



Transformation der Wärmeversorgung

Politisches Instrumentarium und Wachstumspotenziale

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. (2020). Transformation der Wärmeversorgung. Politisches Instrumentarium und Wachstumspotenziale. Hannover, Berlin: Borderstep Institut.

Titelbild

Solarthermieanlage Dronninglund © Danish Energy Agency

Danksagung

Für wertvolle Hinweise danken wir Prof. Dr. Martin Jänicke, Dr. Florian Kern vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Thomas Stübke vom Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) und unserem Borderstep Kollegen Severin Beucker.

Zuwendungsgeber:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Innovations- und Technikanalyse (ITA)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Überblick über regenerative Wärmepotenziale	2
2.1	Ergebnisse mit Bezug auf das Fernwärmenetz	3
2.2	Ergebnisse für Gebäude außerhalb vom Fernwärmenetz	4
2.3	Der Weg zur Realisierung.....	6
3	Mögliche Governance Instrumente	8
3.1	Innovations- und Wirtschaftsförderung	8
3.1.1	Wirtschaftsförderung	8
3.1.2	Förderung von Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen	10
3.1.3	F&E-Förderung.....	10
3.1.4	Ausbildung im Handwerk und in der Baubranche.....	11
3.1.5	Beschaffungsgruppen	11
3.1.6	Entwicklung von Contracting.....	12
3.2	Spezifische Instrumente.....	12
3.2.1	Maßnahmenpaket grüne Fernwärme	13
3.2.2	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz und Vorhaltepflcht von KWK-Anlagen	14
3.2.3	Geothermie-Risikofonds.....	15
3.2.4	Doppelte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen	16
3.3	Transformative Rahmenbedingungen	17
3.3.1	CO ₂ -Bepreisung.....	17
3.3.2	Der Strompreis und seine Komponenten	18
3.3.3	Ordnungsrecht und Exnovationsinstrumente	18
3.3.4	Ressourcenbereitstellung	19
3.3.5	Wärmeplanung und Wärmekataster der Kommunen.....	20
4	Der Einsatz der Instrumente durch die Governance-Ebenen	23
5	Fazit.....	27
5.1	Kernergebnisse	27
5.2	Versuch der Einordnung in die umweltpolitische Forschung	29
6	Quellen.....	31

1 Einleitung

Nachhaltige Entwicklung erfordert einen veränderten Umgang mit natürlichen Ressourcen und stellt hohe Anforderungen an die Leistungs- und Transformationsfähigkeit von Volkswirtschaften. Aus den ambitionierten Zielen ergibt sich die Notwendigkeit, umweltpolitische Erfordernisse mit innovationspolitischen Fragestellungen zu verknüpfen.

Die Zielsetzung des Borderstep-Projektes „Governance radikaler Umweltinnovationen (Go)“ besteht 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 & Warncke, 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, 2020): Schaffung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit, Innovationspolitik und Nischenentwicklung, Synchronisation von Diffusion und Exnovation sowie Infrastrukturentwicklung.

Die Anwendung dieser Strategien muss zum einen auf ein konkretes Ziel gerichtet sein, über das ein möglichst hoher Grad von Konsens bestehen sollte. Für die Wärmeversorgung besteht dies Ziel generell in der Transformation von fossilen zu regenerativen Wärmequellen und konkret in einer schnellen Diffusion der in Kapitel 2 aufgeführten Technologien zur Gewinnung von Wärme.

Zur Förderung der Verbreitung erneuerbarer Wärmetechnologien wie auch für das Zurückdrängen der Nutzung fossiler Energieträger stehen den staatlichen und privaten Akteuren der Transformation zahlreiche Instrumente zur Verfügung. Diese setzen zum Ersten darauf, ein Angebot zuverlässiger regenerativer Wärmequellen zu schaffen (Kapitel 3.1), zum Zweiten sind sie für die Verbreitung spezifischer Lösungen von hoher Bedeutung (Kapitel 3.2) und zum Dritten verändern sie grundsätzliche Rahmenbedingungen zugunsten regenerativer Energieformen (Kapitel 3.3).

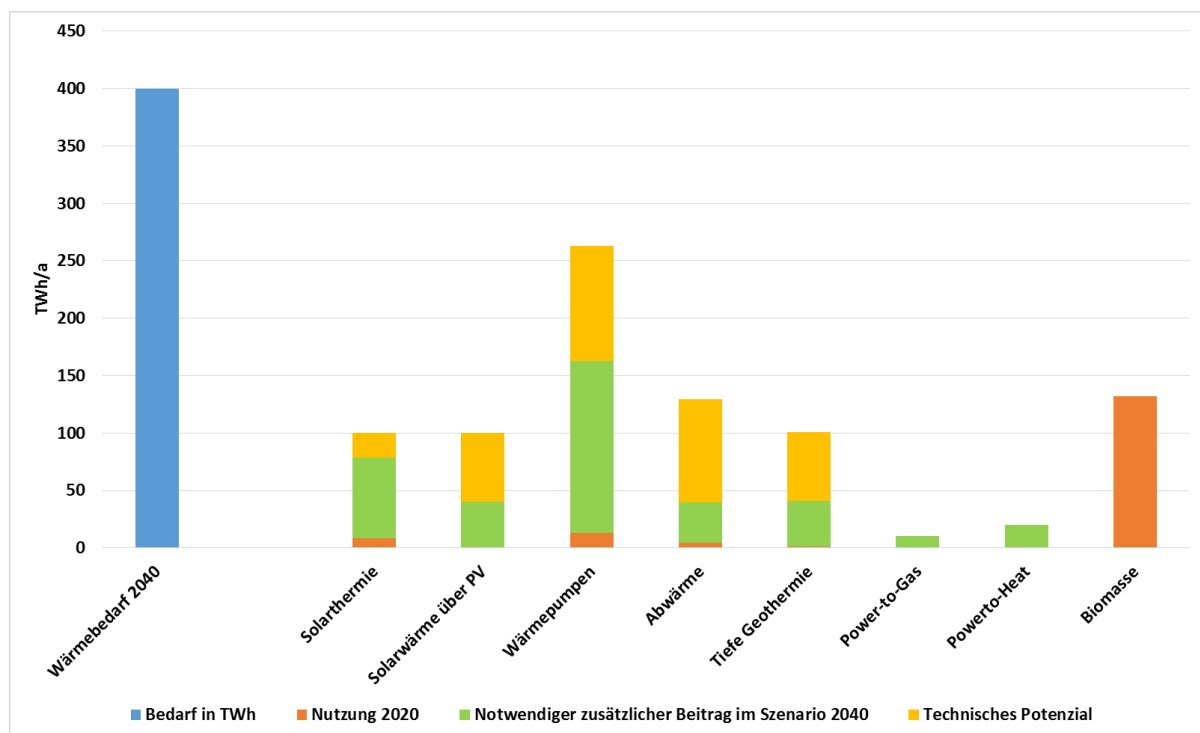
Die Anwendung dieser Instrumente kann jeweils durch bestimmte Ebenen der politischen Entscheidungsgewalt beschlossen werden, also die Bundesregierung, die Landesregierung oder die Kommunen. Teilweise ist für den wirksamen Einsatz auch die Kooperation mit der privaten Wirtschaft notwendig (Kapitel 4).

Kapitel 5 zieht ein Fazit aus den Betrachtungen und leitet Konsequenzen für die Entwicklung einer Transformationsstrategie für die Wärmeversorgung ab.

2 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 problemlos gedeckt werden kann, dass hierfür aber die augenblicklich populärsten Wärmequellen Biomasse und Power-to-Heat und Power-to-Gas nicht ausreichen. Die Diffusionspolitik für Wärmetechnologien muss deutlich breiter aufgestellt werden.

Abbildung 1: Szenario zur Deckung eines Wärmebedarfs von 400 TWh für Heizung und Warmwasser in 2040



Quelle: Borderstep

Grundsätzlich sind die Ergebnisse 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) und die Studie „Transformationsstrategien Fernwärme“ (AGFW e.V., 2014). Im Projekt „SubWW Wärmewende Stuhr-Weyhe“ stehen die Nutzung von Abwasserwärme, oberflächennaher Geothermie, Solarenergienutzung, Biomasseverwertung, Abwärmennutzung und die Einbindung bereits vorhandener Wärmeerzeuger im Vordergrund eines regenerativen Wärmekonzeptes außerhalb eines Ballungsraums (SubWW Wärmewende Stuhr-Weyhe e.V., 2020). Vattenfall setzt in Berlin in einer ersten Phase auf die Substitution von Koh-

le durch Erdgas und in einer zweiten Phase auf die verstärkte Nutzung von industrieller Abwärme und Geothermie (Heinrich Böll Stiftung, 2017).

Die Einschätzung, dass Wärmepumpen eine absolut unverzichtbare Bedeutung für die Beheizung des wenig verdichteten Gebäudebestandes spielen werden, findet sich in der Dena-Leitstudie „Integrierte Energiewende“ (Dena, 2018a, S. Teil 8, 19) wie auch in der „RESCUE-Studie“ des Umweltbundesamtes (2019) oder bei Quaschnig (2016).

2.1 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.

Als Alternative zur großen Solarthermie schlagen Akteure der Photovoltaik die Kombination der Stromerzeugung mit Solarmodulen und die sommerliche Einspeicherung von Wärmepumpen-Wärme in Saisonspeicher vor. Der Vorteil gegenüber der großen Solarthermie liegt darin, dass die Stromerzeugung auf verschiedene Flächen verteilt und auch weit außerhalb der Großstadt mit ihren hohen Bodenpreisen stattfinden könnte. Aufgrund der Strommarktregulierung mit ihren hohen Kosten für Netznutzung, Steuern und EEG-Umlage auch auf regenerativen Strom ist diese Alternative jedoch bis auf weiteres ökonomisch kaum darstellbar.

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 gar negativen Preisen irgendwann vorbei sein.¹ Ähnlich ist die Lage mit der Bioenergie. Gegenwärtig scheint der vergleichsweise preisgünstige Kauf von Biomasse auch in gro-

¹ 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.

ßen 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 – weitergeht, 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 hinaus gedacht 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 Photovoltaik 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.

Die ersten Schritte zu einer regenerativen Fernwärmeversorgung am Beispiel Hannover

Um die fossilen Energieträger in der Fernwärmeversorgung in den nächsten Jahren zu ersetzen, ist es nötig, schnell mit ersten Schritten der Transformation zu beginnen. Aussichtsreiche erste Schritte bestehen in:

- der Nutzung von Abwärme als Quelle für das Wärmenetz, wobei zunächst die Erstellung eines Katasters der Abwärmequellen für die Kommunen anzugehen ist,
- dem Aufbau einer ersten großen Solarthermieanlage mit Saisonspeicher wie sie z.B. in Dänemark bereits erfolgreich genutzt werden, um lokal erste Erfahrungen mit der Technologie zu sammeln und den Anbietern die Chance zu ersten Wachstumsschritten und dem Aufbau von Arbeitsplätzen zu bieten,
- der Errichtung einer ersten tiefen Geothermieanlage im Nordosten der Stadt, wobei schon vorher die Frage der Versicherung des Fündigkeitsrisikos mit der Landesregierung zu klären ist. Auch hier ist die Sicherung bzw. der Aufbau neuer Arbeitsplätze besonders in der Region Celle mit anzustreben, die in Deutschland das Zentrum der Bohrtechnikbranche darstellt.

Mit der Bioenergie und der Nutzung von Power-to-Heat stehen zwei weitere Potenziale zur Verfügung, die kurzfristig und weitgehend problemlos genutzt werden können. Die Größe des Potenzials dürfte aber sowohl bei der Biomasse wie auch bei Power-to-Heat begrenzt sein.

2.2 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 Biomassepotenzial weitgehend ausgeschöpft ist, verbleibt neben der Wärmepumpenheizung nur noch die

Option, das vorhandene Gasnetz mit „grünem Gas“ zur Beheizung des wenig verdichteten Gebäudebestandes zu nutzen.

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 (Wärmebedarf 15.000 kWh/a)	Fiktive Wärmekosten je saniertem Gebäude auf Basis eines Preises von Strom UND von „grünem Methan“ von 20 Cent/kWh	Nationaler Bedarf an Strom	
			Gebäudebestand 100% saniert	Gebäudebestand 100% unsaniert
	kWh/a	€/a	TWh/a	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
Bessere Wärmepumpe (COP 5)	3.000	600	50	100

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).

Die Entwicklung einer besseren Wärmepumpe bzw. die bautechnische und handwerkliche Realisierung höherer Jahresarbeitszahlen wäre klimapolitisch höchst bedeutend. Ohne die energetische Sanierung zahlreicher Gebäude sind die Aussichten auf gute Arbeitszahlen aber schlecht. Gerade mit Blick auf eine Verkürzung der Zeitziele einer klimaneutralen Wärmeversorgung ist zudem zweifelhaft, was sich bis wann realisieren lässt.

Erfolgt die Verteilung der durch eine Wärmepumpe erzeugten Wärme durch warme Luft, also eine Warmluftheizung ähnlich einer Klimaanlage, dann lassen sich auch schlechter gedämmt 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.

Erweitert man den Blick über die Heizung eines Einzelgebäudes hinaus auf die Energiespeicherung und Spitzenlast, ergeben sich auch für KWK Einsatzmöglichkeiten. 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-GW² 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.

Erste Schritte zu einer Versorgung von Einzelgebäuden mit regenerativer Wärme:

Die ersten Schritte zu einer Versorgung von Einzelgebäuden mit regenerativer Wärme fokussieren auf Sanierung und Wärmepumpen:

- Wärmepumpen werden die zentrale Technologie zur Wärmeversorgung von Häusern in wenig verdichteten Gebieten sein. Die Substitution von Öl- und Gasheizungen erfordert aber in vielen Fällen die Verbesserung des energetischen Sanierungsstandes der Gebäude.
- Quartier für Quartier sollten daher Sanierungspläne aufgestellt, finanzielle Mittel erschlossen und Maßnahmen kosteneffizient umgesetzt werden.

Auch der Umbau des größten Teils der Gebäude auf eine fossilfreie Heizung, in den meisten Fällen mit Wärmepumpe, ist eine Aufgabe, die über viele Jahre Arbeitsplätze in Handwerk und Industrie sichert.

Mit Blick auf die Tatsache, dass das Biomassepotenzial weitgehend ausgeschöpft ist, verbleibt neben der Wärmepumpenheizung nur noch die Option, das vorhandene Gasnetz mit „grünem Gas“ zur Beheizung des wenig verdichteten Gebäudebestandes zu nutzen. Grünes Gas aber wird bis Mitte des Jahrhunderts nur in kleinen Mengen und zu extrem hohen Preisen als Wärmeträger zur Verfügung stehen. Ergänzt werden können diese Lösungen durch kleine Solarthermieanlagen auf dem Dach sowie durch die individuelle Nutzung von Power-to-Heat, z.B. mit Strom aus der eigenen PV-Anlage oder in den wenigen Stunden im Jahr, in denen günstiger Strom im Netz zur Verfügung steht.

2.3 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.

² Gigawatt.

- Für Gebiete mit Fernwärmeversorgung bietet sich die Suche und Erschließung von Abwärmequellen, der Bau großer Solarthermieranlagen und in weiten Teilen Norddeutschlands die Geothermie an. Ergänzend können Power-to-Heat und auch Biomasse Beiträge leisten.

Um diese Wärmequellen zur Wärmeversorgung nutzen zu können, sind aber eine ganze Reihe von politischen und wirtschaftlichen Aktivitäten erforderlich. Kapitel 3 wirft einen Blick auf die verfügbaren innovationspolitischen, ökonomischen und ordnungsrechtlichen Instrumente, mit denen eine Wärmewende hin zu den aufgeführten Versorgungstechnologien in Gang gesetzt werden könnte.

3 Mögliche Governance Instrumente

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, mit 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 CO₂-Preis die Einführung einer Wärmeumlage ins Gespräch. „In Anlehnung an das EEG könnte damit im Wärmebereich die Erzeugung von erneuerbarer Wärme gefördert werden“ (Prognos AG, 2020, S. 14).

Das folgende Kapitel gibt einen knappen Überblick über die von uns als hilfreich eingestuften Instrumente und geht deutlich über das im Auftrag des BMWi untersuchte Maßnahmenspektrum hinaus.

3.1 Innovations- und Wirtschaftsförderung

Neben den klimapolitisch wünschenswerten Wirkungen einer Transformation zu einer Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Wärme ist diese Transformation mit erheblichen Chancen, aber auch Herausforderungen, für die Wirtschaft verbunden. Durch die gemeinsame Betrachtung von Innovations- und Wirtschaftsförderung soll erreicht werden, dass nicht nur prinzipiell Lösungen verfügbar sind, sondern dass die Wirtschaft sich dahin entwickelt, diese Lösungen auch wirklich großartig zur Verfügung stellen zu können.

3.1.1 Wirtschaftsförderung

Für die Errichtung einer großen Zahl von tiefengeothermischen Anlagen und solarthermischen Großanlagen, wie auch für die Errichtung von großen Saisonspeichern und auch den raschen und großskaligen Ausbau der Fernwärmenetze, sind in Deutschland gegenwärtig keine ausreichend leistungsfähigen Anbieterstrukturen vorhanden. Abhängig von der Geschwindigkeit und dem Umfang einer in Gang kommenden Wärmewende, ist daher das notwendige Wachstum mit erheblichen ökonomischen Chancen verbunden. So entspräche z.B. die Größe einer solarthermischen Großanlage mit 40% solarem Deckungsgrad für das Fernwärmenetz Hannover allein der gesamten Jahresproduktion an Solarkollektoren in den Jahren 2009 bis 2012 und sogar knapp dem Dreifachen der deutschen Jahresproduktion 2018 (Clausen, 2020a, S. 19). Anbieter von großen Saisonspeichern sind in Deutschland gegenwärtig nicht bekannt, sie könnten aber ein mögliches Produkt für Tiefbauunternehmen darstellen. Dagegen sind Unternehmen, die Erdöl- und Erdgasbohrungen durchführen, z.B. rund um das Zentrum der deutschen Bohrindustrie in Celle vorhanden. Sie dürften aber im Zuge der Dekarbonisierung erhebliche Absatzprobleme bekommen und damit das Interesse entwickeln, den Markt für tiefe geothermische Bohrungen zu entwickeln.

Bei der Abschätzung der Marktpotenziale allein für die **Fernwärmenetze** ergeben sich erhebliche Investitionssummen. Der Hausanschluss zusammen mit der Fernwärme-Übergabestation schlägt mit

ca. 5.000 € pro Gebäude zu Buche, deutlich mehr würden in ländlichen Fernwärmenetzen für Tiefbau und Rohre und Netztechnik anfallen (ca. 13.000 €) (Clausen, 2012, S. 26). In Innenstadtbereichen sind die Leitungen zwar pro Anschluss kürzer, aber aufgrund der erforderlichen höheren Querschnitte um ein Vielfaches teurer. Insgesamt müssten in den nächsten Jahrzehnten für den Anschluss von z.B. ca. 2 Millionen Gebäuden an Fernwärmenetze (Clausen, 2012, S. 24) rund 40 Milliarden € investiert werden. Zusätzlicher Aufwand ist erforderlich, um neue Typen von Wärmequellen (Abwärme, solarthermische und geothermische Anlagen) an die Wärmenetze anzuschließen.

Wird eine 10 Mio. € teure **Geothermieanlage** auf eine jährliche Leistung von 3,5 MW und 5.000 Betriebsstunden veranschlagt (Tischner, Krug, Jatho & Orilski, 2012), dann lässt sich abschätzen, dass für die Gewinnung einer geothermischen Wärmemenge von 100 TWh/a (Leibnizinstitut für angewandte Geophysik, 2018a) ein Betrag von ca. 55 Mrd. € investiert werden müsste. Die Nutzungsdauer einer solchen Anlage wird mit ca. 30 Jahre angenommen.

Die Errichtung einer großen **solarthermischen Anlage** mit allen notwendigen Komponenten ist mit Gesamtkosten von ca. 2 Mio. € pro Hektar Kollektorfläche verbunden (Plan Energi, 2018a, S. 5). Wird auf einem Hektar ein Ertrag von ca. 4 GWh/a erzielt, so wären für eine solare Wärmebereitstellung von 100 TWh/a für die deutsche Wärmeversorgung Investitionskosten von ca. 50 Mrd. € aufzubringen.

Bei einer Errichtung dieser drei Anlagentypen im Laufe von 20 Jahren und einem Umsatz pro beschäftigter Person von ca. 200.000 € p.a., könnte so ein Sektor mit ca. 40.000 Arbeitsplätzen neu entstehen. Zusätzlich würden Unternehmen bzw. Arbeitsplätze entstehen, die die realisierten Anlagen warten und in Stand halten müssten.

Eine ähnliche Situation findet sich in der **Sanierung von Gebäuden**. Die Sanierungsrate ist deutlich zu niedrig, um die vorgegebenen Ziele der Bundesregierung zu erreichen. Zwar wächst der Markt für Fenster langsam, der Absatz an Dämmstoffen ist aber zeitweise sogar zurückgegangen (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2017, S. 11). Die Dena hält deshalb eine Steigerung der Sanierungsrate um ca. die Hälfte für erforderlich (Dena, 2018b, S. 15). Bigalke (2019, S. 4) beklagt in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass es der Baubranche in den Jahren von 1994 bis 2012 nicht gelang, ihre Produktivität zu steigern. Und in der Zeit von 2011 bis 2018 verdoppelte sich die Zahl der offenen Stellen in der Baubranche (Bigalke, 2019, S. 3). Selbst wenn es gelänge, die Zahlungsbereitschaft der Hausbesitzer mit Blick auf Sanierungsaktivitäten zu steigern, bleibe also offen, ob so die Sanierungsrate wirksam gesteigert werden könnte. Die industrielle Sanierung nach dem Energiesprong-Verfahren, bei der industriell vorgefertigte Bauelemente mit eingebauten Fenstern und einem eingebauten Technikmodul vor der Fassade von Bestandsgebäude montiert werden, bietet damit gleich mehrere Chancen (Green Alliance, 2019):

- Sie senkt den Energiebedarf nicht nur um ca. 2/3 ab, wie eine konventionelle Sanierung, sondern um ca. 90%. Den Restbedarf deckt bilanziell eine serienmäßig enthaltene PV-Anlage.
- Sie ist kosteneffizienter als eine konventionelle Sanierung.
- Sie lässt sich mit weniger Personalstunden erbringen.

Bei Sanierungskosten pro Eigenheim bzw. Etagenwohnung (ca. 100 m²) nach dem Energiesprongverfahren von ca. 40.000 bis 50.000 Euro pro Haus (Green Alliance, 2019) liegen die Gesamtkosten für die Sanierung von 90% des Wohnungsbestandes bei ca. 1,7 Bio. €. Davon fließt ein Anteil von ca. 20% in den Austausch der fossilen Heizungsanlagen durch Wärmepumpen (ca. 340 Mrd. €). Während der Bau der Heizungsanlagen durch die Thermotechnikbranche geleistet werden kann, ist die Baubranche gegenwärtig weder technologisch noch personell in der Lage, eine solche Zahl von Sanierungen in wenigen Jahrzehnten zu erbringen. Bei einem Zeitziel für diese Sanierungen von 20 Jahren und einem Umsatz pro Person von ca. 200.000 € p.a. müssten Unternehmen mit ca. 200.000 bis 300.000 Arbeitsplätzen neu entstehen und über Jahrzehnte betrieben werden.

Das notwendige Wachstum dieser Produktionssektoren kann nur durch gemeinsame Anstrengungen der Wirtschaft, der Gewerkschaften sowie des Bundes und der Länder erzielt werden. Neben der Schaffung förderlicher und zukunftssicherer Rahmenbedingungen durch Bund und Länder sind die Unternehmungen gefordert, die entstehenden Märkte schnell zu erschließen. Die kommunalen und regionalen Organisationen der Wirtschaftsförderung können diese Prozesse regional fördern und koordinieren.

3.1.2 Förderung von Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen

Aufgrund der extrem geringen Verbreitung mehrerer zentraler Technologien der regenerativen Wärmeversorgung ist es notwendig, zahlreichen Akteuren einen Anreiz zu bieten, diese Technologien erstmalig einzusetzen und zu erproben.

Mit Blick auf die Tatsache, dass die große Solarthermie offenbar eine komplexe und in Deutschland kaum erprobte und wenig bekannte Technologie ist, ist zu empfehlen, dem Einstieg in die Serienproduktion und der damit verbundenen Herausbildung erster professioneller Serienanbieter einen Impuls zu geben. Dies könnte nach dem Vorbild des 1.000-Dächer Programms erfolgen, das in den 1990er Jahren die Errichtung einer ersten mittelgroßen Serie von Photovoltaikanlagen förderte. Um einen echten Impuls zu setzen, wäre mindestens an ein „100-Solarthermiefelder“ Programm zu denken, welches auf Solarflächen ab 10 ha fokussiert sein sollte. In einem ergänzenden Förderangebot sollte angestrebt werden, für mindestens die Hälfte dieser Projekte auch einen Langzeitwärmespeicher zu errichten.

Ein ähnlicher Impuls ist hinsichtlich von tiefen geothermischen Anlagen notwendig. Sollen sie zu einem wesentlichen Standbein der Wärmeversorgung ausgebaut werden, sollte ihre Realisierung über die Frage der Risikoabsicherung hinaus durch die Förderung von je 100 Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen in den Regionen gefördert werden.

Die Förderung sollte durch einen einschlägigen Fördertopf im BMWi erfolgen.

3.1.3 F&E-Förderung

Es gibt zahlreiche grundlegende Innovationen zur regenerativen Wärmeversorgung, die schon fertig entwickelt sind (Clausen, 2020a). Aber viele der Innovationen deren Entwicklung mit hohen öffentli-

chen Fördermitteln in Gang gesetzt wurde, sind noch nicht hinreichend skaliert und werden nur in kleinen Nischenmärkten angewendet (Clausen & Fichter, 2019). Viele dieser Innovationen können in den nächsten Jahren noch verbessert werden. Wichtig sind die Steigerung der Leistung und der Effizienz, aber auch die Kostensenkung und die Verbesserung der Haltbarkeit. Mit Blick auf die Vielfalt der für die Wärmewende bedeutenden Technologien kann an dieser Stelle keine konkrete Auflistung der in Gang zu setzenden Folgeinnovationen erfolgen. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass gerade mit dem Blick auf die oben genannten möglichen Optimierungen ein wesentlicher Erfolg z.B. bei der Kostensenkung durch effiziente Produktion, z.B. unter Einsatz von Methoden von Industrie 4.0 wie beim Sanierungsverfahren „Energiesprung“ (Clausen, 2019c) dazu führen würde, dass die „Pfadwechselkosten“ (Nill, 2009) des Umstiegs von einer fossilen auf eine regenerative Wärmeversorgung deutlich niedriger ausfallen könnten. Eine effizientere Produktion der notwendigen Güter würde die deutschen Produzenten auch im internationalen Maßstab wettbewerbsfähiger machen. Zudem könnte eine größere Zahl der Güter mit weniger Personal hergestellt werden, mit Blick auf den aufgrund des demografischen Wandels zu erwartenden erheblichen Fachkräftemangel in vielen Branchen ist dies ein wesentlicher Faktor.

Durch regelmäßige Fortschrittsberichte zur Wärmewende, die auch Schwachstellen und Defizite untersuchen, könnten F&E-Bedarfe identifiziert und durch einen einschlägigen Fördertopf im BMWi gefördert werden.

3.1.4 Ausbildung im Handwerk und in der Baubranche

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.

3.1.5 Beschaffungsgruppen

Die europäische Kommission setzt auf die Bildung von Beschaffungsgruppen die so groß sein sollten, dass sie eine kritische Masse im Markt repräsentieren (European Commission - DG Connect, 2015, S. 23). Wenn es gelingt, den Marktanteil innovativer Produkte rasch auf 40% bis 50% zu steigern, dann können so u.U. auch die „späte Mehrheit“ und die „Zögerer“ (Rogers, 2003, S. 281) mitgezogen werden. Die Kommission schätzt in Europa beispielhaft im e-government Markt einen Anteil innovativer Produkte in der öffentlichen Beschaffung von nur 5%, während China 40% bis 50% erreicht (European Commission - DG Connect, 2015, S. 24).

Das Ziel der in Schweden seit Ende der 1980er Jahre gebildeten Technologiebeschaffungsgruppen besteht darin, Wohnungsunternehmen oder Vermieter von Gewerbeflächen mit dem Ziel zusammenzubringen, die Beschaffungskompetenz durch gemeinsames Handeln zu erhöhen. Der Markteintritt neuer Produkte kann so schneller erfolgen. Etwa 20 % der kommerziellen Verkaufsfläche sowie 70 % des Wohnraums in Schweden ist in verschiedenen Beschaffungsgruppen vertreten (Gandenberger, Clausen, Beigang, Braungardt & Fichter, unveröffentlicht).

In Deutschland wird die Idee der Beschaffungsgruppen gegenwärtig durch die Dena eingesetzt. Zur Verbreitung des auf Industrie 4.0 basierenden „Energiesprung“-Sanierungskonzepts (Energiesprung, TNO & RIGO, 2015) hat die Dena strategische Kontakte zu Wohnungsunternehmen aufgebaut und erreicht, dass nun 22 deutsche Wohnungsunternehmen ihre Nachfrage bündeln und angekündigt haben, dass sie in den nächsten vier Jahren 11.635 Wohnungen seriell sanieren werden (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2019). Schon im Jahr 2013 unterzeichneten in den Niederlanden sechs große Wohnbaugesellschaften und vier große Bauunternehmen einen Vertrag, in dem sie sich dazu verpflichteten, zunächst 11.000 Mietwohnungen im Gebäudebestand der Wohnbaugesellschaften und bei Erfolg weitere 100.000 Wohnungen auf Nullenergiestandard zu sanieren (Tappeser, 2018). Bis Mitte 2019 wurden bereits über 14.000 Sanierungen in den Niederlanden und über 6.000 in Frankreich durchgeführt, in England und Deutschland sind erste Objekte fertiggestellt (Energiesprung, 2019).

3.1.6 Entwicklung von Contracting

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.

3.2 Spezifische Instrumente

Neben den übergreifenden Instrumenten, die im folgenden Kapitel 3.3 dargestellt werden, sowie den Maßnahmen der Innovations- und Wirtschaftsförderung gibt es aufgrund der Verschiedenartigkeit der für die Transformation erforderlichen Technologien eine Reihe von Instrumenten, die sich primär auf Einzeltechnologien auswirken.

3.2.1 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 Wärmeerzeugung 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 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 Förderprogramm Wärmenetze 4.0 (Pehnt, 2016) für mindestens weitere 5 bis 10 Jahre aufrechterhalten wird und nicht, wie gegenwärtig vorgesehen, Ende 2022 ausläuft (BAFA, 2020). Agora Energiewende (2019, S. 26) schlägt darüber hinaus ein Sofortprogramm vor, dass die im Rahmen eines Netztransformationsplans notwendigen Maßnahmen an Kundenanlagen wie auch zur Steigerung der Energieeffizienz des Netzes und zum Ausbau von Wärmerezeugern, Wärmespeichern und Leitungen fördert und die Ausschreibungen zu EE-Anlagen ergänzt.

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).

3.2.2 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 mit-

telfristig 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.

3.2.3 Geothermie-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, 2018b).

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 Quellen sprunghaft (Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, 2019, S. 42). In den Niederlanden sind heute 24 Anlagen mit 54 Quellen (Stand: Jan. 2019) 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 & Nederland, 2019).

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

3.2.4 Doppelte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen

Sowohl Photovoltaikanlagen wie in Zukunft vielleicht auch Anlagen der Solarthermie können nicht nur auf Dächern oder bodennah montiert werden, sondern sie lassen sich auch auf Ständern montieren. Seit mehreren Jahren wurden solche Anlagen durch das Fraunhofer ISI getestet und es zeigt sich, dass nicht nur ein Energieertrag erzielt wurde, sondern der Ertrag an Feldfrüchten für eine Reihe von Kulturen, z.B. Blattgemüse, von der geringeren Sonneneinstrahlung in heißen Sommern sogar profitierte (Ökolandbau.de, 2020). Eine solche Anlage erhöht auch die Widerstandsfähigkeit gegen den Klimawandel und „schützt die darunterliegende Ernte vor zu hoher Einstrahlung, extremen Wetterereignissen wie langanhaltender Trockenheit oder sogar Hagel“ (Projekt APV-RESOLA, 2020).

Abbildung 2: Agrophotovoltaik-Pilotanlage in Heggelbach am Bodensee



Quelle: Fraunhofer ISE

Die großtechnische Machbarkeit wurde durch eine Anlage mit ca. 1 km² Fläche und einer Spitzenleistung von 30 MW_{peak} Anfang des Jahres 2020 in China demonstriert (Trina Solar, 2020). In Deutschland kennt allerdings der Gesetzgeber keine Doppelnutzung landwirtschaftlicher Flächen (Ökolandbau.de, 2020). So wird für solche Anlagen keine Flächenprämie gezahlt und auch keine Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz gewährt, was die Wirtschaftlichkeit stark einschränkt (Ökolandbau.de,

2020)." In Ländern wie China, Japan und Südkorea wird die Agrophotovoltaik dagegen zunehmend gefördert und ist zum Teil auch bereits gesetzlich geregelt (Ökolandbau.de, 2020).

Die Agrarzuschüsse pro Hektar sollten auch auf doppelt genutzten Flächen weiter zur Verfügung stehen, denn die landwirtschaftliche Produktion wird ja fortgeführt. Und auch bei der Ausschreibung von Freiflächenanlagen sollten diese Anlagen berücksichtigt werden und wie alle anderen regenerativen Energieanlagen Anspruch auf eine Vergütung nach dem EEG haben. Kommunen oder die örtlichen Baurechtsbehörden sollten sich frühzeitig darum bemühen Vorrangflächen für die Installation von Erneuerbare Energien Technologien – insbesondere für PV-, APV- und Agrar-Solarthermie-Freiflächentechnologien – auszuweisen.

Die Verantwortung für die Regeln zu Agrarzuschüssen liegt bei der EU, Ausschreibungen und EEG regelt der Bund und die Planungsverfahren liegen in der Hand der Kommunen.

3.3 Transformative Rahmenbedingungen

3.3.1 CO₂-Bepreisung

Die CO₂-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 CO₂-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 CO₂ etwa 180 € an Schäden für Mensch und Umwelt verursacht. Nordhaus schätzt in seiner Nobelpreisvorlesung die Folgekosten für 2020 sogar auf 275 \$/t CO₂ (Mattauch, Creutzig, aus dem Moore, Francks & Funke, 2020).

Mit Blick auf einen nationalen CO₂-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 CO₂-Preis von 25 € pro Tonne CO₂ (Die Bundesregierung, 2019a) ist damit noch zu niedrig, um schnell wirksame Änderungen zur Folge zu haben. Erst wenn bestimmte Schwellwerte des CO₂-Preises überschritten werden, ab denen sich Investitionsrechnungen verändern, rechnen z.B. Edenhofer et al. (2019) mit deutlich stärkeren Mengenreaktionen.

Mit Blick auf die Wärmeversorgung ist die CO₂-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 CO₂-Preises liegt bei der Bundesregierung.

3.3.2 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 Netzvorlaufzeit gravierend auf die Wärmepumpe als Technologie der Sektorkopplung aus. So verbreitet sich z.B. die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren in Schweden, weil der Strom für Großwärmepumpen nur etwa halb so teuer ist wie in Deutschland. Ein weiterer Grund ist, dass aufgrund niedriger Netzvorlaufzeiten eine höhere Arbeitszahl realisiert wird – der Stromverbrauch also niedriger ist als er in Deutschland wäre³ (Hintemann & Clausen, 2018, S. 49). 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.

3.3.3 Ordnungsrecht und Exnovationsinstrumente

Mit dem Entwurf des Kohleausstiegsgesetzes (Die Bundesregierung, 2020), zu dem im März 2020 der Bundesrat bereits Stellung genommen hat, ist ein für die Wärmewende zentrales Gesetzesvorhaben

³ Bei einer höheren Netzvorlaufzeit muss die Wärmepumpe eine höhere Temperaturdifferenz überwinden. Dadurch sinkt ihre Arbeitszahl, was den Stromverbrauch erhöht.

im Gesetzgebungsprozess. Es ist davon auszugehen, dass bei Beschluss des Gesetzes die Kohleverstromung eine Technologie ohne Zukunft werden wird. Mit der Kohleverstromung endet auch die auf Kohle basierende KWK, die gegenwärtig noch 37% des Brennstoffeinsatz (27 % Steinkohle, 10 % Braunkohle) und 58 % der CO₂-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, 2019b). Der Entwurf des neuen 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) (Die Bundesregierung, 2019c). 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 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.

3.3.4 Ressourcenbereitstellung

Wie bereits in Kapitel 3.1.1 knapp dargestellt wurde, ist die Wärmewende 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 ca. 2 Billionen € belaufen und damit die Größenordnung des deutschen Bruttoinlandsproduktes von ca. 7 Monaten erreichen. 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 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 gezielte Förderung von Folgeinnovationen zur Kostensenkung zentraler Technologien könnten zunächst die Pfadwechselkosten gesenkt werden, was den Finanzierungsbedarf senkt.
- Durch den CO₂-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 Coronakrise könnten Beiträge leisten (Koalitionsausschuss der Bundesregierung, 2020).
- Durch gezielte Förderprogramm des Bundes und der Länder können anteilig Kosten einzelner Technologien bzw. Maßnahmen durch die öffentliche Hand übernommen und so Kosten umverteilt werden.

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

Ergänzend zum CO₂-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 notwendigen Mittel könnten haushaltsunabhängig 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.

3.3.5 Wärmeplanung und Wärmekataster der Kommunen

In Dänemark sind Wärmepläne lokal entwickelte Pläne, die den bestehenden und zukünftigen Wärmebedarf von Gebäuden in einem bestimmten Gebiet sowie die aktuellen und potenziellen Wärmeressourcen ermitteln und eine Bewertung der kosteneffizientesten und für ein Gebiet am besten

geeigneten Wärmeversorgungsoption enthalten (Chittum & Østergaard, 2014, S. 2). In Dänemark hilft das Vorhandensein von Wärmeplänen, das Vertrauen in die Fernwärmeversorgung langfristig zu stärken, indem die tatsächlichen und wahrgenommenen Risiken für Kunden, Wärmelieferanten, die Gemeinde und die Eigentümer der Fernwärmesysteme reduziert werden (Chittum & Østergaard, 2014, S. 2). Im Detail leistet die kommunale Wärmeplanung in Dänemark (Chittum & Østergaard, 2014, S. 3) die:

- Ermittlung des bestehenden und zukünftigen Wärmebedarfs von Gebäuden,
- Ermittlung der verfügbaren Wärmeressourcen,
- Ermittlung des sozioökonomischen Nutzens und der Kosten der Wärmeversorgung.

Die Wärmeplanung bietet damit Leitlinien für den Fall, dass Änderungen oder Erweiterungen der bestehenden Energieinfrastruktur geplant werden. Der Wärmeplan gibt der Verwaltung die Möglichkeit, geplante Änderungen des Erdgas- oder Fernwärmenetzes zu genehmigen oder abzulehnen. Die Wärmepläne sind auch als Grundlage für die Verfügung einer Anschlusspflicht an das Fernwärmenetz erforderlich. Die Anschlusspflicht zielt dabei auf für die Gemeinschaft optimale Kosten der Wärmeversorgung.

In Dänemark haben die Fernwärmesysteme eine sehr wichtige Rolle bei der Entwicklung eines hochgradig kosteneffizienten und nachhaltigen Energiesystems gespielt. Diese Systeme haben von einer langfristig stabilen Energiepolitik, einer Geschichte des politischen Konsenses und einem allgemein akzeptierten, national unterstützten lokalen Rahmen für die Wärmeplanung profitiert.

Energiepläne Schweizer Kommunen erheben nicht nur den Wärmebedarf und die Wärmepotenziale, sondern erstellen auch Projektionen, wie die Transformation hin zur Versorgung mit erneuerbarer Wärme vorangetrieben werden kann (Stadt Aarau, 2013; Stadt Winterthur, 2013). Wie andere Transformationspläne wie z.B. der Masterplan 100% Klimaschutz von Stadt und Region Hannover (Landeshauptstadt Hannover, Region Hannover, 2014) sind diese Dokumente aber eher ein Planungsdokument und keine geografische Kartierungsgrundlage.

Das Hamburgische Klimaschutzgesetz (Hansestadt Hamburg, 2020) schreibt in § 26 die Aufstellung eines Wärmekataster durch die zuständige Behörde vor, welches enthält:

- (1.) Anschrift von Gebäuden (Straße, Hausnummer, Postleitzahl),
- (2.) Nutzungsarten von Gebäuden,
- (3.) Baujahre von Gebäuden,
- (4.) Gebäudetypen,
- (5.) Volumen, Grundfläche, Höhe, Geschlosszahl und beheizte Flächen von Gebäuden,
- (6.) Wärme- und Kälteenergieverbrauch von Gebäuden,
- (7.) Wärme- und Kälteenergiebedarf von Gebäuden,
- (8.) energetischer Sanierungszustand von Gebäuden,

- (9.) Art, Alter, Leistung sowie verwendete Energiequellen von Energieumwandlungsanlagen, insbesondere Wärmeerzeugungsanlagen,
- (10.) Art, Alter, Lage, Leitungslänge, Durchmesser und Temperaturniveau von Ver- und Entsorgungsnetzen, einschließlich Hausanschlussleitungen,
- (11.) Zielwerte der Dekarbonisierungsfahrpläne nach § 10,
- (12.) Abwärmepotenziale, insbesondere Lage, Leistung, Arbeit, Temperaturniveau und zeitliche Verfügbarkeit,
- (13.) Dach- und Freiflächenpotenziale für die solare Energiegewinnung im Stadtgebiet.

Mit Blick auf die Ortsgebundenheit von Wärmequellen wie Abwärme oder tiefergeothermischer Wärme, aber auch mit Blick auf die Flächenbedarf für die Errichtung von Wärmenetzen oder großen Solarthermieanlagen, sollte die Pflege des Wärmekatasters ein kontinuierlicher Prozess der Stadtverwaltung sein.

Die Daten für das Wärmekataster sind teilweise bereits bei den Katasterämtern und Stadtvermessungsämtern vorhanden (Anschriften der Gebäude, Nutzungsarten, Flächenreserven u.a.m.), teilweise müssen sie von den Betreibern der Energienetze bereitgestellt bzw. eingefordert werden. Flächenbezogene Informationen zur Möglichkeit der Nutzung flacher (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2020) und tiefer (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2020; Leibnizinstitut für angewandte Geophysik, 2018b) Geothermie sind bereits in öffentlich verfügbaren Karten vorhanden, ebenso die Flächenpotenziale für die Installation von Photovoltaikanlagen und Solarthermie auf Gebäuden (Landeshauptstadt Hannover, 2020). Daten zum Energieverbrauch von Einzelgebäuden könnten partizipativ (Croud Sourcing Ansatz) auf Basis von Openstreetmap-Karten gesammelt werden, die städtische Bitte um Selbstauskunft könnte z.B. über enercity an die Energiekunden versandt werden. Daten zu Abwärmepotenzialen müssten durch die Stadtverwaltung erhoben bei den Abwärmeverursachern direkt erfasst werden.

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 bereits geschehen ist.

4 Der Einsatz der Instrumente durch die Governance-Ebenen

Die folgende Tabelle zeigt, die Auswirkung bestimmter umweltpolitischer und innovationspolitischer Instrumente auf die verschiedenen Wärmetechnologien im Überblick. Dabei nimmt die Tabelle nur diejenigen Technologien auf, deren Weiterentwicklung und Diffusion z.Zt. stark behindert wird bzw. nicht vorangeht. Eine gegenüber dem ohnehin schon bestehenden Niveau noch weitergehende Förderung der Nutzung von Biomasse zu Heizzwecken scheint z.B. mit Blick auf zahlreiche kritische Positionen und die zukünftigen Versorgungs- und Preisrisiken nicht sinnvoll und wird daher in der Tabelle nicht aufgeführt. Auch die Förderung des Ausbaus von Power-to-Gas/Liquid scheint mit dem spezifischen Fokus auf Wärmeversorgung für die nächsten Jahre aufgrund zu langsamer Skalierung und zu geringer Wirtschaftlichkeit in der Low-Exergy-Wärmenutzung nicht relevant. Diese Aussage berührt nicht den Sinn einer entsprechenden Förderung zur Deckung von Wärmebedarfen in industriellen Prozessen u. dgl. mehr.

Zentrale Instrumente sind der **Wirtschafts- und Innovationsförderung** zuzuordnen. Das Wachstum einzelner Firmen und Sektoren ist überall dort erforderlich, wo die Anbieterstruktur gegenwärtig nicht ausreicht, die Umsetzung der Wärmewende zu realisieren. „Sektorwachstum“ wird hier als Mittel des Strukturwandels für Klimaschutz und hin zu einer nachhaltigen und klimaneutralen Wirtschaftsweise verstanden. Als Instrumente zur Förderung des Wachstums werden die „sektorale Wirtschafts- und Gründungsförderung“, die „F&E Förderung“ sowie die „Förderung von Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen“ verstanden. Besonders schnelles Wachstum bedarf der konkreten und auf die einzelnen Unternehmen bezogenen Wirtschaftsförderung, z.B. durch die Verfügbarkeit von Gewerbeflächen, aber auch von gut ausgebildetem Personal und Investitionsmitteln. Die schnelle Realisierung eines klimaneutralen Gebäudebestands bedarf z.B. der Unterstützung der Ausbildung im Handwerk und in der Baubranche, aber auch der Entwicklung von Contracting-Angeboten und der Unterstützung der Bildung von Beschaffungsgruppen. Auch die Förderung von innovativen Gründungen ist von Bedeutung. Durch F&E Förderung wie auch durch die Förderung von Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen können einige Technologien, die noch am Anfang der Marktdurchdringung stehen, marktreifer und bekannter gemacht werden. Wirtschaftsförderung ist für die Politik dabei auch ein wesentliches Ergebnis der Transformation, da sich durch steigende Umsätze und eine wachsende Beschäftigung zentrale Ziele der Wirtschafts- und Arbeitsmarktpolitik erreichen lassen.

Aus der Gruppe der **spezifischen Instrumente** wirkt z.B. das Maßnahmenpaket grüne Fernwärme auf alle netzgebundenen Wärmelösungen. Weiter sind Änderungen am Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz sowie ein Geothermie Risikofonds erforderlich.

Zu **transformativen Rahmenbedingungen** tragen die kontinuierliche Erhöhung des CO₂-Preises, eine die Sektorkopplung fördernde Strompreisregulierung, z.B. durch Sonderkonditionen für Wärmepumpen, die Änderung verschiedener ordnungsrechtlicher Vorschriften wie z.B. die Verpflichtung zur Aufstellung kommunaler Wärmepläne bei. Durch den Einstieg in eine Praxis des Verbotens kann Raum für die Verbreitung nachhaltiger Lösungen geschaffen und die Exnovation, also das Hinaus-

schaffen nicht nachhaltiger Technologien wie z.B. Ölheizungen, vorangetrieben werden (Clausen & Fichter, 2020). Auch die Frage der Mobilisierung der erheblichen finanziellen Ressourcen, die für die Transformation aufgewendet werden müssen, muss durch die Politik mit beantwortet werden.

Im Detail sind diese Instrumente in der Studie „Transformation der Wärmeversorgung. Politisches Instrumentarium und Wachstumspotenziale“ (Clausen, 2020c) dargestellt.

Tabelle 2: Einsatz wirtschafts-, innovations- und energiepolitischer Instrumente bezogen auf die technologischen Wärmepotenziale

	Einzelgebäude		Fernwärme					
	Wärmepumpe	Gebäude-Sanierung	Abwärme	Große Solarthermie	Tiefe Geothermie	Solare Wärme PV	Power-to-Heat	KWK
Wachstums- und Innovationsförderung								
Wirtschafts- und Gründungsförderung		X	X	X	X			
F&E Förderung	X	X	X	X	X			
Förderung von Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen				X	X			
Ausbildung im Handwerk und in der Baubranche	X	X						
Beschaffungsgruppen	X	X						
Entwicklung von Contracting Ausbildung - Angeboten	X	X						
Spezifische Instrumente								
Maßnahmenpaket grüne Fernwärme			X	X	X	X	X	X
Abschaffung KWK-Bonus und Vorhaltepflcht von KWK-Anlagen								X
Geothermie Risikofonds					X			
Doppelte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen				X		X		
Transformative Rahmenbedingungen								
CO ₂ -Bepreisung	X	X	X	X	X	X	X	
Strompreis und seine Komponenten	X	X	X	X	X	X	X	
Ordnungsrecht und Exnovationsinstrumente	X	X	X	X	X	X	X	X
Ressourcenbereitstellung	X	X	X	X	X	X	X	X
Geografische Wärmeplanung der Kommunen	X	X	X	X	X	X		X

Quelle: Borderstep

Die Tabelle zeigt die Auswirkung bestimmter umweltpolitischer und innovationspolitischer Instrumente auf die verschiedenen Wärmetechnologien im Überblick und stellt dabei den Bezug der einzelnen politischen Instrumente zu den im vorangegangenen Kapitel geschilderten Wärmepotenzialen her. Dabei nimmt die Tabelle nur diejenigen Technologien auf, deren Weiterentwicklung und Diffusion z.Zt. stark behindert wird bzw. nicht vorangeht. Eine gegenüber dem ohnehin schon bestehenden Niveau noch weitergehende Förderung der Nutzung von Biomasse zu Heizzwecken scheint z.B. mit Blick auf zahlreiche kritische Positionen und die zukünftigen Versorgungs- und Preisrisiken nicht sinnvoll und wird daher in der Tabelle nicht aufgeführt. Auch die Förderung des Ausbaus von Power-to-Gas/Liquid scheint mit dem spezifischen Fokus auf Wärmeversorgung für die nächsten Jahre aufgrund zu langsamer Skalierung und zu geringer Wirtschaftlichkeit der Nutzung als Niedertemperatur-Wärme nicht relevant. Diese Aussage berührt nicht den Sinn einer entsprechenden Förderung zur Deckung von Prozesswärmebedarfen durch Wasserstoff in industriellen Prozessen u. dgl. mehr.

Da durch Kommunikation und Information die Wahrscheinlichkeit der Nutzung aller Technologievarianten erhöht werden kann, ist dieses Instrument in der Tabelle nicht aufgeführt. Informations- und Kommunikationsinstrumente müssen alle anderen Instrumente begleiten, auf sie aufmerksam machen und den Akteursgruppen ihre Chancen und Verpflichtungen bewusst machen.

Tabelle 3: Akteure der Transformation und Instrumente

Instrumente	Aktive Akteure	Bundes- regierung	Landes- regierungen	Kommunen	Wirtschaft / Unternehmen
Sektorale Wachstums-, Gründungs- und Innovationsförderung		X	X	X	
F&E Förderung		X			
Förderung von Machbarkeitsstudien und Demonstrationsanlagen		X	X		
Ausbildung in Handwerk und Baubranche				X	X
Beschaffungsgruppen				X	X
Entwicklung von Contracting-Angeboten					X
Maßnahmenpaket grüne Fernwärme		X			
Abschaffung KWK-Bonus und Vorhaltepflcht von KWK-Anlagen		X			
Geothermie Risikofonds			X		
Doppelte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen		X		X	
CO ₂ -Bepreisung		X			
Der Strompreis und seine Komponenten		X			
Ordnungsrecht und Exnovationsinstrumente		X	X		
Ressourcenbereitstellung		X	X	X	X
Kommunale geografische Wärmeplanung			X	X	

Quelle: Borderstep

Letztlich kann eine Wärmewende mit ihren positiven Auswirkungen auf den Klimaschutz, aber auch auf den Arbeitsmarkt und die Unternehmen nur gelingen, wenn die Instrumente gut orchestriert eingesetzt werden. Dafür müssen verschiedene Akteure kooperieren.

Das Hamburgische Klimaschutzgesetz (Hansestadt Hamburg, 2020) setzt dabei exemplarisch einen Rahmen durch die Landespolitik. Es enthält mit Blick auf die Transformation der Wärmeversorgung z.B. Vorschriften zu einem Anschluss- und Benutzungsgebot an Wärmenetze (§ 8), zur Beendigung der Nutzung von Wärme aus Kohleverbrennung in Wärmenetzen (§ 9), zur Ausstellung von

Dekarbonisierungsfahrplänen für Wärmeversorgungsunternehmen (§ 10) und zur Nutzung erneuerbarer Wärme in Einzelgebäuden (§ 17). Weiter regelt es die kommunale Pflicht zur Wärme- und Kälteplanung mit dem Ziel der Identifizierung von energie- und kosteneffizienten Maßnahmen in einer räumlichen Gebietseinheit (§ 25) sowie die Pflicht zur Aufstellung eines Wärmekatasters (§ 26).

5 Fazit

5.1 Kernergebnisse

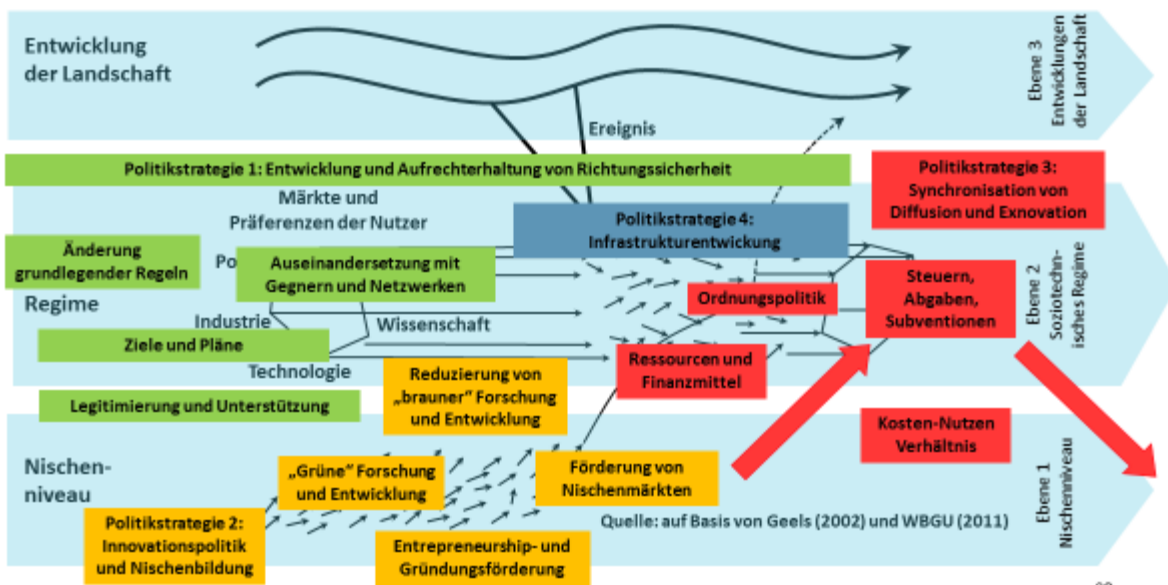
In der Auswertung der Fallstudien aus dem Projekt Go wurden vier Basisstrategien der Transformation herausgearbeitet (Clausen & Fichter, 2020, S. 44f).

Ausgangspunkt ist immer ein politisches Ziel sowie Pläne für die Transformation, welche die Grundlage für die **Entwicklung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit** sind (Basisstrategie 1).

In der Frühphase der Transformation liegt dann der Schwerpunkt auf **Innovationspolitik und Nischenbildung** (Basisstrategie 2).

In der heißen Phase der Transformation stehen starke Instrumente im Vordergrund der Politik, die durch hohe Förderungen bzw. die Internalisierung externer Kosten die Wirtschaftlichkeit der besseren Alternative herstellt sowie parallel dazu durch ordnungsrechtliche Regelungen, z.B. im Genehmigungsrecht, die Verbreitung der alternativen Lösung begleitet und durch gezielte Verbote die Exnovation in Gang setzt. Die Diffusion der alternativen Lösung in den Massenmarkt ist untrennbar damit verbunden, das Verschwinden der etablierten, aber nicht nachhaltigen Lösung aus dem Massenmarkt (Exnovation) zu organisieren und für eine **Synchronisation von Diffusion und Exnovation** zu sorgen (Basisstrategie 3).

Abbildung 3: Idealtypischer Einsatz der Instrumente der Basisstrategien der Transformation großer Versorgungs- und Produktnutzungssysteme



Quelle: Borderstep

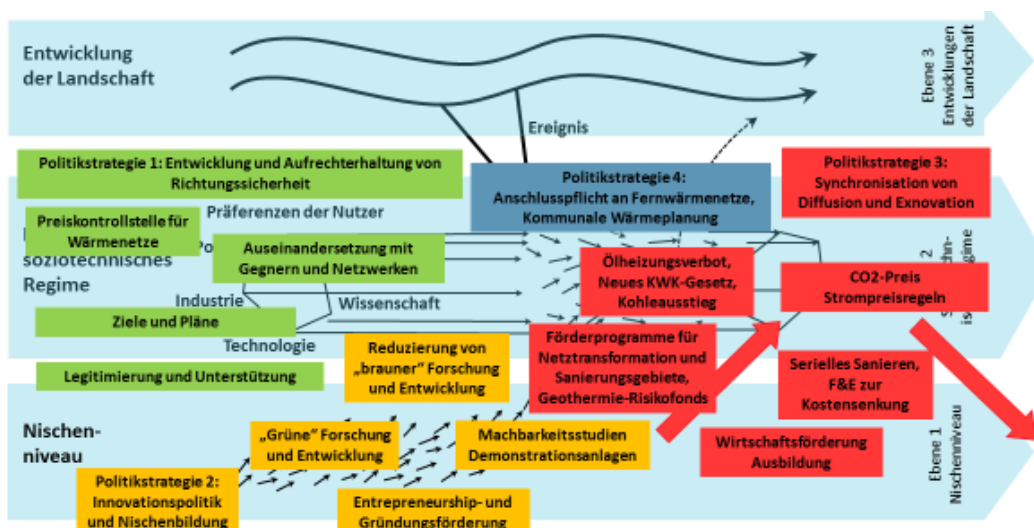
Wie unsere Fallstudien gezeigt haben, kommt es bei radikalen Systemtransformationen auch immer darauf an, dass die notwendigen Infrastrukturen (Strom-, Wärme-, Wassernetze, Schienenwege, Prüf- und Zertifizierungsinstitutionen usw.) durch staatliches Handeln und staatliche Förderung gezielt entwickelt und geschaffen werden: **Infrastrukturentwicklung** ist damit die Basisstrategie 4.

Dieses aus den Fallstudien abgeleitete System politischer Strategien wurde auf Basis der Ergebnisse des AP 2 um eine Instrumentengruppe ergänzt: die Wirtschaftsförderung. Im Rahmen der Analyse der möglichen bzw. notwendigen Maßnahmen zur Synchronisation von Diffusion und Exnovation wurde klar, dass eine Reihe von Maßnahmen hilfreich bzw. erforderlich sein würden, die in die bisher aufgestellten Kategorien nicht hineinpassen. Dabei handelt es sich um:

- Das klassische Spektrum von Maßnahmen der Wirtschaftsförderung, um damit das Wachstum von Unternehmen bzw. Branchen zu stimulieren, die für die Transformation notwendige Produkte oder Dienstleistungen anbieten und deren Verfügbarkeit am Markt noch unbefriedigend ist.
- Ausbildungsmaßnahmen für das Handwerk oder andere Akteure, die für ihre Mitwirkung an der Diffusion neuer Produkte neue Fähigkeiten erlangen müssen.
- Die Stimulierung neuer Formen von Geschäftsmodellen wie z.B. des Contractings, die für die Überwindung bestimmter Diffusionshemmnisse hilfreich erscheinen. Im Falle des Contractings wären dies Liquiditätsengpässe bei Anwendern.
- Die Bildung von Beschaffungsgruppen, mit denen Kundengruppen eine stärkere, stimulierende Marktwirkung erzielen können.

Es ergibt sich so ein erweitertes Bild, in das die in Kapitel 3 aufgeführten Instrumente eingeordnet werden können:

Abbildung 4: Idealtypischer Einsatz der Instrumente der Basisstrategien der Transformation großer Versorgungs- und Produktnutzungssysteme (erweitert)



Quelle: Borderstep

5.2 Versuch der Einordnung in die umweltpolitische Forschung

Es fällt auf, dass das Gros der in der vorliegenden Studie aufgeführten politischen Instrumente im Kontext der Basisstrategie Synchronisation von Diffusion und Exnovation sowie der Infrastrukturentwicklung zuzuordnen sind.

Die Studie unterscheidet sich damit grundsätzlich von dem Ansatz der transformativen Umweltpolitik (TEP) (Frank, Jacob & Quitzow, 2020; Jacob, Wolff, Graaf & Heyen, 2017; Umweltbundesamt, 2018), deren Schwerpunkt auf Problemanalyse und Strategieentwicklung liegt. Gleich sechs der insgesamt acht TEP-Ansätze zur Gestaltung von Nachhaltigkeitstransformationen wären primär der Basisstrategie 1 „Entwicklung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit“ zuzuordnen (Umweltbundesamt, 2018).

- Transformationsfelder systemisch analysieren,
- Gesellschaftliche Trends erkennen, bewerten und politisch adressieren,
- Entwicklung von gesellschaftlichen Leitbildern und Zielen unterstützen,
- Neue Akteure und Akteure mit neuen Rollen einbinden,
- Politiken und Prozesse zeitbewusst gestalten,
- Schnittstellen in und zwischen Systemen gestalten.

Nun kommt klaren, messbaren und damit überprüfbareren Zielen eine hohe Bedeutung zu (Nordbeck, 2002), aber Ziele und Strategie bedürfen für ihre Wirksamkeit der Umsetzung mit einem differenzierten Instrumentarium, welches in der TEP zu kurz kommt. Auch ist der Ansatz ein wenig positivistisch, da er Gegner des Wandels und ihre Strategien nicht wie z.B. Kemfert (2013) in ihrem Buch „Kampf um Strom“ thematisiert. Auch Aspekte wie die Klimawandelskepsis und –leugnung wie auch der politische Streit um Instrumente, wie z.B. um die CO₂-Bepreisung, kommt nicht vor (Kemfert, 2020).

Der TEP-Ansatz „Soziale und institutionelle Innovationen und Experimente fördern“ ist zwar der Basisstrategie 2 „Innovationspolitik und Nischenbildung“ zuzuordnen, blendet aber die Bedeutung von „klassischen“ Innovationen von Produkten und Dienstleistungen weitgehend aus. Die Basisstrategie 4 „Synchronisation von Diffusion und Exnovation“ spiegelt sich im TEP-Ansatz „Nicht-nachhaltige Strukturen beenden (Exnovation)“ und ist von hoher Bedeutung, blendet aber wiederum aus, dass Ersatz für das Nicht-Nachhaltige geschaffen und skaliert werden muss.

Einen starken Fokus auf die Umsetzung mit klaren Vorstellungen zu den Instrumenten rund um Kostenwahrheit, Ordnungsrecht und Ressourcenbeschaffung, um die Pfadwechselkosten stemmen zu können, legen dagegen Führ et al. (2018) mit ihrem Fokus auf eine Klimaschutzpolitik im Gebäudebereich. Für Führ et al. stehen dabei Einzelgebäude im Fokus, die Veränderung von Infrastrukturen wie Wärme- und Gasnetzen wird nicht behandelt.

Mit Blick auf die Strategie 1 „Entwicklung und Aufrechterhaltung von Richtungssicherheit“ ist auch ein Blick auf das Garbage-Can-Modell aufschlussreich (Cohen, March & Olsen, 1972). Das Garbage-

Can-Modell versucht „organisierte Anarchie“ zu verstehen, die durch drei typische Schwachpunkte gekennzeichnet ist:

- Zum einen verstehen die Verantwortlichen die Funktion und Technologie ihres System nur eingeschränkt oder gar nicht und orientieren ihre Handlungen an Erfahrungen der Vergangenheit oder Trial-and-Error.
- Die Entscheidungspräferenzen der Verantwortlichen sind vielfältig, inkonsistent und unklar und ähneln eher eine lockeren Ideensammlung als einer robusten Entscheidungsgrundlage.
- Innerhalb der Gruppe der entscheidenden Personen gibt es zum einen viel Fluktuation und zum anderen zu wenig Zeit und Aufmerksamkeit, um die Probleme und mögliche Lösungen wirklich zu verstehen (ähnlich auch bei Eisenhardt & Zbaracki, 1992).

Auch Zeit spielt eine Rolle. Über die Zeit hinweg tritt ein Strom variierender Probleme auf, für die ein zweiter Strom unterschiedlicher Lösungen zu jeweils unterschiedlichen Zeiten zur Verfügung steht. Diesen Problemen und Lösungen widmen sich verschiedene entscheidende Personen mal mit mehr, mal mit weniger Fachwissen, Interesse und Energie (Cohen et al., 1972). In diesem Durcheinander entstehen dennoch Entscheidungen, oft innerhalb von Windows-of-Opportunity, in denen Problem, Lösung und Interesse eines oder mehrerer Entscheider aufeinandertreffen. Die unbedingte Sinnhaftigkeit der Entscheidungen bleibt aber zu bezweifeln.

Strategische Entscheidungen kommen insoweit aus Sicht von Eisenhardt und Zbaricki (1992, S. 27) eher „politisch“ zustande, weil „(1) Organisationen aus Menschen mit teilweise gegensätzlichen Präferenzen bestehen, (2) strategische Entscheidungsfindung letztlich politisch ist in dem Sinne, dass die Mächtigen bekommen, was sie wollen, und (3) Menschen politische Taktiken wie Kooptierung, Koalitionsbildung und die Nutzung von Informationen zur Stärkung ihrer Macht anwenden“.

Es lässt sich schlussfolgern, dass die Richtungssicherheit von Entscheidungen im politischen Raum sich möglicherweise fördern lässt, wenn:

- Intensiv über die zu lösenden Probleme aufgeklärt wird und deren Zusammenhänge transparent gemacht werden,
- weiter auch über Lösungen aufgeklärt wird, wobei es nicht nur darauf ankommt, gute Lösungen populär zu machen, sondern auch Mythen und Wunschvorstellungen zu entlarven,
- die Analyse des Problems, zu dem im politischen Raum oft wenig Zeit bleibt, in der Öffentlichkeit und unter der Beteiligung von entscheidenden Mitgliedern der politischen Gremien vorzunehmen,
- Koalitionen zu schmieden, um Unterstützung für gute Lösungen zu finden, aber auch, um gegen Scheinlösungen Front zu machen und um gemeinsam die Aufmerksamkeit der Entscheidenden zu gewinnen.

Das Garbage-Can-Modell unterstreicht daher ganz wesentlich die Bedeutung der Herstellung von Richtungssicherheit.

6 Quellen

- 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_Transformationsstrategie_n_FW_IFEU_GEF_AGFW.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
- 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_AGFW_VKU_BEE_BVG.pdf
- Agora Energiewende. (2019). *Wie werden Wärmenetze grün?*. Berlin. Zugriff am 3.2.2020. Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Waermenetze/155_Waermenetze_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
- BAFA. (2020). *Wärmenetze 4.0*. Zugriff am 20.3.2020. Verfügbar unter: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html
- Bigalke, U. (2019, April 2). Sanieren der Zukunft. Gehalten auf der Serielles Sanieren von Mehrfamilienhäusern, Stuttgart. Zugriff am 22.3.2020. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/F%C3%B6rderung%C3%B6glichkeiten/Serielle-Sanierung/190402_Energiesprong_bigalke-dena.pdf
- Bundesministerium der Finanzen. (2020). *Verordnung zur Bestimmung von Mindestanforderungen für energetische Maßnahmen bei zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden nach § 35c des Einkommensteuergesetzes (Energetische Sanierungsmaßnahmen-Verordnung – ESanMV)*. Berlin. 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
- 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>

- 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
- Carbon Pricing Leadership Council. (2019). Carbon Pricing Leadership Council. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.carbonpricingleadership.org/>
- Chittum, A. & Østergaard, P. A. (2014). How Danish communal heat planning empowers municipalities and benefits individual consumers. *Energy Policy*, 74, 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.001>
- 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
- 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. (2019c). *Industrie 4.0 im Kontext von Umweltinnovationen*. CliDiTrans Werkstattbericht 3-4. Berlin: Borderstep Institut. Zugriff am 20.11.2019. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/09/IndustrieVierNull-CliDiTrans20190912.pdf>
- 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.
- Clausen, J. (2020c). *Transformation der Wärmeversorgung. Politisches Instrumentarium und Wachstumspotenziale*. Berlin.
- 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. (2019). The diffusion of environmental product and service innovations: Driving and inhibiting factors. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 64–95. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.003>
- Clausen, J. & Fichter, K. (2020). *Governance radikaler Systemtransformationen. Wirkung politischer Strategien und Instrumente in der Transformation großer Versorgungssysteme*. Berlin: Borderstep Institut.
- 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
- 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>
- Cohen, M. D., March, J. G. & Olsen, J. P. (1972). A Garbage Can Model of Organizational Choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.2307/2392088>
- Dena. (2018a). *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
- Dena. (2018b). *dena-Gebäudereport Kompakt 2018. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Zugriff am 17.4.2019. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9254_Gebaedereport_dena_kompakt_2018.pdf
- Deutsche Energie-Agentur GmbH. (2017). *dena-Gebäudereport 2016*. Berlin.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH. (2019). 22 Wohnungsunternehmen lassen mehr als 10.000 Wohnungen klima- und sozialverträglich sanieren. Zugriff am 23.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/2019/durchbruch-fuer-serielle-sanierung-von-wohngebaeuden/?type=90>
- Die Bundesregierung. (2019a). CO₂-Bepreisung. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-bepreisung-1673008>
- Die Bundesregierung. (2019b, Oktober 9). Klimaschutzprogramm 2030. Zugriff am 2.4.2020. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578>
- Die Bundesregierung. (2019c). *Gesetzesentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude*. Zugriff am 24.10.2019. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetzesentwurf-zur-vereinheitlichung-des-energieeinsparrechts-fuer-gebäude.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Die Bundesregierung. (2020). *Entwurf eines Gesetzes zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz)*. Zugriff am 2.4.2020. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetzesentwurf-kohleausstiegsgesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=8
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B. & Pahle, M. (2019). *Optionen für eine CO₂-Preisreform*. Potsdam.
- Eisenhardt, K. M. & Zbaracki, M. J. (1992). Strategic decision making. *Strategic Management Journal*, 13, 17–37.

- 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>
- Energiesprong. (2019). Energiesprong. Zugriff am 17.4.2019. Verfügbar unter: <https://energiesprong.org/>
- Energiesprong, TNO & RIGO. (2015). *Transition Zero*. Den Haag. Zugriff am 17.4.2019. Verfügbar unter: https://energiesprong.org/wp-content/uploads/2017/04/EnergieSprong_UK-Transition_Zero_document.pdf
- European Commission - DG Connect. (2015). *Policy related Frequently Asked Questions on Pre-Commercial Procurement (PCP) and the link with Public Procurement of Innovative Solutions (PPI)*. Brüssel. Zugriff am 30.9.2019. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/frequently-asked-questions-about-pcp-and-ppi>
- Frank, L., Jacob, K. & Quitzow, R. (2020). Transforming or tinkering at the margins? Assessing policy strategies for heating decarbonisation in Germany and the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, 67, 101513. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101513>
- Führ, M., Rudolph-Cleff, A., Bizer, K., Cichorowski, G., Below, N., Bredenkamp, L. et al. (Hrsg.). (2018). *Dämmen allein reicht nicht: Plädoyer für eine innovationsoffene Klimaschutzpolitik im Gebäudereich*. München: oekom verlag.
- Gandenberger, C., Clausen, J., Beigang, A., Braungardt, S. & Fichter, K. (unveröffentlicht). *Umweltinnovationen 3: Internationale Best-Practice Beispiele der Förderung und Handlungsempfehlungen*. Unveröffentlicht. Dessau-Roßlau.
- 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
- 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
- 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.psm1?showdoccase=1&st=null&doc.id=jlr-KlimaSchGHA2020rahmen&doc.part=X&doc.origin=bs>
- 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>
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018). *Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/06/DI_Studie.pdf

- Jacob, K., Wolff, F., Graaf, L. & Heyen, D.-A. (2017). *Transformative Umweltpolitik: Ansätze zur Förderung gesellschaftlichen Wandels. Impulspapier zur Konferenz am 15.05.2017, BMUB Berlin*. Berlin. Zugriff am 4.7.2018. Verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Impulspapier_Transformative_Umweltpolitik.pdf
- Kemfert, C. (2013). *Kampf um Strom: Mythen, Macht und Monopole* (3. Auflage.). Hamburg: Murmann.
- Kemfert, C. (2020). *Mondays for Future Freitag demonstrieren, am Wochenende diskutieren und ab Montag anpacken und umsetzen*. Hamburg.
- 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
- Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung. (2019). *Abschlussbericht Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“*. Berlin.
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. (2020). NIBIS Kartenserver. Niedersächsisches Bodeninformationssystem. Zugriff am 8.4.2020. Verfügbar unter: <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>
- Landeshauptstadt Hannover. (2020). Solaratlas Hannover GIS. Zugriff am 8.4.2020. Verfügbar unter: <https://www.hannover-gis.de/GIS/?thema=36>
- Landeshauptstadt Hannover, Region Hannover. (2014). *100 % für den Klimaschutz. Klimaneutrale Region 2050*. Hannover. Zugriff am 26.12.2019. Verfügbar unter: <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Klimaschutz-Energie/Klimaschutzregion-Hannover/Masterplan-100-f%C3%BCr-den-Klimaschutz/Ergebnisse>
- Leibnizinstitut für angewandte Geophysik. (2018a). *Positionspapier: Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende. Wie Deutschland 60 % erneuerbare Wärme bis 2050 schaffen könnte*. Hannover. Zugriff am 31.1.2020. Verfügbar unter: https://www.leibniz-liag.de/fileadmin/user_upload/s4/downloads/positionspapier_waermewende.pdf
- Leibnizinstitut für angewandte Geophysik. (2018b). *Hydrothermisches Potenzial ab 60°C*. Hannover. Zugriff am 31.1.2020. Verfügbar unter: <https://www.windkraft-journal.de/2018/09/13/geothermie-statt-kohle-erdwaerme-kann-einen-bedeutenden-beitrag-zum-kohleausstieg-leisten/127426>
- Mattauch, L., Creutzig, F., aus dem Moore, N., Francks, M. & Funke, F. (2020). *Antworten auf zentrale Fragen zur Einführung von CO2-Preisen (Version 2.0)*. Berlin. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: <https://zenodo.org/record/3644498#.XnIT8bi1TVM>
- 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>
- Nill, J. (2009). *Ökologische Innovationspolitik: eine evolutiv-ökonomische Perspektive*. Marburg: Metropolis.

- Nordbeck, R. (2002). *Nachhaltigkeitsstrategien als politische Langfriststrategien: Innovationswirkungen und Restriktionen*. Nr. 01–02. Berlin. Zugriff am 11.6.2020. Verfügbar unter: <https://core.ac.uk/download/pdf/199418418.pdf>
- Ökolandbau.de. (2020, Januar 15). Agrophotovoltaik: Acker und Solarenergie optimal kombinieren. Zugriff am 13.7.2020. Verfügbar unter: <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/betrieb/oekonomie/diversifizierung/agrophotovoltaik-acker-und-solarenergie-optimal-kombinieren/>
- Pehnt, M. (2016). *Wärmenetzsysteme 4.0 -Endbericht. Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen“*. Heidelberg, Berlin, Düsseldorf. Zugriff am 9.8.2019. Verfügbar unter: <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.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
- Plan Energi. (2018a). *Solar District Heating Trends and Possibilities—Characteristics of Ground-Mounted Systems for Screening of Land Use Requirements and Feasibility*. Kopenhagen. Zugriff am 7.6.2019. Verfügbar unter: <http://iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/SDH-Trends-and-Possibilities-IEA-SHC-Task52-PlanEnergi-20180619.pdf>
- Plan Energi. (2018b). *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=2ahUKEwjpoSYkvTmAhUM-zKQKHVMpD6QQFjAEegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fens.dk%2Fsites%2Fens.dk%2Ffiles%2FAnalyser%2Ftechnologydata_for_energy_plants_-_chapter_45_geothermal_dh.docx&usg=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
- Projekt APV-RESOLA. (2020). Politische Rahmenbedingungen. Zugriff am 13.7.2020. Verfügbar unter: <https://www.agrophotovoltaik.de/weiterführende-informationen/politische-rahmenbedingungen/>
- Quaschnig, V. (2016). *Energiewende im Wärmebereich*. Berlin. Zugriff am 9.1.2020. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=S4wx9P_bU3Q
- Rijksdienst voor Ondernemend & Nederland. (2019). *Regeling nationale EZ subsidies - Risico's dekken voor Aardwarmte*. Roermond.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (Band 5). New York: Free Press.
- 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.
- Stadt Aarau. (2013). *Kommunaler Energieplan*. Aarau. Zugriff am 20.3.2020. Verfügbar unter: https://www.aarau.ch/public/upload/assets/3871/Kommunaler_Energieplan_Bericht.pdf

- Stadt Winterthur. (2013). *Kommunaler Energieplan Winterthur*. Winterthur. Zugriff am 20.3.2020. Verfügbar unter:
http://stadtplan.winterthur.ch/system/docs/Energieplan/Energieplan_Bericht.pdf
- SubWW Wärmewende Stuhr-Weyhe e.V. (2020). SubWW Wärmewende Stuhr-Weyhe e.V. Zugriff am 23.2.2020. Verfügbar unter: <http://www.subww-leeste.de/Das-Projekt/>
- Tappeser, V. (2018). *Energiesprung Niederlande: Standardisierung und Skalierung energetischer Sanierungsmaßnahmen im industriellen Maßstab*. Berlin. Zugriff am 5.7.2018. Verfügbar unter:
https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2018-01-e2g-fallstudie_waerme_energiesprung_adelphi.pdf
- Tischner, T., Krug, S., Jatho, R. & Orilski, J. (2012, Oktober 18). Möglichkeiten der geothermischen Nutzung der Bückeberg-Formation im Raum Hannover-Celle. Gehalten auf der Norddeutscher Geothermietag; „Bückeberg-Formation“.
- Trina Solar. (2020). 2020 TrinaProMega Global Launch. Zugriff am 12.7.2020. Verfügbar unter:
<http://pages.trinasolar.com/trinapromega.html>
- Umweltbundesamt. (2018). *Transformative Umweltpolitik: Nachhaltige Entwicklung konsequent fördern und gestalten*. Dessau-Roßlau. Zugriff am 11.6.2020. Verfügbar unter:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/transformative_umweltpolitik_nachhaltige_entwicklung_konsequent_foerdern_und_gestalten_bf.pdf
- 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
- Verbraucherzentrale Bundesverband. (2016). *Fernwärme: Notwendige Reformen des Monopolsektors*. Berlin. Zugriff am 20.3.2020. Verfügbar unter:
<https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Fernwaerme-Reformen-Monopolsektor-Positionspapier-vzbv-DMB-bne-2016-02-24.pdf>