt die Wärmeplanung in den Planungsämtern und bei den Kommunalpolitikerinnen und Kommunalpolitikern als wesentliche Aufgabe der Kommune nach und nach an.

Die jahrzehntelange Anwendung der kommunalen Wärmeplanung in Dänemark zeigt deutlich ihre Bedeutung für eine nicht nur kostengünstige, sondern auch umweltfreundliche Wärmeversorgung (Clausen, Benne & Hinterholzer, 2021). Das Beispiel Dänemark zeigt, dass die kommunale Wärmeplanung sowohl ökonomisch wie auch ökologisch nicht nur sinnvoll, sondern auch unbedingt erforderlich ist (Clausen et al., 2021).

Als vielversprechende Arbeitshilfe dürfte sich der Handlungsleitfaden „Kommunale Wärmeplanung“ des Landes Baden-Württemberg erweisen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021). Der Leitfaden informiert detailliert über die Inhalte des kommunalen Wärmeplans, das Vorgehen zur Ausarbeitung der kommunalen Wärmewendestrategie sowie die Integration des kommunalen Wärmeplans in die Stadtentwicklung. Der Leitfaden sieht die Wärmeplanung als kommunale Aufgabe, zu der die Stadtplanung und -entwicklung, die Fachgebiete Klimaschutz und Energie, das kommunale Energiemanagement und die Stadtwerke und Eigenbetriebe kooperativ beitragen können.

Mit Blick auf die Ortsgebundenheit der Wärmeverbraucher, aber auch von Wärmequellen wie Abwärme oder tiefengeothermischer Wärme sowie mit Blick auf die Flächenbedarf für die Errichtung von Wärmenetzen oder großen Solarthermieanlagen, sollte die Pflege des Wärmeplans ein kontinuierlicher Prozess der Stadtverwaltung sein. Für die Wärmeplanung gibt es zahlreiche Datenquellen, aber auch innovative Methoden der Datengewinnung und Softwarelösungen. Mit Hotmaps gibt es z.B. eine Open Source (und damit für Kommunen finanzierbare) Planungssoftware. Als damit zusammenhängende Datenquelle steht der Pan European Thermal Atlas zur Verfügung (Clausen et al., 2021). Die Pflicht zu einer solchen Wärmeplanung kann aufgrund von Vorschriften des Grundgesetzes nur durch die Bundesländer vorgeschrieben werden (Agora Energiewende, 2019, S. 27), wie dies in Hamburg und Baden-Württemberg bereits geschehen ist.

Für die Richtungssicherheit der Wärmewende ist die kommunale Wärmeplanung von zentraler Bedeutung, denn sie grenzt Gebiete, in denen die Wärmeversorgung langfristig für alle bzw. die meisten Gebäude durch Wärmenetze erfolgen wird, von Gebieten ab, in denen jedes Gebäude für sich mit dem Ziel der Klimaneutralität entwickelt werden muss.

## 5 Innovation und Nischenentwicklung

Zahlreiche Technologien die für die Wärmewende eine zentrale Rolle spielen sind bereits fertig entwickelt und vielfach erprobt. Für diese Technologiegruppe liegt die Herausforderung für die Politik darin, für ihre Verbreitung (Diffusion) und die Durchdringung der Massenmärkte zu sorgen.

Einige zentrale Schlüsselinnovationen müssen aber noch serienreif gemacht bzw. produktionstechnisch verbessert werden. So erscheint es aus Sicht eines Branchenkenners z.B. denkbar, dass mit den Mitteln von Industrie 4.0 im Zuge der weiteren Skalierung die Produktionskosten von Wärmepumpen deutlich gesenkt und ihre Diffusion so beschleunigt werden kann (Clausen & Hinterholzer, 2017, S. 16). Die Technologie des seriellen Sanierens ist dagegen in Deutschland noch nicht serienreif. Sie ist aber von hoher Bedeutung für die weitere Steigerung der Sanierungsrate, da sie langfristig nicht nur eine preiswerte Null-Energie-Sanierung verspricht sondern auch den Einsatz der in der Bauwirtschaft knappen Arbeitskräfte durch einen hohen Automatisierungsgrad effizient gestaltet.

### 5.1 Serielles Sanieren auf Null-Energie Standard

Mit dem seriellen Sanieren wird eine hochdigitalisierte und schnelle Sanierungsmethode für Bestandsgebäude entwickelt, die auf ein über das Jahr bilanziell klimaneutrales Gebäude zielt und dieses warmmietenneutral realisieren möchte (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2017). Nun weist allerdings die Baubranche in Deutschland zwischen 2005 und 2020 kaum einen wahrnehmbaren Zuwachs der Produktivität auf und zeigt sich sowohl in der Finanzkrise 2008 wie auch in der Corona-Krise 2020/21 erstaunlich krisenfest (Statistisches Bundesamt (DESTATIS), 2021, S. 77). Seit 2017 ermittelt das ifo Institut (2021) einen deutlich überdurchschnittlichen Geschäftslageindex. Eine solche gute Geschäftslage hemmt offenbar die Innovationslust und die eher langsamen Fortschritte bei den Projekten des seriellen Sanierens sind vor diesem Hintergrund zwar verständlich, klimapolitisch aber wenig wünschenswert. Die öffentliche Hand fördert ein Projekt der Dena zum seriellen Sanieren seit 2017 (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2017), im Vergleich zur Förderung zur Elektromobilität sind die Investitionen aber klein. Während Staat und Wirtschaft zusammen gegenwärtig ca. 180 Mrd. € an Investitionen für das elektrische Fahren angekündigt haben, liegen die entsprechenden Investitionen in das serielle Sanieren um mehr als den Faktor 1.000 darunter (Clausen, 2021). Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass der deutsche Markt für das serielle Sanieren durchaus in der Größenordnung von 20 % des deutschen Marktes für elektrische Automobile liegen dürfte, ist dies eine sehr kleine Summe (Clausen, 2021). Auch mit Blick auf den Arbeitskräftemangel in der Baubranche sollte das serielle Sanieren als Baustein der Gebäudeeffizienzstrategie neu bewertet und die Förderung neu konzipiert werden.

## 6 Den Pfadwechsel durch die Förderung der Diffusion neuer Lösungen und klare Exnovationsregeln einleiten

Die Verbreitung von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Wärme kann von staatlichen und privaten Akteuren mit einem Spektrum verschiedener Instrumente unterstützt oder eingeschränkt werden. Das BMWi hat aktuell in Szenarien untersuchen lassen, wie sich die im Klimaschutzprogramm 2030 geplanten Instrumente auf die Erreichung der Klimaziele 2030 auswirken würden (Prognos AG, 2020). Da sich mit dem beschlossenen Programm diese Ziele nicht erreichen lassen, schlägt die Studie als neues übergreifendes Instrument ergänzend zum CO<sub>2</sub>-Preis die Einführung einer Wärmeumlage vor. „In Anlehnung an das EEG könnte damit im Wärmebereich die Erzeugung von erneuerbarer Wärme gefördert werden“ (Prognos AG, 2020, S. 14). Zunächst sei an dieser Stelle aber auf drei zentrale politische Instrumente verweisen, mit denen ein richtungssicheres Nachdenken über nicht-fossile Optionen der Wärmeversorgung angeregt und das Handeln in diese Richtung gefördert werden kann: Die CO<sub>2</sub>-Bepreisung, eine jüngst auch vom Bundesrechnungshof eingeforderte Reform des Strommarktdesigns sowie zentrale ordnungsrechtliche Vorschriften zur Exnovation.

### 6.1 Instrumente mit breiter Wirkung

#### 6.1.1 CO<sub>2</sub>-Bepreisung

Die CO<sub>2</sub>-Bepreisung wird von der Mehrheit der mit dem Klimaschutz beschäftigten Ökonomen als Instrument zur Dekarbonisierung empfohlen (Carbon Pricing Leadership Council, 2019; Somanathan, Sterner & Sugiyama, 2014). Die Wirkung eines CO<sub>2</sub>-Preises konnte speziell auch in den Fallstudien zur Wärmeversorgung in Schweden und Dänemark gezeigt werden (Clausen & Beucker, 2019a, 2019b). Das Umweltbundesamt schätzt, dass eine in Deutschland ausgestoßene Tonne CO<sub>2</sub> etwa 180 € an Schäden für Mensch und Umwelt verursacht. Nordhaus schätzt in seiner Nobelpreisvorlesung die Folgekosten für 2020 sogar auf 275 \$/t CO<sub>2</sub> (Mattauch et al., 2020).

Mit Blick auf einen nationalen CO<sub>2</sub>-Preis für den Wärme- und Verkehrssektor, empfehlen Edenhofer, Flachsland, Kalkuhl, Knopf und Pahle (2019) einen Einstiegspreis von 50 €/t, der auf 130 €/t in 2030 gesteigert werden sollte. Der ab 2021 in Deutschland geltende CO<sub>2</sub>-Preis von 25 € pro Tonne CO<sub>2</sub> (Die Bundesregierung, 2019) ist damit noch zu niedrig, um schnell wirksame Änderungen zur Folge zu haben. Erst wenn bestimmte Schwellwerte des CO<sub>2</sub>-Preises überschritten werden, ab denen sich Investitionsrechnungen verändern, rechnen Edenhofer et al. (2019) mit deutlich stärkeren Mengenreaktionen.

Mit Blick auf die Wärmeversorgung ist die CO<sub>2</sub>-Bepreisung daher ein Steuerungsinstrument, das den Preis klimaschädlicher fossiler Energien steigen lässt, wohingegen sich der Preis klimafreundlicher Energien wie z.B. Solarenergie nicht verändert. Sie erhöht damit die (relative) Wettbewerbsfähigkeit klimafreundlicher Energieformen. Die Verantwortung für die Festlegung bzw. Änderung des CO<sub>2</sub>-Preises liegt bei der Bundesregierung.

## 6.1.2 Der Strompreis und seine Komponenten

Der Strompreis kann nur sehr eingeschränkt als „Marktpreis“ bezeichnet werden. Die Kosten für die Strombeschaffung (Erzeugung oder Einkauf) und den Vertrieb sowie die Gewinnmarge machen zusammen gerade einmal ca. 25% des durchschnittlich von den Haushalten gezahlten Strompreises aus (Bundesnetzagentur, 2019). Hinzu kommt das Nettonetzentgelt inklusive Abrechnung, zusammen als Netznutzungsentgelt bezeichnet, mit ca. 23% des Preises. Die EEG-Umlage allein machte weitere ca. 21% aus und Stromsteuer, Umsatzsteuer und diverse Umlage schlagen mit 31% zu Buche. Zu den Umlagen zählen (Bundesnetzagentur, 2019):

- Konzessionsabgabe,
- Umlage nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz KWKG,
- Umlage nach § 19 der Strom-Netzentgeltverordnung,
- Offshore-Netzumlage,
- Umlage für abschaltbare Lasten.

Der Markt für Strom ist damit nicht nur hochgradig reguliert, sondern auch ökonomisch maßgeblich durch den Staat geprägt und beeinflusst. Die Frage, wie teuer der Strom ist, wirkt sich gemeinsam mit der jeweiligen Netzvorlauftemperatur gravierend auf die Wärmepumpe als Technologie der Sektorkopplung aus. Würde z.B. der Strompreis für den Betrieb von Wärmepumpen nur die Kosten für Beschaffung, Vertrieb und die Marge des Energieversorgers sowie einen reduzierten Mehrwertsteuersatz von 7% enthalten, könnte eine Wärmepumpe im Privathaushalt mit Stromkosten von 8,1 Cent/kWh betrieben werden. Käme das Netzentgelt hinzu, wären es 15,8 Cent/kWh. Wird dagegen der heute übliche Durchschnittspreis für Wärmepumpenstrom bezahlt, sind es über 20 Cent/kWh. Jeder Wert dazwischen ließe sich durch entsprechende Änderung der staatlich veranlassten Bestandteile des Strompreises durch die Bundesregierung steuern. Entsprechendes gilt für den Betrieb von Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen.

Die Verantwortung für die Festlegung bzw. Änderung der staatlich veranlassten Bestandteile des Strompreises liegt bei der Bundesregierung. Diese wurde jüngst durch den Bundesrechnungshof aufgefordert „das System der staatlich geregelten Energiepreis-Bestandteile grundlegend zu reformieren“ (Bundesrechnungshof, 2021, S. 7), da der Bundesrechnungshof die Vorgaben des Klimaschutzprogramms 2030 bei der Versorgung mit Elektrizität offenbar als nicht hinreichend berücksichtigt und umgesetzt ansah.

## 6.2 Spezifische politische Instrumente für die Wärmewende

Aufgrund der Verschiedenartigkeit der für die Wärmewende erforderlichen Technologien ist eine Reihe von Instrumenten von Bedeutung, die sich primär auf Einzeltechnologien auswirken.

## 6.2.1 Exnovationsinstrumente und Ordnungsrecht

Das Kohleausstiegsgesetz (Die Bundesregierung, 2020b) ist ein für die Wärmewende zentrales Gesetzesvorhaben. Mit dem Beschluss des Gesetzes wurde die Kohleverstromung eine Technologie ohne Zukunft. Mit der Kohleverstromung endet auch die auf Kohle basierende KWK, die gegenwärtig noch 37% des Brennstoffeinsatz (27 % Steinkohle, 10 % Braunkohle) und 58 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den großen deutschen Fernwärmenetzen ausmacht (AGFW e.V., 2019, S. 22).

Im Klimapaket 2030 der Bundesregierung wird ein Verbot von Ölheizungen ab 2026 angestrebt (Die Bundesregierung, o. J.). Das neue Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sieht vor, dass der Einbau neuer Ölheizungen grundsätzlich verboten ist. Es gibt jedoch weitgehende Ausnahmen, die vornehmlich darauf abzielen, dass ein Weiterbetrieb als Hybridheizung möglich bleibt und dass der Austausch auch dann nicht erfolgen muss, wenn er zu einem „unangemessenen Aufwand oder in sonstiger Weise zu einer unbilligen Härte führen“ würde (§ 72 Nr. 5) (Gebäudeenergiegesetz, 2020). Nicht ganz so eindeutig wie der Betrieb von Kohlekraftwerken ist damit aber auch bei Ölheizungen ein Signal gesetzt, dass es sich bei Ölheizungen grundsätzlich um eine Technologie handelt, deren Tage gezählt sind.

Für eine wirksame Wärmewende sind ordnungsrechtlich umzusetzende Exnovationsvorschriften aber noch deutlich auszuweiten. Mit Blick auf die normale Dauer des Betriebs von Heizungsanlagen von 20 bis 30 Jahren ist zur Erreichung des von der Bundesregierung wie auch der EU-Kommission vorgeblich gesetzten Ziels der Klimaneutralität bis 2050 ab sofort ein Verbot des Einbaus sämtlicher Heizungsanlagen erforderlich, für deren Betrieb keine am Markt in großen Mengen verfügbare Alternative zu fossilen Brennstoffen zur Verfügung steht.

In Innenstädten wäre eine Anschlusspflicht an regenerativ betriebene Fernwärmenetze ein wirksames Exnovationsinstrument. Es würde im Anschlussgebiet von Fernwärmenetzen verhindern, dass weitere Investitionen in nicht zukunftsfähige fossile Technologien durch die Gebäudeeigentümer erfolgen können. Eine Ausnahme könnte für bestimmte Formen der erneuerbaren Wärmeversorgung gemacht werden, sich aber ausdrücklich nicht auf Wärmequellen wie Power-to-X beziehen, deren Bereitstellung in großen Mengen gegenwärtig nicht sichergestellt ist.

Der Ordnungsrecht hat aber auch unabhängig von Vorschriften der Exnovation im Bereich der Gebäudeenergieversorgung Schwachstellen. So gab es In der EnEV seit 2009 Ausnahmen für bestimmte Verpflichtungen wie z.B. die Dämmung freiliegender Warmwasser- oder Heizungsrohre, der Keller- und obersten Geschossdecken sowie der Austausch über 30 Jahre alter Heizkessel für Gebäude mit maximal zwei Wohnungen, die schon 2002 vom aktuellen Besitzer bewohnt wurden (sog. „Omaregelung“). *„Dies trifft jedoch auf einen signifikanten Anteil der Ein- bis Zweifamilienhäuser zu. 35 Prozent der Eigenheimbesitzer sind über 65 Jahre alt“* (Tappeser & Chichowitz, 2017, S. 18). Und nicht nur die Ausnahmen stellen ein Problem dar. Eine im Jahr 2017 erstellte Auswertung von Daten zu über 60.000 Gebäuden ergab, dass in durchschnittlich 81,9% der Gebäude in Deutschland ein hydraulischer Abgleich nicht erfolgt war (CO<sub>2</sub>-Online, 2018). Es ist verwirrend, dass bereits 1978 in Folge der Ölkrise die „Verordnung über energiesparende Anforderungen an den Betrieb von heizungstechnischen Anlagen und Brauchwasseranlagen (HeizBetrV)“ verabschiedet wurde, deren § 4 zu den



„Pflichten des Betreibers heizungstechnischer oder Brauchwasseranlagen“ die regelmäßige Durchführung des hydraulischen Abgleichs in 8-jährigen Abständen vorschreibt (Bundesregierung, 1978). Bei ordnungsrechtlichen Vorschriften rund um die Gebäudeenergie hat Deutschland ganz offenbar ein Vollzugsproblem.

#### **Ein Ansatz zur Reduktion der Vollzugsdefizite**

Durch Ermächtigung der Schornsteinfeger dazu, einfache Sachverhalte zu überprüfen und verpflichtende, aber nicht durchgeführte energietechnische Maßnahmen anzumahnen bzw. der zuständigen Stelle zu melden, könnte das Vollzugsdefizit deutlich reduziert werden. Die Frage, ob die Dämmung freiliegender Warmwasser- oder Heizungsrohre, der Keller- und obersten Geschossdecken oder der hydraulische Abgleich durchgeführt wurde, ließe sich so einfach und flächendeckend beantworten und die säumige Umsetzung solcher Vorschriften könnte beschleunigt werden. Durch Inrechnungstellung der Prüfarbeiten beim Gebäudebesitzer wäre diese Art des Vollzugs für den Staat nicht mit kassenwirksamen Ausgaben verbunden.

### **6.2.2 Geothermie- und Abwärme-Risikofonds**

Trotz großer Potenziale schreitet die Erschließung der tiefen Geothermie kaum voran. Das zentrale Problem ist das Fündigkeitsrisiko. Zwar erklärt z.B. das BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2011, S. 17) den Begriff des Fündigkeitsrisikos und weist auch darauf hin, dass dieses Risiko bereits privatwirtschaftlich versichert wurde (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2011, S. 74), aber nur selten scheinen Versicherungen diese Risiken wirklich zu versichern. Unsicherheiten werden auch von Plan Energi in Dänemark als zentrales Hemmnis der Nutzung der tiefen Geothermie aufgeführt (Plan Energi, 2018).

Der Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW), der Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) und der Bundesverband Geothermie e.V. (BVG) betonen dennoch den notwendigen Beitrag der tiefen Geothermie zur Wärmewende und fordern eine entschlossene Lösung der eher ökonomischen als technischen Probleme (AGFW e.V., Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE), Verband kommunaler Unternehmen & Bundesverband Geothermie, 2019). Die Verbände empfehlen insbesondere eine verbesserte Absicherung geothermischer Projekte in der Anfangsphase der Investition. Dazu sei die Etablierung eines Wärmenetztransformationsfonds geeignet, dessen Mittel u.a. für die Reduzierung des Fündigkeitsrisikos oder zur Durchführung seismischer Messkampagnen eingesetzt werden sollten (AGFW e.V. et al., 2019).

Die Wirksamkeit eines solchen Fonds zeigen die Niederlande. Nachdem die niederländische Regierung ein Angebot der Absicherung des Fündigkeitsrisikos machte (Government of the Netherlands, 2020), wächst seit 2017 die Zahl der Projekte und die der zusätzlichen geothermischen Wärmequellen sprunghaft (Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, 2019, S. 42). In den Niederlanden

waren Anfang 2019 bereits 24 Anlagen mit 54 Quellen in Betrieb, bei einer Zunahme von 5 Anlagen mit insgesamt 12 Quellen allein in 2018 (Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, 2019, S. 41ff). Die Regelung der Versicherung legt fest, dass, je nach Bohrtiefe, Projektwerte von 11 Mio. € bis 18 Mio. € versichert werden können. Die Prämie liegt bei 7% der Versicherungssumme und der Eigenanteil wurde auf 5% des Gesamtrisikos festgelegt (Rijksdienst voor Ondernemend, 2019).

Ähnliche Vorschriften scheinen für die Versicherung der Aufwände zur Anbindung von Abwärmequellen an Wärmenetze sinnvoll. Analog zum Fündigkeitsrisiko in der Geothermie liegt hier ein Risiko in einem möglichen Konkurs des Unternehmens, dessen Abwärme genutzt werden soll. Und auch hier erscheint die Möglichkeit der Versicherung ein geeignetes Instrument zu sein, die Hemmschwellen zur Nutzung von Abwärmepotenzialen zu senken.

Ein Geothermie- und Abwärme-Risikofonds könnte durch den Bund oder einzelne Länder eingerichtet werden.

### 6.2.3 Erneuerbare-Energie-Anlagen-Planungs-Beschleunigungsgesetz

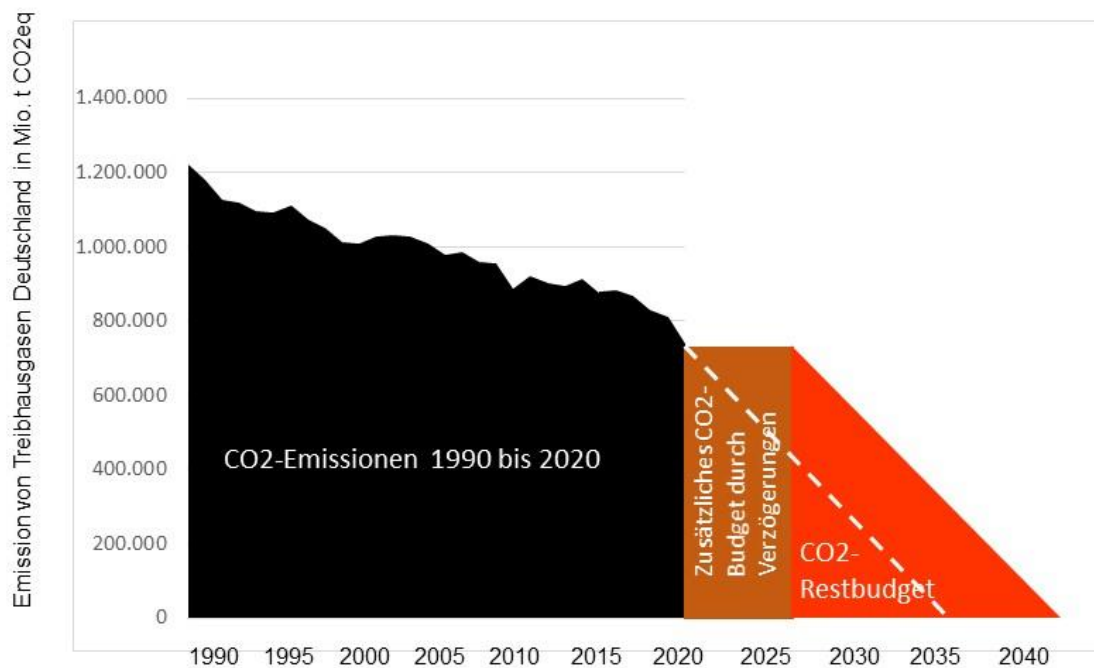
Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ stellte 1994 vier grundlegende Regeln auf, bei deren Missachtung sich die „Bedingungen für das Wirtschaften in Zukunft verschlechtern werden“ (Enquete Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt, 1994, S. 42). Regel vier lautet (Enquete Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt, 1994, S. 53):

*„Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muß im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen.“*

Als Begründung für die Notwendigkeit dieser Regel wird angeführt, dass die praktische Umweltpolitik und –gesetzgebung noch stark an statischen Grenzwertmodellen orientiert ist und die Orientierung am Zeitverhalten noch nicht aufgegriffen hat (Enquete Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt, 1994, S. 53). Die Kommission fokussiert dabei materielle Eingriffe in materielle Sachverhalte. Letztlich aber folgen diese Eingriffe aus institutionellem Vorgehen, also aus der Anwendung von Gesetzen und Verordnungen. Kümmerer betont, dass die Bewertung von technischen, ökonomischen, sozialen sowie politischen Maßnahmen implizit immer mit Zeiten verknüpft ist (Kümmerer, 2006, S. 30). So kann es in bestimmten Fällen vernünftig sein, menschliche Eingriffe in die Natur zu verlangsamen, um der Natur Zeit zur Anpassung zu lassen. An anderer Stelle mag eine Beschleunigung erforderlich sein.

Auch im Klimaschutz ist die Unangepasstheit der Zeitmaße ein Problem. Hier stellt es sich so dar, dass durch zahlreiche institutionelle Vorkehrungen in komplexen Genehmigungsprozessen auch Eingriffe zur Entlastung der Umwelt verzögert werden. Damit verhindern umweltrechtliche Vorschriften, die die Umwelt eigentlich schützen sollen, letztlich rasche Fortschritte im Umweltschutz.

**Abbildung 5: Fiktive Wirkung von institutionellen Verzögerungen auf das CO<sub>2</sub>-Budget**



Quelle: Borderstep

Nun ist die Verzögerung von Vorhaben durch institutionelle Regelungen kein neues Problem. Im Zuge des „Aufbaus Ost“ sorgte das Verkehrswegeplanungsbeschleunigungsgesetz (Die Bundesregierung, 1991) für den schnelleren Ausbau der Autobahnen. Hierzu traf es einige Regelungen:

- Klare Fristen für das Verwaltungshandeln (§§ 3 und 4)
- Die Beschränkung des Rechtsweges auf das Verwaltungsgericht und die Aufhebung der aufschiebenden Wirkung von Revision (§5)
- Vorschriften zu Enteignung (§7), Eigentum (§8) und Entschädigung (§ 9)

Es ist vermutlich an der Zeit, auch mit Blick auf zahlreiche notwendige neue, dem Klimaschutz dienende Anlagen, den Ablauf von Genehmigungsprozessen kritisch in Frage zu stellen. Die Geschwindigkeit des Wandels zu einer nicht-fossilen Gesellschaft ist auch der Deutschen Umwelthilfe zu gering, die die Bundesregierung mit einer Klimaklage zu raschem Handeln zwingen will (Deutsche Umwelthilfe, 2021). Diese Klage wird nun auch durch ein Unternehmen unterstützt. Das Unternehmen weist in einem Schreiben an das Gericht auf den Zusammenhang der Dauer von Genehmigungsprozessen und dem Eintritt der klimaschützenden Wirkung der geplanten Maßnahme deutlich hin (Vetter & Zwick, 2021) und fragt, angesichts hoher Anforderungen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie an die Zeitziele im Klimaschutz, warum von hiesigen Behörden Projekte, die den Klimawandel bekämpfen genauso behandelt würden wie Projekte, die die Erderwärmung beschleunigen (Wenzel, 2021).

Der Zusammenhang der Dauer von Genehmigungen mit ihren komplexen und aufwändigen Abläufen und der dadurch erfolgenden Verzögerung von Klimaschutzmaßnahmen wurde auch im Kontext der

Wärmewende in Hannover betont (von Meding, 2021). Dr. Volker Müller von den Unternehmerverbänden Niedersachsen e.V. (UVN) führte aus, die addierte Dauer von Genehmigungsverfahren und Bauzeit von Ersatzanlagen mache einen beschleunigten Ausstieg auf der Kohle in nur fünf Jahren unmöglich (von Meding, 2021 Min. 41:40).

Die Beschleunigung von Abläufen der Anlagengenehmigung ist politisch nicht unproblematisch, da die Geschwindigkeit der Erreichung gesellschaftlicher und überlebenswichtiger Klimaziele gegen die Rechte Einzelner abgewogen werden muss. Zwar wertete das Bundesverfassungsgericht (BVerfG, 2021) die Bedeutung des Klimaschutzes relativ zu anderen Rechtsgütern deutlich auf, dennoch sollte die Beschleunigung von Genehmigungsprozessen aus Sicht der Politik zunächst mit möglichst niederschweligen Eingriffen vorangetrieben werden:

- Die Ausstattung von Genehmigungsbehörden und einschlägigen Verwaltungsgerichten mit Personal- und Sachmitteln sollte die unverzügliche Bearbeitung wesentlicher Vorhaben mit Auswirkung auf den Klimaschutz ermöglichen.
- Durch Leitfäden und Handlungsanweisungen sollte die Einholung von Gutachten und anderen aufwendigen Recherchen wo immer möglich verzichtbar gemacht werden.

Auch die Begleitung von Vorhaben durch Maßnahmen der Akzeptanzförderung in der Bevölkerung oder die Strategien zur Schaffung von Co-Benefits im direkten Umfeld geplanter Anlagen, wie dies z.B. von IÖW, IKEM & BBH (2020) im Feld der Windenergie beschrieben wird, bietet Perspektiven der Beschleunigung.

Letztlich sollte auch die Geschwindigkeit von Planungs- und Genehmigungsvorhaben engmaschig beobachtet und ggf. wirksamere Maßnahmen auch mit stärkerer Einschränkung der Recht Einzelner in Erwägung gezogen werden.

#### 6.2.4 Energetische Sanierungsgebiete

Millionen von Gebäuden müssen für eine nicht-fossile Beheizung umgebaut werden. Dies Vorhaben auf Förderungen aufzubauen, die Umsetzung aber Millionen von Hausbesitzenden zu überlassen, scheint wenig aussichtsreich.

Rath und Ekardt (2021) schlagen daher vor, den schlechten Sanierungszustand von Gebäudebeständen als „städtebaulichen Missstand“ einzustufen und diesen mit mangelndem Klimaschutz zu begründen, was baurechtlich zulässig sei (Rath & Ekardt, 2021, S. 18). Im Rahmen einer städtebaulichen Sanierungsmaßnahme können Bau- und Ordnungsmaßnahmen nach §§ 146f BauGB ergriffen werden. „Die Baumaßnahmen eröffnen die Möglichkeit zur Errichtung oder Erweiterung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung, § 148 Abs. 2 BauGB“ (Rath & Ekardt, 2021, S. 18).

Die politische Herausforderung „energetischer Sanierungsgebiete“ dürfte in den extrem hohen Kosten flächendeckender Sanierungsmaßnahmen für eine große Zahl von Gebäuden liegen. Mit Blick auf eine möglichst rasche Transformation bieten sie aber auch die Chance, auf einer großen Zahl von

Baustellen in enger Nachbarschaft Arbeiten effizienter und damit schneller zu erledigen. Auch die Verfahren der seriellen Sanierung könnten in diesem Kontext ein Potenzial bieten, wenn sie denn durch Bundesregierung sowie die eher wenig innovative weil extrem gut ausgelastete Baubranche überhaupt zur Einsatzreife gebracht werden (Clausen, 2021).

## 7 Zentrale Infrastrukturen transformieren

Infrastrukturen sind für jede Form der leitungsgebundenen Wärmeversorgung von hoher Bedeutung. Für einige Jahre sind dies noch die Gas-Verteilnetze. In Zukunft werden Fernwärmenetze, aber Netze für Nahwärme in Quartieren eine hohe Bedeutung erreichen. Eine weitere Infrastruktur sind große KWK-Anlagen als Quellen für Fernwärme und Strom, die in Zukunft besonders in Engpasssituationen wichtig sein werden und deren Funktion in der Wärmeversorgung sich gegenwärtig ändert.

### 7.1 Maßnahmenpaket grüne Fernwärme

Wenn Fernwärme in der Wärmewende eine zentrale Funktion erfüllen soll, dann müssen eine Reihe von Regeln geändert werden, die sich für den Fernwärmeausbau in den letzten Jahren als hinderlich erwiesen haben.

Der Rechtsrahmen zum Schutz der **Verbraucherinteressen** ist weiter zu entwickeln. Der Bundesverband der Verbraucherzentralen konstatiert monopolartige Strukturen, verbraucherunfreundliche Geschäftsbedingungen und mangelnde Preistransparenz und fordert einen besseren Verbraucherschutz (Verbraucherzentrale Bundesverband, 2016). Der Blick nach Dänemark zeigt dort die Verpflichtung, Fernwärmeversorger grundsätzlich gemeinnützig zu organisieren (Clausen & Beucker, 2019b). In Schweden gibt es eine Zentralstelle, bei der Beschwerden über überhöhte Preise vorgebracht werden können (Clausen & Beucker, 2019a). Gerade mit Blick auf eine aus ökologischen Gründen vermutlich sinnvolle, wenn nicht sogar unvermeidliche Ausweitung der Gebiete mit Anschluss- und Benutzungszwang, ist es notwendig, den latenten Verdacht des Missbrauchs der Monopole durch überhöhte Preise vorsorgend auszuräumen und Mechanismen einer wirksamen Preiskontrolle einzuführen (Agora Energiewende, 2019, S. 23).

Durch die Errechnung von **Primärenergiefaktoren (PEF)** wird die Effizienz des Energiesystems an verschiedenen Stellen gemessen. Wird ein Gebäude geplant, so kann ein Effizienz-Zielwert alternativ durch höhere Gebäudeeffizienz oder den Bezug von Wärme mit einem niedrigeren PEF erreicht werden. Ein niedriger PEF des Wärmeangebots senkt so effektiv Baukosten, da durch die Wahl eines Primärenergieträgers, die sich nicht auf die Investitions- sondern auf die Betriebskosten auswirkt, höhere Investitionskosten für eine bessere Dämmung o.ä. vermieden werden können. Für Erdgas wird z.B. pauschal angenommen, dass 10% der Energie in der Bereitstellungskette verloren gehen, was zu einem PEF für Erdgas von 1,1 führt (DIN 18599). Bei Fernwärme aus KWK ist mit Blick auf den parallel erzeugten Strom ein PEF-Wert von 0,7 ausgehandelt worden. Am Gebäude erzeugte solare Wärme oder Umweltwärme stehen dem Gebäude zu 100% zur Verfügung, der PEF beträgt 1,0. Sonnenwärme wird also aufgrund einer wenig zielführenden mathematischen Logik als weniger effizient als KWK eingeordnet. Aufgrund der aus Sicht des Klimaschutzes offensichtlichen Unsinnigkeit des Systems, existieren verschiedene Vorschläge, das System der PEF abzuschaffen und durch eine Bewertung der spezifischen Emission von Treibhausgasen zu ersetzen (Agora Energiewende, 2019, S. 24).

Besondere Nachteile bietet das System unter Gesichtspunkten des freien Marktes. So wäre z.B. denkbar, dass der Betreiber eines Fernwärmenetzes mit anteiliger regenerativer Wärmezeugung den regenerativ erzeugten Anteil an interessierte Kunden zu einem etwas höheren Preis verkauft und ihnen dafür einen – im Falle der Änderung des Berechnungsverfahrens - günstigeren PEF zuweist (Agora Energiewende, 2019, S. 25). Dies ist aber nicht zulässig. Alle Wärmelieferungen aus einem Wärmenetz müssen mit dem gleichen PEF-Wert abgegeben werden (Agora Energiewende, 2019, S. 25). Wäre dies im Stromnetz entsprechend geregelt, wäre ein Handel mit grünem Strom unmöglich.

Zumindest das **Förderprogramm** für innovative KWK scheint mit Blick auf eine Wärmewende hin zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung wenig zielführend. So verbinden die Ausschreibungen für innovative KWK (iKWK) die Förderung von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Wärme bindend mit der Errichtung von meist fossil betriebenen KWK-Anlagen, was nicht mehr zeitgemäß erscheint (Agora Energiewende, 2019, S. 25).

Mangeln tut es weiter an einem **Transformationsprogramm für Bestandswärmenetze**, mit denen der aufwendige Ausbau neuer Wärmequellen insbesondere für diejenigen Wärmenetze unterstützt wird, die aufgrund des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes solche neuen Wärmequellen zwingend erschließen müssen. Der Kompromiss der Kohlekommission (Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung, 2019) sieht zwar hohe Ausgleichszahlungen für die Betreiber großer Braunkohlekraftwerke ohne Fernwärmenutzung vor, die Betreiber kleiner Kohlekraftwerke, die in KWK betrieben werden, sollen sich dagegen an einem Bieterverfahren beteiligen, bei dem diejenigen, die am schnellsten Aussteigen, die höchsten Zahlungen bekommen werden. Mit Blick auf die Zeit, die die Errichtung neuer EE-Wärme-Anlagen brauchen wird, sind gerade Betreiber, die nicht rasch auf Erdgas umsteigen, systematisch benachteiligt. Weiter sollte erreicht werden, dass das in Vorbereitung befindliche „Bundesförderprogramm Effiziente Wärmenetze (BEW)“ (Pehnt, 2020), reichlich mit Mitteln ausgestattet wird, so dass es viele Formen der Low-Exergy Wärmegewinnung wie auch Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Wärmenetze wirksam fördern kann. Hierzu gehören im Rahmen von Netztransformationsplänen auch die notwendigen Maßnahmen an Kundenanlagen wie auch zur Steigerung der Energieeffizienz des Netzes (Agora Energiewende, 2019, S. 26)

Agora Energiewende schlägt weiter vor, dass den Netzbetreibern auferlegt wird, einen **Dekarbonisierungsplan** für die von ihnen betriebenen Fernwärmenetze zu erstellen (Agora Energiewende, 2019, S. 27). In Hamburg wird die Erstellung eines Dekarbonisierungsfahrplans den Wärmeversorgungsunternehmen bereits in § 10 des Hamburgischen Klimaschutzgesetzes vorgeschrieben (Hansestadt Hamburg, 2020).

## 7.2 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz und Vorhaltepflcht von KWK-Anlagen

Die Förderbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung führten in den letzten Jahren dazu, dass KWK-Anlagen sich als deutlich wirtschaftlichere Investitionen darstellten als Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Wärme. Viele Investitionsentscheidungen fielen daher zugunsten von KWK-Anlagen aus, von denen die Mehrzahl mit fossilen Energieträgern betrieben wird (Agora Energiewende, 2019, S. 23).

Im Zuge der Transformation zu einer Versorgung mit erneuerbarer Wärme müssen die Anreize des KWKG so verändert werden, dass fossile KWK-Anlagen deutlich weniger betrieben werden und primär stromgeführt gesteuert werden. Denn mit Blick auf Energiespeicherung und Spitzenlast ergeben sich für KWK-Anlagen veränderte Einsatzerfordernisse. Dies hängt mit der Netzstabilität im Stromnetz zusammen. Denn, wenn viele Wärmepumpen installiert werden, ist damit zu rechnen, dass in einer kalten Winterwoche alle diese Wärmepumpen gleichzeitig betrieben werden. Im Stromnetz nimmt dadurch die Höchstlast zu, jedes installierte Wärmepumpen-GW muss dabei teuer durch ein GW an gesicherter Erzeugungsleistung, im EE-Zeitalter also teurer Speicherkapazität, abgedeckt werden, denn die Jahresspitzenlast tritt jedes Jahr im Winter aufgrund von temperatursensitiver Last auf. In diesen Situationen wird – stromgeführt – der Einsatz von KWK weiter notwendig sein. Kurz und mittelfristig wird dieser Einsatz nur mit fossilen Energien möglich sein, langfristig sollte „grünes Gas“ eingesetzt werden.

Die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen dürfte in Zukunft durch zwei Entwicklungen gefährdet werden:

- durch die Notwendigkeit, die Nutzung fossiler Brennstoffe und damit die „fossilen“ Betriebsstunden der KWK weitestgehend zu reduzieren,
- langfristig aber auch aufgrund der zu erwartenden hohen Preise für grünes Gas (Perner et al., 2018, S. 46).

Es ergibt sich das Folgeproblem, dass die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen in einem solchen Szenario kaum gegeben sein dürfte. Um vom Systemnutzen der KWK zur Stabilisierung der Strom- und Wärmeversorgung in kalten Winterzeiten weiter zu profitieren wird es daher notwendig sein, eine mit einer finanziellen Ausgleichsregelung verbundene Vorhaltepflcht festzulegen.

Die Verantwortung für die Änderung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes liegt bei der Bundesregierung.



## 8 Wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Aspekte

Die Wärmewende ist ein Gesamtprojekt, welches die Sanierung eines großen Anteils aller Gebäude inklusive der Umstellung der Heizungssysteme erfordert und zusätzlich in bisher unbekanntem Ausmaß neue, bisher nicht bzw. kaum erschlossene Quellen regenerativer Low Exergy-Wärmequellen umfasst. Die gesamten Pfadwechselkosten können sich bis zur Mitte des Jahrhunderts auf über 1,5 Billionen € belaufen und damit die Größenordnung des deutschen Bruttoinlandsproduktes von ca. 5 Monaten erreichen<sup>5</sup>. Von dieser gigantischen Summe abzuziehen sind alle Einsparungen, wie z.B. sinkende Kosten für den Import fossiler Energien, und alle ohnehin notwendigen Ausgaben, z.B. für den Austausch von Heizungsanlagen, Fenstern oder Gebäudebauteilen, die das Ende ihrer Lebensdauer ohnehin erreicht haben. Dennoch dürfte eine bisher kaum vorstellbar hohe Summe zu finanzieren sein.

Zur Mobilisierung der notwendigen, riesigen Ressourcen leisten verschiedene der bereits aufgeführten Instrumente Beiträge:

- Durch den CO<sub>2</sub>-Preis und die dadurch finanzierte Absenkung der EEG-Umlage werden bestimmte Investitionen in Sektorkopplung wirtschaftlich, die dann im Rahmen der normalen wirtschaftlichen Tätigkeit und ohne zusätzlichen Förderbedarf finanziert und durchgeführt werden können.
- Durch die steuerliche Absetzbarkeit bestimmter Sanierungsvorhaben von Eigenheimbesitzern werden seit Anfang 2020 Kosten anteilig durch die öffentliche Hand getragen (Bundesministerium der Finanzen, 2020). Auch die geplanten Konjunkturlieferprogramme im Kontext der Corona-Krise könnten Beiträge leisten (Koalitionsausschuss der Bundesregierung, 2020).
- Durch gezielte Förderprogramme des Bundes und der Länder können anteilig Kosten einzelner Technologien bzw. Maßnahmen durch die öffentliche Hand übernommen und so Kosten umverteilt werden.
- Durch gezielte Förderung von kostensenkenden Innovationen wie z.B. das serielle Sanieren können die Pfadwechselkosten gesenkt werden, was den Finanzierungsbedarf senkt.

Das BMWi-Gutachten von Prognos (Prognos AG, 2020, S. 100) schlägt zusätzlich eine Wärmeumlage nach dem Vorbild des EEG vor:

*„Ergänzend zum CO<sub>2</sub>-Preis im Nicht-ETS-Sektor ist die Einführung einer Wärmeumlage denkbar. In Anlehnung an das EEG könnte damit im Wärmebereich die Erzeugung von erneuerbarer Wärme gefördert werden. Die notwendige Mittel könnten haushaltsunabhängig*

---

<sup>5</sup> In Deutschland gibt es ca. 40 Mio. Wohnungen. Setzt man die Kosten für erste Schritte einer energetischen Sanierung und den Umbau des Heizungssystems auf nur 40.000 € pro Wohnung an, also einen Wert, den das serielle Sanieren vielleicht in einigen Jahren erreichen könnte (Clausen, 2021), ergeben sich Gesamtkosten in der Größenordnung von 1,6 Bio. €.

*über eine Wärmeumlage aufgebracht werden. Im Vergleich zu heute ergäbe sich mehr Spielraum für die Ausgestaltung der Förderung. Diese könnte z. B. bei einzelnen Technologien in Form einer Betriebsbeihilfe, statt der heute üblichen Investitionskostenzuschüsse, ausgezahlt werden. Neben dezentralen Wärmeerzeugern könnten mit den Einnahmen der Wärmeumlage auch größere Projekte zur Nutzung von unvermeidbarer Abwärme und erneuerbaren Energien zur Nah- und Fernwärmeerzeugung gefördert werden.“*

Ohne dass an dieser Stelle wirklich Klarheit über die Gesamtkosten besteht oder auch nur bestehen könnte kann festgestellt werden, dass erhebliche Finanzmittel in Bewegung gebracht werden müssen. Diese werden Privatpersonen wie auch staatliche Haushalte in erheblichem Umfang belasten.

Dabei sollte die Wirtschaftspolitik nicht vergessen, dass die enormen Summen für Investitionen in Gebäudesanierungen wie auch in wärmetechnische Anlagen sich auch in Einnahmen der entsprechenden Anbieter niederschlagen und so zu zusätzlichem Umsatz und neuen Arbeitsplätzen führen. Zu erheblich wachsenden wirtschaftlichen Aktivitäten und hohen Umsätze könnte es in folgenden Bereichen kommen (Clausen & Fichter, 2020a, S. 8ff):

- dem Bau und Ausbau von Fernwärmenetzen,
- der Errichtung von tiefegeothermischen Anlagen,
- der Errichtung von solarthermischen Großanlagen,
- dem Bau von großen Saisonspeichern,
- der Sanierung von Gebäuden.

In einigen Bereichen wird es auch notwendig sein, durch Forschung und Entwicklung vorhandene, aber noch nicht serienreife Lösungen, zu verbessern oder in Bezug auf die Herstellung großer Stückzahlen zu optimieren. Auch Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen werden in einigen Bereichen der Förderung bedürfen.

Mit Blick auf die Möglichkeit, eine hohe Zahl von Erdwärmepumpen zu errichten, dürfte eine Ausbildungsoffensive für Brunnenbauer und Tiefbohringenieure erforderlich sein, damit genügend Fachkräfte verfügbar sind (Bundesverband Geothermie e.V., 2019). Die Ausbildungsoffensive ist aber auch für das Installationsgewerbe wichtig, um durch optimale Installation der Wärmepumpen und deren wirksame Integration in die Haustechnik die Voraussetzungen für die Realisierung hoher Jahresarbeitszahlen zu schaffen. Parallele Anstrengungen dürften erforderlich sein, um der wachsenden Baubranche für hochtechnisierte Produktionsverfahren der industriellen Sanierung geeignete Fachkräfte zur Verfügung stellen zu können.

Gerade private Hausbesitzer investieren oft nicht, wenn es wirtschaftlich ist, sondern erst, wenn es ihnen ihre Liquidität gestattet. Abgesehen von der Notwendigkeit den Investitionsdruck durch sich ändernde Rahmenbedingungen zu erhöhen, kann es hilfreich sein, wenn kapitalstarke Unternehmen kostenintensive Maßnahmen als Contracting, Leasing, Pay-per-Use oder in Form vergleichbarer innovativer Geschäftsmodelle des Nutzenverkaufs anbieten (Gotsch, 2016). Bereits heute sind solche Angebote vorhanden, z.B. bewirbt in Hannover die enercity AG ihr Angebot, eine Wärmepumpe ohne

eigenen Investitionsaufwand des Kunden zu installieren und über 10 oder 15 Jahre zu transparenten und kalkulierbaren Kosten zu nutzen (enercity, 2019). Über Verkaufszahlen liegen aber gegenwärtig keine Informationen vor.

## 9 Quellen

- AGEB. (2020). *Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2019 (Stand September 2020)*. Münster. Zugriff am 26.4.2021. Verfügbar unter: [energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html](http://energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html)
- AGEB. (2021). *Energieverbrauch in Deutschland Daten für das 1. bis 4. Quartal 2020*. Münster. Zugriff am 27.4.2021. Verfügbar unter: <https://www.ag-energiebilanzen.de/>
- AGFW e.V. (2014). *Transformationsstrategien Fernwärme TRAF0 - Ein Gemeinschaftsprojekt von ifeu-Institut, GEF Ingenieur AG und AGFW*. Frankfurt am Main: Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW). Zugriff am 1.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.eneff-stadt.info/fileadmin/media/Publikationen/Dokumente/Endbericht\\_Transformationsstrategien\\_FW\\_IFEU\\_GEF\\_AGFV.pdf](http://www.eneff-stadt.info/fileadmin/media/Publikationen/Dokumente/Endbericht_Transformationsstrategien_FW_IFEU_GEF_AGFV.pdf)
- AGFW e.V. (2019). *AGFW Hauptbericht 2018*. Frankfurt. Zugriff am 2.4.2020. Verfügbar unter: [https://www.agfw.de/index.php?eID=tx\\_securedownloads&p=436&u=0&g=0&t=1585902298&hash=596aa482e755342c07542554f54dc4552be13df8&file=fileadmin/user\\_upload/Zahlen\\_und\\_Statistiken/Version\\_1\\_HB2018.pdf](https://www.agfw.de/index.php?eID=tx_securedownloads&p=436&u=0&g=0&t=1585902298&hash=596aa482e755342c07542554f54dc4552be13df8&file=fileadmin/user_upload/Zahlen_und_Statistiken/Version_1_HB2018.pdf)
- AGFW e.V., Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE), Verband kommunaler Unternehmen & Bundesverband Geothermie. (2019). *Voraussetzungen für eine Beschleunigung der Wärmewende und effizienten Klimaschutz durch die Nutzung von Geothermie in Fernwärmenetzen*. Zugriff am 12.1.2020. Verfügbar unter: [https://www.vku.de/fileadmin/user\\_upload/Verbandsseite/Landingpages/Geothermie/Impulspapier\\_Geothermie\\_AGFV\\_VKU\\_BEE\\_BVG.pdf](https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Landingpages/Geothermie/Impulspapier_Geothermie_AGFV_VKU_BEE_BVG.pdf)
- Agora Energiewende. (2019). *Wie werden Wärmenetze grün?*. Berlin. Zugriff am 3.2.2020. Verfügbar unter: [https://www.agora-energieswende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Waermentetze/155\\_Waermentetze\\_WEB.pdf](https://www.agora-energieswende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Waermentetze/155_Waermentetze_WEB.pdf)
- B E T Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH. (2019). *Machbarkeitsstudie Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030*. Aachen. Zugriff am 21.2.2020. Verfügbar unter: [https://www.berlin.de/senuvk/klimaschutz/kohleausstieg/download/MBS\\_Berlin\\_Endbericht.pdf](https://www.berlin.de/senuvk/klimaschutz/kohleausstieg/download/MBS_Berlin_Endbericht.pdf)
- BNetzA & BKartA (Hrsg.). (2021). *Monitoringbericht 2020*. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt. Zugriff am 24.4.2021. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Monitoringbericht\\_Energie2020.pdf;jsessionid=D55943FAF6C7FE437C6657BBB7D6D25B?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Berichte/2020/Monitoringbericht_Energie2020.pdf;jsessionid=D55943FAF6C7FE437C6657BBB7D6D25B?__blob=publicationFile&v=8)
- Bundesministerium der Finanzen. (2020, Februar 2). *Verordnung zur Bestimmung von Mindestanforderungen für energetische Maßnahmen bei zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden nach § 35c des Einkommensteuergesetzes (Energetische Sanierungsmaßnahmen-Verordnung – ESanMV)*. Zugriff am 26.1.2020. Verfügbar unter: [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Gesetzestexte/Gesetze\\_Gesetzesvorhaben/Abteilungen/Abteilung\\_IV/19\\_Legislaturperiode/Gesetze\\_Verordnungen/2020-01-07-ESanMV/0-Verordnung.html](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Gesetzestexte/Gesetze_Gesetzesvorhaben/Abteilungen/Abteilung_IV/19_Legislaturperiode/Gesetze_Verordnungen/2020-01-07-ESanMV/0-Verordnung.html)

- Bundesnetzagentur. (2019). Wie setzt sich der Strompreis zusammen? Zugriff am 10.1.2020. Verfügbar unter:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Verbraucher/PreiseUndRechnungen/WieSetztSichDerStrompreisZusammen.html>
- Bundesrechnungshof. (2021). *Bericht nach § 99 BHO zur Umsetzung der Energiewende im Hinblick auf die Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit bei Elektrizität*. Bonn. Zugriff am 7.4.2021. Verfügbar unter:  
<https://www.bundesrechnungshof.de/de/veroeffentlichungen/produkte/sonderberichte/langfassungen-ab-2013/2021/umsetzung-der-energiewende-im-hinblick-auf-die-versorgungssicherheit-und-bezahlbarkeit-bei-elektrizitaet-pdf>
- Bundesregierung. (1978, September 22). *Verordnung über energiesparende Anforderungen an den Betrieb von heizungstechnischen Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsbetriebsverordnung - HeizBetrV -)*. Zugriff am 18.12.2015. Verfügbar unter: [http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Archiv/HeizBetrV/Download/HeizBetrV.pdf;jsessionid=14E4E2852FB51503610FF25AA693D451.live1041?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Archiv/HeizBetrV/Download/HeizBetrV.pdf;jsessionid=14E4E2852FB51503610FF25AA693D451.live1041?__blob=publicationFile&v=1)
- Bundesverband Geothermie e.V. (2019). *Mit Geothermie den Wärmemarkt revolutionieren – frei von Öl und Gas bis 2030*. Berlin. Zugriff am 1.1.2020. Verfügbar unter:  
[https://www.geothermie.de/aktuelles/nachrichten/news-anzeigen/news/mit-geothermie-effizient-klimaschutz-betreiben.html?tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=9f384c6306151f502dd58e91c72f0fd7](https://www.geothermie.de/aktuelles/nachrichten/news-anzeigen/news/mit-geothermie-effizient-klimaschutz-betreiben.html?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=9f384c6306151f502dd58e91c72f0fd7)
- BVerfG. (2021). *Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021 - 1 BvR 2656/18 -, Rn. 1-270*. Karlsruhe: Bundesverfassungsgericht. Zugriff am 1.5.2021. Verfügbar unter:  
[http://www.bverfg.de/e/rs20210324\\_1bvr265618.html](http://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html)
- Carbon Pricing Leadership Council. (2019). Carbon Pricing Leadership Council. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.carbonpricingleadership.org/>
- Clausen, J. (2012). *Kosten und Marktpotenziale ländlicher Wärmenetze*. Hannover: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 26.1.2016. Verfügbar unter:  
[http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen-Kosten\\_-laendliche\\_-Waermenetze-2012.pdf](http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen-Kosten_-laendliche_-Waermenetze-2012.pdf)
- Clausen, J. (2019a). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Elektromobilität Norwegen*. Berlin: Borderstep Institut.
- Clausen, J. (2019b). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen Fallbeispiel Stromversorgung Deutschland*. Berlin: Borderstep Institut.
- Clausen, J. (2020a). *Regenerative Wärmequellen. Wärmepotentiale zur Versorgung der Landeshauptstadt Hannover*. Berlin: Borderstep Institut.
- Clausen, J. (2020b). *Transformation der Wärmeversorgung. Policy Paper*. Berlin und Hannover: Borderstep Institut.
- Clausen, J. (2021). *Digitalisierung der Produktion. Elektroautos und serielles Sanieren - CliDiTrans Werkstattbericht*. Berlin: Borderstep Institut.

- Clausen, J., Benne, M. & Hinterholzer, S. (2021). *Wärmeplanung als Instrument der Wärmewende. Digitale Unterstützung als Schlüssel zur Verbreitung in der Verwaltung. CliDiTrans Werkstattbericht*. Berlin: Borderstep Institut.
- Clausen, J. & Beucker, S. (2019a). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Wärmeversorgung Schweden*. Berlin.
- Clausen, J. & Beucker, S. (2019b). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Wärmeversorgung Dänemark*. Berlin: Borderstep Institut. Zugriff am 20.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/06/W%C3%A4rmeversorgung-Daenemark-Go-19-6-2019.pdf>
- Clausen, J. & Fichter, K. (2020a). *Transformation der Wärmeversorgung. Politisches Instrumentarium und Wachstumspotenziale*. Berlin, Hannover: Borderstep Institut.
- Clausen, J. & Fichter, K. (2020b). *Governance radikaler Systemtransformationen. Wirkung politischer Strategien und Instrumente in der Transformation großer Versorgungssysteme*. Berlin: Borderstep Institut.
- Clausen, J. & Hinterholzer, S. (2017). *Versorgung von Gebäuden mit Wärme aus erneuerbaren Energien. Inputpapier aus dem Projekt Evolution2Green Transformationspfade zur Green Economy: den Pfadwechsel gestalten*. Berlin.
- Clausen, J. & Olteanu, Y. (2019). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Sikkim Organic Mission*. Berlin: Borderstep Institut.
- Clausen, J. & Warnecke, N. (2019). *Governance radikaler Umweltinnovationen. Fallbeispiel Erneuerbare Wärme Baden-Württemberg*. Berlin: Borderstep Institut. Zugriff am 19.11.2019. Verfügbar unter: [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/09/Fallstudie-BaW%C3%BC\\_20190912.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/09/Fallstudie-BaW%C3%BC_20190912.pdf)
- Clausen, J., Warnecke, N. & Schramm, S. (2019). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Fahrradstadt Kopenhagen*. Berlin. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/06/Fahrradstadt-Kopenhagen-Go20-06-2019-1.pdf>
- CO2-Online. (2018). *Hydraulischer Abgleich – Daten für Deutschland*. Zugriff am 14.6.2018. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/hydraulischer-abgleich/hydraulischer-abgleich-daten-statistik/>
- Dena. (2018). *dena-Leitstudie Integrierte Energiewende*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Zugriff am 16.8.2019. Verfügbar unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261\\_dena-Leitstudie\\_Integrierte\\_Energiewende\\_lang.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf)
- Deutsche Energie-Agentur GmbH. (2017). *Seriell Sanieren von Mehrfamilienhäusern*. Berlin. Zugriff am 10.7.2018. Verfügbar unter: [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/bau/9247\\_2018\\_serielles\\_sanieren\\_deutschland-frankreich\\_de.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/bau/9247_2018_serielles_sanieren_deutschland-frankreich_de.pdf)
- Deutsche Umwelthilfe. (2020). *Grüne Fernwärme Klimafreundliche Alternativen zu Kohle und Erdgas*. Radolfzell. Zugriff am 9.4.2021. Verfügbar unter: [https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Projektinformation/Energiewende/201026\\_DUH\\_Positionspapier\\_Gruene-Fernwaerme.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energiewende/201026_DUH_Positionspapier_Gruene-Fernwaerme.pdf)

- Deutsche Umwelthilfe. (2021). *Klage auf Einhaltung der maximal zulässigen Treibhausgasemissionsmengen nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz und dem Klimaschutzplan 2050*. Berlin. Zugriff am 8.4.2021. Verfügbar unter: [https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Projektinformation/Klimaschutz/Klimaschutzgesetz/OVGGB\\_Klimaschutzgesetz\\_-\\_Sektor%C3%BCbergreifende\\_Klage\\_final.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Klimaschutz/Klimaschutzgesetz/OVGGB_Klimaschutzgesetz_-_Sektor%C3%BCbergreifende_Klage_final.pdf)
- Die Bundesregierung. (1991, Dezember 16). *Gesetz zur Beschleunigung der Planungen für Verkehrswege in den neuen Ländern sowie im Land Berlin (Verkehrswegeplanungsbeschleunigungsgesetz)*. Zugriff am 8.4.2021. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/verkpbg/VerkPBG.pdf>
- Die Bundesregierung. (2019). CO<sub>2</sub>-Bepreisung. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-bepreisung-1673008>
- Die Bundesregierung. (2020a, August 8). *Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze*. Zugriff am 27.10.2020. Verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&bk=Bundesanzeiger\\_BGBl&start=//\\*\[@attr\\_id=%27bgbl107s1519.pdf%27\]#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D\\_\\_1603811241858](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id=%27bgbl107s1519.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1603811241858)
- Die Bundesregierung. (2020b, August 8). *Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz)*. Zugriff am 7.4.2020. Verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&start=//\\*\[@attr\\_id=%27bgbl120s1818.pdf%27\]#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl120s1818.pdf%27%5D\\_\\_1617785468919](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id=%27bgbl120s1818.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1818.pdf%27%5D__1617785468919)
- Die Bundesregierung. (o. J.). Klimaschutzprogramm 2030. Zugriff am 2.4.2020. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578>
- Dittrich, B. (2021, April 22). SPD treibt Energiewende voran: Weniger Umlage, mehr Photovoltaik. *Vorwärts*.
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B. & Pahle, M. (2019). *Optionen für eine CO<sub>2</sub>-Preisreform*. Potsdam.
- enercity. (2019). *Preisblatt enercity Umweltwärme*. Hannover. Zugriff am 29.1.2020. Verfügbar unter: <https://www.enercity.de/infothek/downloads/broschueren/umweltwaerme/enercity-umweltwaerme-preisblatt.pdf>
- Engemann, P., Köhler, B., Meyer, R., Dengler, J., Herkel, S. & und 13 Weitere. (2021). *Systemische Herausforderung der Wärmewende*. Dessau-Roßlau. Zugriff am 25.4.2021. Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-26\\_cc\\_18-2021\\_waermewende.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-26_cc_18-2021_waermewende.pdf)
- Enquete Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt. (1994). *Die Industriegesellschaft gestalten: Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen ; Bericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Bewertungskriterien und Perspektiven für Umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft“ des 12. Deutschen Bundestages*. Bonn: Economica-Verl.
- Gebäudeenergiegesetz. (2020, November 1). *Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze (Gebäudeenergiegesetz - GEG)*. Zugriff am 1.11.2020. Verfügbar unter:

[https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBI&start=//\\*\[@attr\\_id=%27bgbl120s1728.pdf%27\]#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D\\_\\_1607595454543](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//*[@attr_id=%27bgbl120s1728.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1607595454543)

- Gerhards, C., Weber, U., Klafka, P., Golla, S., Hagedorn, G., Baumann, Franz et al. (2021). Klimaverträgliche Energieversorgung für Deutschland – 16 Orientierungspunkte / Climate-friendly energy supply for Germany—16 points of orientation. Zenodo.  
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.4409334>
- Gotsch, M. (2016). *Materialband 11: Nutzenverkauf in der Industrie. Umweltinnovationen und ihre Diffusion als Treiber der Green Economy*. Berlin. Zugriff am 24.8.2017. Verfügbar unter: [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/08/11\\_UBA-Materialband-Nutzenverkauf-PUB\\_final-2.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/08/11_UBA-Materialband-Nutzenverkauf-PUB_final-2.pdf)
- Government of the Netherlands. (2020). Government stimulates geothermal heat. Zugriff am 14.1.2020. Verfügbar unter: <https://www.government.nl/topics/renewable-energy/government-stimulates-geothermal-heat>
- Green Alliance. (2019). *Reinventing retrofit. How to scale up home energy efficiency in the UK*. London. Zugriff am 17.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.green-alliance.org.uk/reinventing\\_retrofit.php](https://www.green-alliance.org.uk/reinventing_retrofit.php)
- Hakenes, J. (2021). Fernwärme: Technik, Nutzung, Kosten und Alternativen. *CO2-Online*. Zugriff am 25.4.2021. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/heizung/fernwaerme/>
- Hanke-Rauschenbach, R. (2020, Oktober 7). Die Rolle von Wasserstoff bei der Defossilisierung des Energiesystems “ Vortrag im Rahmen des „Crashkurs Wärmewende. Gehalten auf der Crashkurs Wärmewende, Zoom. Zugriff am 24.10.2020. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/event/crashkurs-waermewende/>
- Hansestadt Hamburg. (2020, Februar 20). *Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas (Hamburgisches Klimaschutzgesetz - HmbKliSchG)*. Zugriff am 6.3.2020. Verfügbar unter: <http://www.landesrecht-hamburg.de/jportal/portal/page/bshaprod.psml?showdoccase=1&st=null&doc.id=jlr-KlimaSchGHA2020rahmen&doc.part=X&doc.origin=bs>
- Heidelberg Kohlefrei. (2020). *Energiewende Fernwärme für Heidelberg Vision für eine klimaverträgliche Fernwärmeversorgung in Heidelberg bis 2030*. Heidelberg. Zugriff am 29.3.2021. Verfügbar unter: [https://hd-kohlefrei.de/wp-content/uploads/2020/11/2020-11-01-Vision\\_kimaneutrale\\_Fernwaerme\\_HD.pdf](https://hd-kohlefrei.de/wp-content/uploads/2020/11/2020-11-01-Vision_kimaneutrale_Fernwaerme_HD.pdf)
- Heinrich Böll Stiftung. (2017). Aufbruchsstimmung für die Wärmewende Berlin. Zugriff am 6.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.boell.de/de/2017/11/14/aufbruchsstimmung-fuer-die-waermewende-berlin>
- ifo Institut. (2021). *Wirtschaftsbereiche: ifo Geschäftsklima und seine Komponenten. Excel-Datei*. München. Zugriff am 19.3.2021. Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/node/61819>
- IÖW, IKEM & BBH. (2020). *Finanzielle Beteiligung von betroffenen Kommunen bei Planung, Bau und Betrieb von erneuerbaren Energieanlagen (FinBEE)*. Berlin. Verfügbar unter: [https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Publikationen/2020/FinBEE\\_Bericht\\_WEA\\_09092020.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2020/FinBEE_Bericht_WEA_09092020.pdf)



- Jänicke, M. (2012). *Megatrend Umweltinnovation zur ökologischen Modernisierung von Wirtschaft und Staat*. München: Oekom.
- Kivimaa, P. & Kern, F. (2016). Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy*, 45(1), 205–217.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>
- Koalitionsausschuss der Bundesregierung. (2020). *Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken Ergebnis Koalitionsausschuss 3. Juni 2020*. Berlin. Zugriff am 8.6.2020. Verfügbar unter:  
[https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/2020-06-03-eckpunktepapier.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/2020-06-03-eckpunktepapier.pdf?__blob=publicationFile&v=9)
- Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung. (2019). *Abschlussbericht Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“*. Berlin.
- Kümmerer, K. (2006). Vielfalt der Zeiten in Natur und Kultur - ein komplexes Wechselspiel. *Zeitvielfalt: wider das Diktat der Uhr*. Stuttgart: Hirzel.
- Mattauch, L., Creutzig, F., aus dem Moore, N., Francks, M. & Funke, F. (2020). *Antworten auf zentrale Fragen zur Einführung von CO<sub>2</sub>-Preisen (Version 2.0)*. Berlin. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: <https://zenodo.org/record/3644498#.XnIT8bi1TVM>
- von Meding, K. (2021). *HAZ-Forum: „Früher abschalten oder nicht? Wie geht es mit dem Kraftwerk in Stücken Weiter?“* Hannover. Zugriff am 8.4.2021. Verfügbar unter:  
<https://www.youtube.com/watch?v=mq2EHN3fJKk>
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2021). *Kommunale Wärmeplanung. Handlungsleitfaden*. Stuttgart. Zugriff am 12.2.2021. Verfügbar unter:  
<https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/handlungsleitfaden-kommunale-waermeplanung/>
- Ministry of Economic Affairs and Climate Policy. (2019). *Natural Resources and Geothermal Energy in the Netherlands 2018. Annual review*. Den Haag. Zugriff am 12.3.2020. Verfügbar unter:  
<https://www.nlog.nl/en/annual-reports>
- Öko-Institut e.V. (2021). *Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland*. Berlin. Zugriff am 29.5.2021. Verfügbar unter: <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/Oeko-Institut-2021-Die-Wasserstoffstrategie-2.0-fuer-Deutschland.pdf>
- Pehnt, M. (2020). *Bundesförderprogramm Effiziente Wärmenetze (BEW)*. Heidelberg. Zugriff am 7.4.2021. Verfügbar unter: <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Pehnt-2020-BEW-AGFW.pdf>
- Perner, J., Unteutsch, M. & Lövenich, A. (2018). *Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe*. Köln. Zugriff am 10.1.2020. Verfügbar unter: [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/SynKost\\_2050/Agora\\_SynCost-Studie\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/SynKost_2050/Agora_SynCost-Studie_WEB.pdf)
- Plan Energi. (2018). *Technology Data For Energy Plants. Update of chapter45. Geothermal District Heating*. Slorping. Zugriff am 8.1.2020. Verfügbar unter:  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwjipoSYkvTmAhUM-zKQKHVMpD6QQFjAEegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fens.dk%2Fsites%2Fens.dk%2Ffiles%2FAnalyser%2Ftechnologydata\\_for\\_energy\\_plants\\_-\\_chapter\\_45\\_geothermal\\_dh.docx&usq=AOvVaw0qHGaP9OjozBlimsqBdYEB](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwjipoSYkvTmAhUM-zKQKHVMpD6QQFjAEegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fens.dk%2Fsites%2Fens.dk%2Ffiles%2FAnalyser%2Ftechnologydata_for_energy_plants_-_chapter_45_geothermal_dh.docx&usq=AOvVaw0qHGaP9OjozBlimsqBdYEB)

- Prognos AG. (2020). *Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050*. Basel. Zugriff am 2.4.2020. Verfügbar unter: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=8)
- Quaschnig, V. (2016). *Energiewende im Wärmebereich*. Berlin. Zugriff am 9.1.2020. Verfügbar unter: [https://www.youtube.com/watch?v=S4wx9P\\_bU3Q](https://www.youtube.com/watch?v=S4wx9P_bU3Q)
- Rath, T. & Ekardt, F. (2021). Kommunale Wärmewende: Bau- und kommunalrechtliche Handlungsoptionen. *ZNER*, (1), 12–22.
- Rijksdienst voor Ondernemend. (2019). *Regeling nationale EZ subsidies - Risico's dekken voor Aardwarmte*. Roermond.
- Schwinghammer, F. (2012). *Thermische Nutzung von Oberflächengewässern*. Freiburg i. Br. Zugriff am 29.3.2021. Verfügbar unter: [http://www.hydrology.uni-freiburg.de/abschluss/Schwinghammer\\_F\\_2012\\_MA.pdf](http://www.hydrology.uni-freiburg.de/abschluss/Schwinghammer_F_2012_MA.pdf)
- Somanathan, E., Sterner, T. & Sugiyama, T. (2014). National and Sub-national Policies and Institutions. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge UK.
- Statistisches Bundesamt (DESTATIS). (2021). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse*. Wiesbaden. Zugriff am 19.3.2021. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/inlandsprodukt-vorlaeufig-pdf-2180140.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/inlandsprodukt-vorlaeufig-pdf-2180140.pdf?__blob=publicationFile)
- Tappeser, V. & Chichowitz, L. (2017). *Wärmeenergieverbrauch und Sanierungsbedarf von Gebäuden. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin.
- Tecson. (2021). Heizöl Preisvergleich. *Tecson*. Zugriff am 24.4.2021. Verfügbar unter: <https://www.tecson.de/pheizoel.html>
- Umweltbundesamt. (2019). *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie*. Dessau-Roßlau. Zugriff am 30.12.2019. Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue\\_studie\\_cc\\_36-2019\\_wege\\_in\\_eine\\_ressourcenschonende\\_treibhausgasneutralitaet.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf)
- Verbraucherzentrale Bundesverband. (2016). *Fernwärme: Notwendige Reformen des Monopolssektors*. Berlin. Zugriff am 20.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Fernwaerme-Reformen-Monopolssektor-Positionspapier-vzbv-DMB-bne-2016-02-24.pdf>
- Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (2013). *Verbraucherinteressen in der Energiewende*. Berlin. Zugriff am 7.4.2021. Verfügbar unter: [https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Energiewende\\_Studie\\_lang\\_vzbv\\_2013.pdf](https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Energiewende_Studie_lang_vzbv_2013.pdf)
- Vetter, P. & Zwick, D. (2021, April 8). Affront gegen den Gönner – Tesla unterstützt Klage gegen Bundesregierung. *Die Welt*.
- VKU. (2018). *Kommunale Wärmende. Die Lösung liegt vor Ort!*. Berlin: Verband kommunaler Unternehmen. Zugriff am 23.12.2020. Verfügbar unter:

[https://www.vku.de/fileadmin/user\\_upload/180711\\_VKU\\_Broschuere\\_Waermewende\\_RZ-WEB.pdf](https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/180711_VKU_Broschuere_Waermewende_RZ-WEB.pdf)

Wenzel, F.-T. (2021, April 9). Ärger um Gigafactory: Tesla ist auf Krawallkurs. *Hannoversche Allgemeine Zeitung*, S. 11.