evolution2green

ARBEITSPAPIER

Wärmenetze

Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy

Jens Clausen (Borderstep)

Stand: Januar 2017

Eine Kooperation von: Borderstep Institut, izt Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, adelphi

Projektleitung

adelphi research gemeinnützige GmbH
Alt-Moabit 91 T +49 (0)30-89 000 68-0 www.adelphi.de
14193 Berlin F +49 (0)30-89 000 68-10 office@adelphi.de

Projektpartner

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
Clayallee 323 T: +49 (0)30 - 306 45 1000 www.borderstep.de
14169 Berlin info@borderstep.de

IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH
Schopenhauerstr. 26 T: +49 (0) 30 80 30 88-0 www.izt.de
14129 Berlin info@izt.de

Abbildung Titel: © Stadtwerke Rostock AG

evolution2green wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

FONA
Sozial-ökologische Forschung
BMBF

© 2017 **adelphi, Borderstep, IZT**

Executive Summary

The present analysis was carried out as part of the project “Evolution2Green – Transformation Pathways towards a Green Economy: Shaping Path Change”. As one of four studies in the area of “heat supply”, it deals with the field of transformation “district heating”, characterized by significant environmental externalities, as well as impediments to transformation.

The paper describes the field of transformation, as well as the actors involved. Within the frame of the analysis, firstly, path dependencies were identified that present barriers to the transformation towards a sustainable economy. Secondly, relevant transformation approaches were analyzed.

Especially strong path dependencies, understood here as having an especially significant stabilizing effect on the current system and thus representing a major obstacle for path change, have been identified as follows:

- On a governmental level, prices for fossil fuels are kept low by the non-functioning EU emissions trading scheme and low energy taxes. Because of these low prices for fossil fuels, there is no economic incentive from the point of view of the large energy suppliers to open up renewable energy sources or to invest in district heating networks for the use of waste heat or for the utilization of otherwise unusable renewable energies.
- The large and medium-sized energy suppliers are "historically trained" on large and fossil electricity and heating networks. In addition to the considerable investments that are made in the large fossil cogeneration power plants of district heating, the development of tailor-made and regenerative district solutions has not been widespread.
- For local authorities, the shareholdings in their municipalities are an important factor in budget management. Regional energy plans with might result in the designation of district heating areas or the use of local sources of energy, which would reduce the profitability of energy suppliers. The municipalities are thus in a dilemma.
- Key technologies of a low-exergy heat supply, such as the heat transformer and the long-term storage tank, or a satisfactory solution to the legionella-problem at low temperature of the hot water supply are not ready for series and are not yet available for a path change.

The federal German government and the Länder, the heating companies in industry and trade, district heaters and energy suppliers, and ultimately the owners of single and multi-family houses, form the heat supply actors.

As transformation approaches for a desirable path change towards a green economy, the further development of the High-Exergy heat supply can be achieved through biomass and “Bioenergiedörfer”, Power to Heat as well as efficient heat networks identified by digitization. The development and diffusion of a low-Exergy heat supply can be deployed by means of solar heat, geothermal energy, waste heat, "cold heating networks", as well as local heating and district networks.

Zusammenfassung

Die vorliegende Transformationsfeldanalyse wurde im Rahmen des Projekts „Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy: den Pfadwechsel gestalten“ angefertigt. Als eine von drei Studien aus dem Bereich „Wärmeversorgung“ thematisiert sie das durch signifikante Umweltauswirkungen und erhebliche Transformationshemmnisse geprägte Transformationsfeld „Wärmenetze“.

Das Papier beschreibt das Transformationsfeld sowie beteiligte Akteure. Im Rahmen der Untersuchung wurden Pfadabhängigkeiten identifiziert, die eine Transformation hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise verhindern, sowie relevante Transformationsansätze analysiert.

Als besonders starke Pfadabhängigkeiten, also jene, die das derzeitige System in besonders hohem Ausmaß stabilisieren und somit ein besonders starkes Hemmnis für einen Pfadwechsel darstellen, wurden folgende identifiziert:

- Auf staatlicher Ebene sind niedrige Preise für fossile Energieträger durch den nichtfunktionierenden EU-Emissionshandel und niedrige Energiesteuern auf lange Zeit festgeschrieben. Aufgrund dieser niedrigen Preise für fossile Energieträger besteht aus Sicht der großen Energieversorger keinerlei wirtschaftlicher Anreiz, erneuerbare Energieträger zu erschließen oder in Wärmenetze zur Abwärmenutzung oder zur Nutzung sonst nicht nutzbarer erneuerbarer Energien zu investieren.
- Die großen und mittelgroßen Energieversorger (EVU’s) sind historisch auf große und fossile Strom- wie Wärmenetze „trainiert“. Neben den erheblichen Investitionen, die in den großen fossilen KWK-Kraftwerken der Fernwärmeversorgung festliegen, ist die Entwicklung maßgeschneiderter und regenerativ gespeister Quartierslösungen bisher nicht verbreitet.
- Für die Kommunen sind die Beteiligungen an ihren Stadtwerken ein wichtiger Faktor zur Deckung des Haushaltes. Regionale Energiepläne mit einer u.U. aus ihnen erwachsenden Konsequenz zur Ausweisung von Fernwärmeversorgungsgebieten oder zur Nutzung lokaler Energiequellen würde die Ertragskraft der Energieversorger schmälern. Die Kommunen befinden sich damit im Dilemma.
- Schlüsseltechnologien einer Low-Exergy Wärmeversorgung wie der Wärmetransformator und der Langzeitwärmespeicher oder eine befriedigende Lösung des Legionellenproblems bei niedriger Warmwassertemperatur sind nicht serienreif und stehen für einen Pfadwechsel gegenwärtig noch nicht zur Verfügung.

Als Akteure gestalten Bund und Länder, die Unternehmen der Heizungsbranche in Industrie und Handwerk, die Fernwärme- und Energieversorger und letztlich die Besitzer von Ein- und Mehrfamilienhäusern die Wärmeversorgung

Als bisher konzipierte und erprobte Transformationsansätze für einen wünschenswerten Pfadwechsel in Richtung einer Green Economy wurden die Weiterentwicklung der High-Exergy Wärmeversorgung z.B. durch Biomasse und Bioenergiedörfer, Power to Heat sowie effiziente Wärmenetze durch Digitalisierungidentifiziert. Die Entwicklung und Diffusion einer Low-Exergy Wärmeversorgung kann durch solare Wärme in Wärmenetzen, Tiefengeothermie, Abwärmenutzung, „Kalte Wärmenetze“ sowie durch Nahwärmeinseln und Quartiersnetze erfolgen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis VI

Abkürzungsverzeichnis VI

1 Ziel und Methodik 7

2 Transformationsfeld 8

2.1 Funktion von Wärmenetzen 8
2.2 Akteure 10
2.3 Historische Entwicklung 12
2.4 Umweltwirkungen 12

3 Pfadabhängigkeiten 14

3.1 Charakterisierung der Stärken des etablierten Pfades, 14
3.2 Transformationshemmnisse und Pfadabhängigkeiten, 15
3.2.1 Rechtliche Pfadabhängigkeiten 15
3.2.2 Ökonomische Pfadabhängigkeiten 16
3.2.3 Technologische Pfadabhängigkeiten 18
3.2.4 Organisationale Pfadabhängigkeiten 19
3.2.5 Nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten 20
3.3 Angriffspunkte und Schwächen des etablierten Pfades 20

4 Transformationsansätze 22

4.1 Weiterentwicklung der High-Exergy Wärmeversorgung 24
4.1.1 Biomasse 24
4.1.2 Bioenergiedörfer 25
4.1.3 Power to Heat 26
4.1.4 Effiziente Wärmenetze durch Digitalisierung 26
4.2 Entwicklung und Diffusion der Low-Exergy Wärmeversorgung 27
4.2.1 Solare Wärme in Wärmenetzen 27
4.2.2 Tiefengeothermie 29
4.2.3 Abwärme 30
4.2.4 Kalte Wärmenetze 31
4.2.5 Nahwärmeinseln und Quartiersnetze 31
4.3 Beurteilung der Transformationsansätze. 32
4.4 Das Akteurssystem der Transformation 33

5 Fazit und Möglichkeiten für Pfadwechsel 36

5.1 Pfadabhängigkeiten 36

5.2 Auswirkungen der Pfadabhängigkeiten auf die Transformationsansätze 37

5.3 Erste Handlungsempfehlungen 38

Experteninterviews 41

Literaturverzeichnis 42

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Das Wärmenetz im Zentrum der Versorgung mit Wärme und Kälte mit hohem EE-Anteil 8

Abbildung 2: Brennstoffeinsatz für Strom und Wärmeerzeugung in Heizkraftwerken der AGFW einschließlich Fremdbezug 9

Abbildung 3: Marktentwicklung Wärmeerzeuger für Einzelheizungen 2005 bis 2015 10

Abbildung 4: Entwicklung des Erdölpreises 1986 bis 2016 14

Abbildung 5: Ausbaupfad der Nah- und Fernwärme gemäß der Leitstudie 2007 des BMU (linke Achse) und Anteil der Wärmenetze am gesamten Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser des jeweiligen Jahres (rechte Achse). 23

Abbildung 6: Marktanteile der Wärmeversorgung privater Haushalte und des GHD-Sektors in Dänemark 23

Abbildung 7: Kollektorfelder und Saisonalspeicher in Marstal. 28

Abbildung 8: Zahl der Großsolaranlagen in Dänemark nach Jahr der Inbetriebnahme. 28

Abbildung 9: Gewinner und Verlierer einer Wärmewende durch Wärmenetze 34

Abbildung 10: Pfadwechsel Wärmenetze 38

Tabelle 1: Auswirkungen von Pfadabhängigkeiten auf Transformationsansätze 37

Abkürzungsverzeichnis

AGFW	AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.
BDH	Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie
BFW	Bundesverband Fernwärmeleitungen
BHKW	Blockheizkraftwerk
DEA	Danish Energy Agency
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EVU	Energieversorgungsunternehmen
IG BCE	Industriegewerkschaft Bergbau Chemie Energie
KWK	Kraft Wärme Kopplung

1 Ziel und Methodik

Das Projekt Evolution2Green wird von adelphi gemeinsam mit dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und dem Borderstep Institut durchgeführt. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung thematisiert das Vorhaben Transformationspfade hin zu einer Green Economy und die Gestaltung von Pfadwechseln.

Im zweiten Arbeitspaket des Projektes erfolgt die Analyse von 15 durch signifikante Umweltauswirkungen und erhebliche Transformationshemmnisse geprägten, Transformationsfeldern in den Bereichen Mobilität, Energie, Ernährung/Landwirtschaft und Ressourcen[1]. Diese Transformationsfelder werden anhand des im ersten Arbeitspaket entwickelten Modells der evolutorischen Ökonomik (Clausen, 2016a) auf Pfadabhängigkeiten untersucht, die einer Transformation zur Green Economy entgegenwirken. Weiter wird ein Überblick über die bekannten Transformationsansätze geschaffen und diese den drei Leistrategien Effizienz, Konsistenz und Suffizienz zugeordnet (Behrendt, Göll & Korte, 2016).

Basis der Problemanalyse sind neben den Vorarbeiten der drei Institute in den jeweiligen Feldern umfangreiche Analysen der Literatur und der verfügbaren Internetquellen. Interviews mit 4 bis 6 ausgewählten Experten, die zum Ziel haben, die Pfadabhängigkeit und deren Faktoren in den einzelnen Themenfeldern (Binnenlogik und -kultur) besser zu verstehen, erweitern die Datengrundlage.

Primäres Ergebnis je Problem- bzw. Transformationsfeld ist eine Beschreibung der Akteure, Kräfte und Sektordynamiken mit ihren jeweiligen Pfadabhängigkeiten. Teil der Studie sind auch die Analyse der bisher konzipierten und erprobten Transformationsansätze sowie erste Hinweise auf politische Gestaltungsmöglichkeiten.

Das vorliegende Papier beschreibt das Transformationsfeld „Wärmenetze“.

[1] In die Auswahl der Problemfelder sind sowohl die aus den Indikatoren der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2012) ersichtliche Problemdrücke, als auch Bemühungen zur Herstellung eines Gleichgewichts zwischen verschiedenen Handlungsbereichen, sowie Bezügen zu den Zukunftsherausforderungen Globalisierung und Digitalisierung eingeflossen.

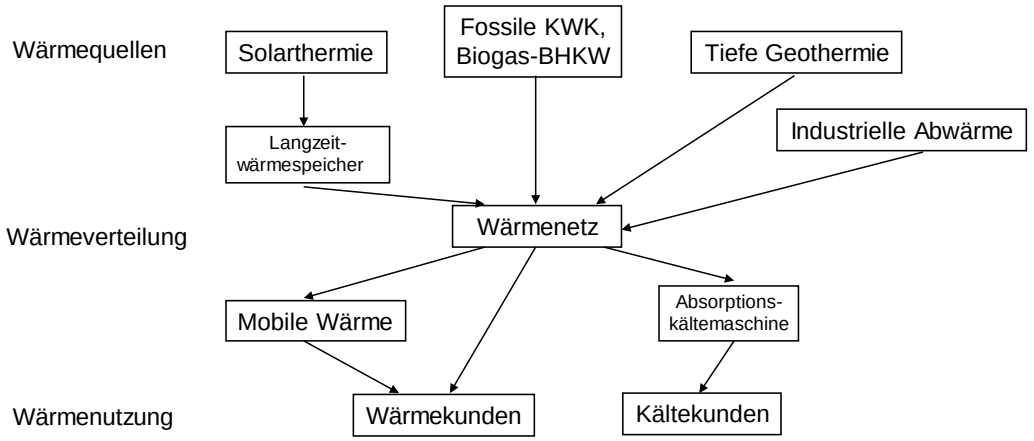
2 Transformationsfeld

2.1 Funktion von Wärmenetzen

Wärmenetze dienen der Versorgung von Gebäuden mit Heizung und Warmwasser. Es können unterschiedliche Wärmequellen wie KWK, Biomasse-Heizwerke, BHKW, Solar, Abwärme und Geothermie zur Anwendung kommen. Die Netze selbst sind wärmegedämmte Rohre, die überwiegend erdverlegt sind. In jedem angeschlossenen Gebäude sind sogenannte Hausübergabestationen erforderlich, in denen die Wärme in einem Wärmetauscher auf ein separates Gebäudenetz übertragen und auch der Wärmeverbrauch erfasst wird. In der Zentrale ist eine Steuer- und Regeltechnik für das Wärmenetz erforderlich. Als Wärmeträger wird fast immer Wasser eingesetzt.

Wärmenetze stellen, wie im Folgenden gezeigt wird, eine Schlüsseltechnologie einer zukünftigen und nachhaltigen Wärme- und Kälteversorgung dar. Ein zukünftiges System der integrierten Versorgung mit Wärme und Kälte mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energie erfordert eine Vernetzung diverser neuer bzw. noch wenig verbreiteter Technologien in deren Zentrum das Wärmenetz steht.

Abbildung 1: Das Wärmenetz im Zentrum der Versorgung mit Wärme und Kälte mit hohem EE-Anteil



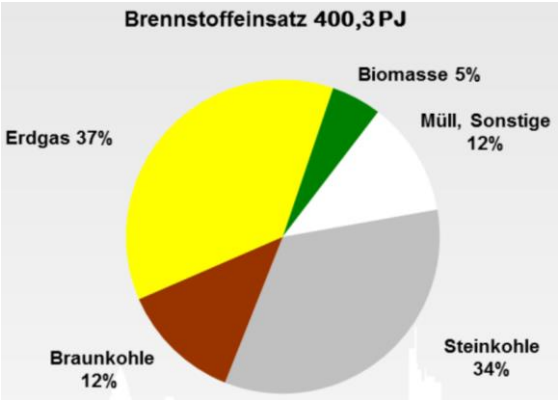
Quelle: auf Basis von Clausen (2013, S. 6)

Fernwärmenetze gibt es in fast allen deutschen Großstädten über 100.000 Einwohner, meist fokussiert auf Gebiete hoher Wärmeverbrauchsdichte. 1.400 große Netze (AGFW, 2013, S. 22) mit einer Gesamtlänge von knapp 21.000 Kilometern (AGFW e.V., 2015a, S. 11) verteilen die Wärme.

Im Jahr 2014 betrug der Anteil des fernwärmebeheizten Wohnungsbestands ca. 13,5 %, nach 12% in 1995 ist hier nur ein Anstieg von 1,5 % zu verzeichnen (AG Energiebilanzen, 2015, S. 14). Als primäres Beheizungssystem in neuen Wohnungen wurden Fernheizsysteme in 2014 in 21.5% der Gebäude installiert, dicht gefolgt von Wärmepumpen in 19,9% der Objekte und deutlich hinter Gas in 49,8% der Objekte (AG Energiebilanzen, 2015, S. 13).

83% der in die großen Netze[2] eingespeisten Wärme werden in KWK erzeugt, 15% ohne KWK in Heizwerken und 2% sind industrielle Abwärme (AGFW e.V., 2015a, S. 10). Die Menge der eingespeisten industriellen Abwärme nahm dabei von 2.790 TJ in 2009 auf 4.000 TJ in 2014 zu. 80% der Netto Wärmerzeugung erfolgen in 187 großen und zentralen KWK-Kraftwerken, 15% in 2.439 kleinen Heizwerken und 5% in 886 dezentralen BHKW (AGFW e.V., 2015a, S. 16). Die Zahl der Abwärmequellen ist nicht dokumentiert. Die Herkunft der KWK-Wärme ist zu 83% fossil auf Basis von Steinkohle, Braunkohle und Erdgas.

Abbildung 2: Brennstoffeinsatz für Strom und Wärmeerzeugung in Heizkraftwerken der AGFW einschließlich Fremdbezug



Quelle: AGFW (2015a, S. 23)

Zum etablierten Pfad der Wärmeversorgung gehören neben den Fernwärmeanbietern die Thermotechnikunternehmen sowie Installateure, die Heizanlagen für Einzelgebäude liefern und einbauen sowie die Energiedienstleister, die diese mit Erdgas und Heizöl versorgen. Da der Ausbau von Wärmenetzen zur Folge hat, dass weniger Einzelheizungen verkauft werden können und auch die Energieträger dafür weniger abgesetzt werden, wird hier ein kurzer Blick auf den Markt für Wärmeerzeuger incl. solarthermischer Anlagen geworfen.

In Einzelgebäuden werden bisher primär Gas- und Ölheizungen verbaut, auch 2015 haben diese beiden fossilen Energieträger einen Marktanteil von zusammen 87,8% (Abbildung 3). Ein Interviewpartner weis darauf hin, dass durch den fallenden Ölpreis gegenwärtig wieder erhebliche Mengen an Ölbrennwertkesseln abgesetzt werden.

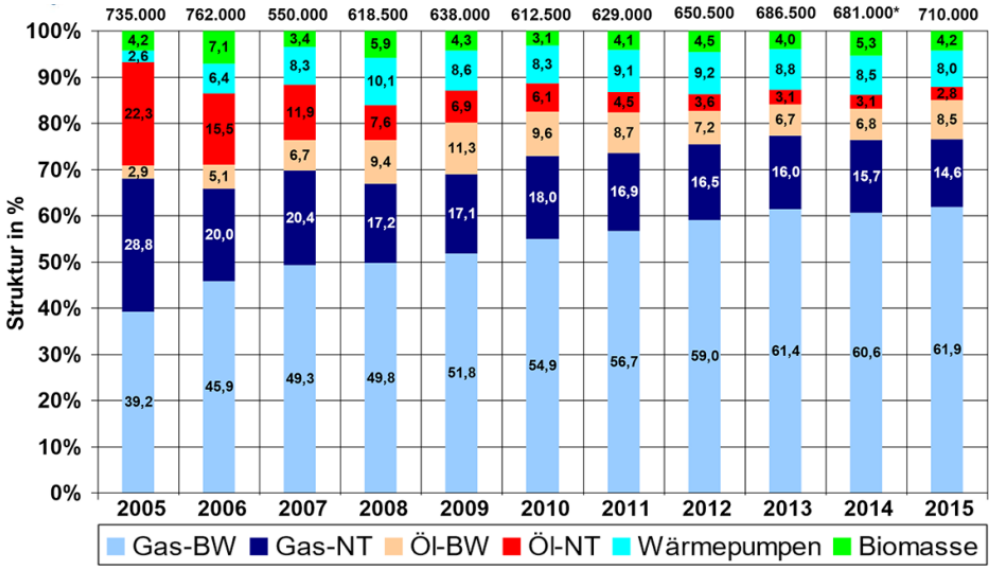
Obwohl in 2014 die Zahl von 112.000 Solarthermieanlagen auf Einzelhäusern installiert wurden (BSW Solar, 2015), also in etwa 16% der „Investitionsfälle", werden sie in dieser Statistik nicht mitgeführt, da sie nur die primären Wärmeerzeuger dokumentiert. Die Marktentwicklung der Heizungstechnologien auf Basis erneuerbarer Energien verlief aus Sicht der Branche schleppend (Baulinks, 2016):

- „Biomassekessel mussten in 2015 Markteinbußen von 18% hinnehmen. Als Ursache hierfür gelten der niedrige Ölpreis und die vergleichsweise hohen Investitionskosten.
- Wärmepumpen wiederum hatten unter den hohen Strompreisen zu leiden. Mit 57.000 abgesetzten Geräten und einem Minus von 2% hielt die Technologie in etwa das Niveau des Vorjahres.

[2] Die Begriffe Fern- und Nahwärmenetz sind nicht klar gegeneinander abgegrenzt. In vielen Städten gibt es Fernwärmenetze, die als große Netze hunderte und tausende von Gebäuden versorgen. Begrifflich davon abgegrenzt werden davon Nahwärmenetze, die als Quartiersnetze, dörfliche Netze oder nur zur Versorgung einier Gruppe von Reihenhäusern dienen.

- Als Folge der verbesserten Förderung im Rahmen des Marktanreizprogramms konnte die Solarthermie im letzten Quartal 2015 aufholen, schloss allerdings aufs Jahr gesehen mit einem Minus von 10 Prozent ab.“

Abbildung 3: Marktentwicklung Wärmeerzeuger für Einzelheizungen 2005 bis 2015



Quelle: Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) unter http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Daten_Fakten/BDH_Marktentwicklung_2005-2015.jpg vom 3.3.2016

2.2 Akteure

Als Akteure gestalten Bund und Länder, die Unternehmen der Heizungsbranche in Industrie und Handwerk, die Fernwärme- und Energieversorger und letztlich die Besitzer von Ein- und Mehrfamilienhäusern die Wärmeversorgung.

Staatliche Akteure definieren durch die nationale Gesetzgebung der Bundesregierung den Rahmen für die Wärmewirtschaft. Landesregierungen gestalten Förderbedingungen und sind wichtige Akteure bei der Stadt- und Regionalplanung. Kommunen sind die Hauptakteure der Stadtplanung und legen Bebauungspläne fest, die auch Anforderungen an die Wärmeversorgung enthalten können.

Als Wirtschaftsakteure betrieben 550 der rund 1.000 deutschen Energieversorgungsunternehmen Nah- und Fernwärmenetze (AGFW, 2013, S. 22). Der „Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.“, früher „Arbeitsgemeinschaft Fernwärmenetze“ (AGFW) wurde 1971 gegründet. Er umfasst etwa 500 Betreiber und Planer von Netzen sowie Komponentenhersteller. Stark vertreten sind hier Fernwärmenetzbetreiber. Der Verband betreibt vornehmlich Lobbypolitik für die existierenden Netzbetreiber (www.agfw.de). Im Bundesverband Fernwärmeleitungen (BFW) sind 19 Hersteller von Komponenten zusammengeschlossen (/www.bfwev.de).

Eine weitere wichtige Akteursgruppe mit Bedeutung für kleine Wärmenetze sind die Lieferanten und Betreiber von BHKWs. Zum Ende 2009 schätzte das Ökoinstitut den Bestand an BHKWs bereits auf 33.000 Stück (Gores, 2010, S. 21). Unter Einfluss des KWK-Gesetzes sind bis Ende 2013 noch einmal ca. 20.000 Anlagen hinzugekommen (Gores, Emele & Förster, 2014, S. 26), so dass der Gesamtbestand schon 2013 bei über 50.000 Anlagen lag. Das Gros der Betreiber von BHKWs ist im AGFW nicht vertreten, was in den meisten Fällen daran liegen dürfte, dass die Anlagen nur ein einzelnes Gebäude versorgen und kein Wärme-

netz. Die Zahlen des BAFA weisen aber aus, dass in den Jahren 2009 bis 2013 der Bau von 2.278 Wärmenetzen mit einer Trassenlänge von über 2.000 km bewilligt wurde (Gores et al., 2014, S. 32). Mindestens 900 Netze hiervon wurden komplett neu gebaut, stellen also keine Erweiterungen vorhandener Netze dar. Mit dem Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. (BKWK) existiert damit seit der Gründung im Jahr 2001 ein Verband, der eher die Betreiber von kleinen Wärmenetzen vertritt.

Im Zuge der Förderung der Bioenergie durch das EEG und als Ausdruck der Bürgerenergiebewegung kam es zur Gründung erster Bioenergiedörfer, die durchweg über Wärmenetze verfügen. Heute sind knapp 175 Bioenergiedörfer bekannt (www.wege-zum-bioenergiedorf.de).

Im vom Zentralverband Sanitär Heizung Klima vertretenen deutschen Installations- und Heizungshandwerk arbeiten ca. 350.000 Menschen, in der durch den Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., (BDH) vertretenen deutschen Heizungsindustrie noch einmal ca. 70.000 Menschen (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2014). Der BDH sieht sich wie folgt: „Das bewährte Bündnis des deutschen Handwerks und der deutschen Industrie ist Garant für die Steigerung der Energieeffizienz von Heizungssystemen und die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Energiemix im Wärmemarkt“ (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2013, S. 8). Nach eigener Aussage des BDH entsprechen 70% der in Deutschland installierten Heizungsanlagen allerdings nicht dem Stand der Technik, die jährlich installierte Kollektorfläche entwickelt sich seit 2008 stark rückläufig und halbierte sich in diesem Zeitraum und der Marktanteil von Biomassekesseln und Wärmepumpen liegt stabil bei ca. 12%[3] - trotz der andauernden Aktivität dieses Garanten für Effizienz. Der BDH vertritt zur Frage der Ausschleusung fossiler Energieträger aus dem Wärmemarkt und zum Ausbau von Netzen eine explizit konträre Position (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2014, S. 7):

> Die Erwartung des Verbrauchers zielt auf die sozialverträgliche, technologieoffene und marktwirtschaftlich orientierte Umsetzung der Energiewende im Wärmemarkt. Dazu müssen die freie Wahl des Energieträgers und des Heizungssystems zur Effizienzsteigerung im Gebäude, ein transparenter Wärmepreis, Systemwettbewerb und die Chancengleichheit zwischen den Beheizungsarten einschließlich der Möglichkeit zum zeitnahen Anbieter- und Technologiewechsel gewährleistet sein. Anschluss- und Benutzungszwang, Verbrennungsverbote und andere Zwangsmaßnahmen müssen die Ausnahme bleiben und dürfen nicht zum Normalfall werden.

Diese pseudoliberale Haltung, der BDH spricht auch von „diskriminierungsfreiem Einsatz aller Energieträger“ (a.a.O. S. 2), überlässt die Entwicklung der Marktanteile der Versorgungssysteme den Marktkräften und damit der Dynamik der zu niedrigen Preise für fossile Energien.

Die Umweltverbände schalten sich aktuell in die Debatte um eine Wärmewende als Ergänzung der Energiewende ein (Deutsche Umwelthilfe, 2016; Klima Allianz Deutschland, 2016). Sie fordern eindeutige Preissignale, vermehrte Nutzung von Geothermie, Solarwärme und Abwärme, schlagen aber auch kommunale Wärmepläne und ein für die Transformation wirksameres Bundesrecht (EEWärmeG) vor.

Im Vergleich zu Dänemark sind die staatlichen Akteure bei der Gestaltung des politischen Rahmens der Wärmeversorgung sehr liberal und keine der drei Ebenen ist sehr aktiv. Private Akteure können so nur das gestalten, was im geltenden Rechtsrahmen wirtschaftlich

[3] Vgl. http://www.bdh-koeln.de/presse/daten-fakten.html vom 5.4.2016.

machbar ist. Dementsprechend entwickeln sich vor dem Hintergrund historisch niedriger Preise für fossile Energien nur wenige Marktnischen, in denen die Transformation zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung sichtbare Fortschritte macht.

2.3 Historische Entwicklung

Die ersten Fernwärmenetze wurden 1876 in den USA und 1880 in Deutschland errichtet. 1929 waren in Deutschland bereits 40 Fernwärmenetze bekannt. Die Wärmenetzeinspeisung wuchs zwischen 1950 von 10 PJ/a bis 1960 um das 4-fache. Bis 1970 war es bereits das 11-fache (110 PJ/a). Nach knapp 400 PJ/a in den Jahren 1990 bis 1995 sank der Wert bis 2002 bei 270 PJ/a (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016, S. 41). Als Grund für dies Absinken gab ein Interviewpartner die Umwandlung von Dampf- in Heißwassernetze sowie die Abschaltung von Wärmenetzen und Sanierungen in Ostdeutschland an. Im Jahr 2014 hat sie wieder 278 PJ erreicht (AGFW e.V., 2015b, S. 29).

Seit den 1980er Jahren wurde durch neue Akteure mit BHKWs experimentiert und Anfang der 1990er Jahre wurden serienreife kleine BHKW angeboten und teilweise in Nahwärmenetze eingebunden. Erster starker Marktakteur war Fichtel & Sachs unter der Marke Senertec bzw. Dachs, heute im Eigentum der britischen Baxi-Group[4]. Ein starker Marktschub fand durch das KWK Gesetz 2002 statt.

In 2005 nahm das erste Bioenergiedorf seinen Betrieb auf. Die Novelle des KWK-Gesetzes aus 2009 ermöglichte erstmals wieder die Förderung des (Aus-)Baus von Wärmenetzen. Die Förderung von Abwärmenetzen wurde in 2012 als Sonderfall in das KWKG aufgenommen.

2.4 Umweltwirkungen

Wärmenetze sind Infrastrukturen, durch die sonst nicht nutzbare Wärmemengen einer Nutzung zugeführt werden können. Sie haben damit implizit eine Doppelfunktion:

- Einerseits ermöglichen sie es, die in technischen Anlagen wie Kraftwerken oder exothermen Produktionsprozessen anfallende und dort nicht nutzbare Wärme zu Heizzwecken zu anderen Akteuren zu transportieren. Diese Nutzung ist nicht auf thermische Kraftwerke beschränkt. Heute wird auch Abwärme aus Rechenzentren bereits in Wärmenetze eingespeist.
- Andererseits machen sie es möglich, Energieträger zu nutzen, die für eine Nutzung im Einzelgebäude nicht geeignet sind.

Zu solchen in Kleinanlagen nicht nutzbaren Energieträgern gehören beispielhaft (Clausen, 2013, S. 6):

- Wärme aus der Verbrennung von Waldrestholz, dessen Verbrennung in kleinen Öfen nicht erlaubt ist,
- Wärme aus tiefen geothermischen Bohrungen, deren Leistung für die Versorgung vieler Gebäude ausreicht,
- Wärme aus Solarkollektorfeldern.

[4] Vgl. http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108 vom 4.3.2016.

European Heat & Power (Aalborg University, 2012) schätzt, dass die Ausweitung der Versorgung mit Wärmenetzen auf 50 % des Gebäudebestandes den europäischen Primärenergieverbrauch um 7 %, den Verbrauch fossiler Brennstoffe um 9 % und die CO2-Emissionen um 13 % reduzieren würde. Dieser Ausbau der Wärmenetze würde weiter bis 2050 europaweit die Kosten der Raumwärme um 14 Milliarden €/Jahr senken und Geldströme aus dem Import von Erdgas und Öl zu Investitionen in Wärmenetze, KWK-Kraftwerke, geothermische Kraftwerke, Solarkollektorfelder, Abwärmenutzung und Abfallverbrennung umlenken und so bis zu 220.000 Arbeitsplätze in Europa schaffen.

3 Pfadabhängigkeiten

3.1 Charakterisierung der Stärken des etablierten Pfades,

Zunächst einmal besteht die Stärke der etablierten Unternehmen der Wärmeversorgung darin, ca. 40 Millionen Privatwohnungen und alle Gewerbegebäude zuverlässig mit Wärme zu versorgen. Die großen Hersteller von Wärmeerzeugern sind sehr bekannt und haben eine hohe Reputation und zum lokalen Installateur besteht oft ein Vertrauensverhältnis. Seinen Empfehlungen wird, auch wenn sie nicht in Richtung auf eine nachhaltige Wärmeversorgung führen, oft gefolgt. 93 Prozent der durch die GfK repräsentativ befragten Ölheizungsbesitzer sind denn auch sehr zufrieden oder zufrieden mit ihrem Heizsystem, 88,6% schätzen die freie Lieferantenwahl, 87,8% die Sicherheit und Zuverlässigkeit und 85,4% die flexible Bevorratung im eigenen Tank (Institut für Wärme und Öltechnik, 2015).[5]

In der Wahl der Energielieferanten ist der Kunde dabei im Wesentlichen flexibel, eine Abhängigkeit von einem Monopolisten wird allerdings im Kontext des Baus eines Fernwärmesystems befürchtet (Clausen, Winter & Kettemann, 2012, S. 18).

Eine zweite sehr zentrale Stärke des etablierten Pfades besteht darin, die Wärmeversorgung ihrer Kunden langfristig zu sehr günstigen Preisen sicherzustellen. Nachdem das hohe Preisniveau der letzten zehn Jahre überwunden scheint, steht der Energiepreis der weiteren Nutzung von Erdgas- und Erdölheizungen bis auf weiteres nicht mehr im Wege.[6]

Abbildung 4: Entwicklung des Erdölpreises 1986 bis 2016

Quelle: http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=crude-oil-brent&months=360 vom 2.3.2016

[5] Auch das Gros der im Flecken Steyerberg (Niedersachsen) befragten Bewohner zeigt sich mit ihrem Öl- oder Gasheizsystem als sehr zufrieden oder zufrieden (Clausen, Winter & Kettemann, 2012, S. 15). Für solarthermische Heizungen ist die Bedeutung von Unabhängigkeit und Autarkie bereits als Kaufgrund festgestellt worden (Clausen, 2010, S. 415).

[6] Angesichts der Instabilität in vielen Lieferländern (mittelerer Osten, Venezuela etc.) ist aber auch denkbar, dass der Ölpreis wieder steigt.

3.2 Transformationshemmnisse und Pfadabhängigkeiten,

Durch eine Reihe von Pfadabhängigkeiten wird die Transformation des Wärmesektors hin zu einem höheren Anteil von Wärmenetzen gehemmt.

3.2.1 Rechtliche Pfadabhängigkeiten

Die vermutlich wesentlichste und letztlich auch rechtliche Pfadabhängigkeit sind die niedrigen Preise für fossile Energie, die nicht zuletzt durch den nicht funktionierenden EU-Emissionshandel möglich bleiben. Nach anfänglichen Zertifikatspreisen von ca. 25 € in der Periode von der Einführung in 2005 bis 2007 sanken die Zertifikatspreise aber unterbrochen von einer Spitze am Beginn der zweiten Handelsperiode in 2008 dauerhaft ab (Clausen, 2016). Der Weg zur 2015 auf dem G7 Gipfel wie auch auf der Klimakonferenz in Paris beschlossenen vollständigen Dekarbonisierung wird aber nur durch weitere politische Instrumente der Kosteninternalisierung und damit letztlich durch einen höheren Preis für fossile Energien erfolgreich beschritten werden können. Mehrere Interviewpartner betonten, dass bei den gegenwärtigen Preisen für fossile Energieträger die Nutzung vieler technischer Potenziale unterbleibt.

Für eine sichere politische Entscheidungsbildung zur langfristgien Wärmeversorgung sind aus Sicht der AGFW-Transformationsstudie (AGFW, 2013, S. 19) kommunale Wärmenutzungspläne hilfreich und sinnvoll.[7] Aber eine flächenbezogene Energieplanung ist in Deutschland unterentwickelt, eine Planung von Versorgungs-Rahmenbedingungen mit Bezug zu verfügbaren Wärmequellen findet kaum statt (IFEU & Fraunhofer ISI, 2011, S. 19). Energiepläne wie in Dänemark (Nielsen & Möller, 2013) müssen durch deutsche Kommunen nicht erstellt werden. Damit ist weder bekannt, wo welche Flächen z.B. für Solarkollektorfelder verfügbar sind oder welche Abwärmequellen welcher Leistung erschlossen werden könnten, noch besteht die Möglichkeit, dieser Erschließung planungsrechtlich Vorschub zu leisten (Clausen, 2013, S. 32). Auch die nach Gemeindeordnung in fast allen Bundesländem mögliche Ausweisung von Fernwärme-Vorranggebieten ist wenig verbreitet (AGFW, 2013, S. 20). Den Gemeinden sind zudem zwar die großen Fernwärmenetze bekannt, aber keineswegs alle existierenden kleinen und mittleren Netze. Bei der konkreten und regionalen Suche nach Wärmenetzen lassen sich überraschend viele finden. Die Landeshauptstadt Hannover ließ das Fernwärmeforschungsinstitut im Rahmen des „Masterplan 100% für den Klimaschutz“ recherchieren (Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.), 2015) und fand in der Region Hannover weit mehr als 100 Wärmenetze verteilt auf fast alle Kommunen.[8] Ein Interviewpartner meinte darüber hinaus, dass es nicht nur an Energieplanungen und Zielsetzungen auf lokaler Ebene fehle, sondern auch dort, wo solche Ziele vorhanden wären, mangele es oft an einem Monitoring der Zielerreichung wie auch an der langfristigen, konsequenten Verfolgung der Ziele.

Die bisher durch verschiedene Akteure erstellten Szenarien für die zukünftige Entwicklung der Wärmeversorgung sind sehr unterschiedlich (DLR, FHW, Ökoinstitut & IZES, 2009; DLR, Fraunhofer IWES & IfnE, 2011, 2012; Prognos, EWI & GWS, 2010). Der Anteil der Erneuerbaren Energiequellen für Wärmenetze steigt je nach Szenario von gegenwärtig ca. 10% auf

[7] Dieser Gedanke ist im Abwärmeatlas Sachsen (Sächsische Energieagentur, 2016) schon umgesetzt und schlägt sich auch im Konzept der Energiepotenzialkarten in den Niederlanden (van den Dobbelsteen, Broersma & Stremke, 2011) nieder.

[8] Die Mehrzahl dieser Wärmenetze hat eine Länge unter 10 km und eine maximale thermische Leistung unter 10 MW (Nahwärmenetze). Der überwiegende Teil der Wärmenetze wird zudem mit Vorlauftemperaturen unter 90°C betrieben.

20% bis 50% im Jahre 2050 an. Als Konsequenz für die Entwicklung der Wärmenetze ergibt sich die Aufgabe, diese sowohl von fossilen Kraftwerken auf regenerative Energien umzustellen als auch, die Zahl der angeschlossenen Haushalte deutlich zu erhöhen (DLR et al., 2011, 2012). Die Konzentration auf die Spitzenziele „Wärmesanierung des Gebäudebestandes mit einer Sanierungsquote von 2 % p.a." einerseits (Bundesregierung, 2012, S. 16) und „Erhöhung des Anteils regenerativer Wärme" (Bundesregierung, 2012, S. 32) andererseits lässt andere Möglichkeiten wie z.B. den Ausbau von Wärmenetzen, die Nutzung von Abwärmepotenzialen oder raumplanerische Synergien zunächst einmal außen vor. In der energiepolitischen Agenda des BMWi[9] wird das Thema Wärme nur in Form des ENWärmeG als Teil der Gebäudestrategie behandelt, das Thema Wärmenetze wird nicht thematisiert. Regelungen zur Förderung von Wärmenetzen sowie Wärmespeichern enthält auch das Ende 2015 beschlossene KWKG 2016, dessen Wirksamkeit aber noch wegen der fehlenden beihilferechtlichen Genehmigung der EU auf sich warten lässt. Die in den letzten Jahren in Gang gekommene Förderpolitik weist daher immer noch wesentliche Lücken auf (Clausen, 2013, S. 32).

3.2.2 Ökonomische Pfadabhängigkeiten

Wie oben gezeigt wurde (Abbildung 2), erfolgt der Brennstoffeinsatz zur Fernwärmeerzeugung in den Netzen der großen Versorger des AGFW bis heute zu einem weit überwiegenden Teil (ca. 83%) durch Gas und Kohle in Gas- und Dampfturbinenkraftwerken. Die Wärmenetze sind für die Wirtschaftlichkeit dieser Kraftwerke von hoher Bedeutung, da sie mit der Auskopplung von Wärme mit insgesamt deutlich höherem Wirkungsgrad betrieben werden können. Kohlekraftwerke erreichen in Europa durchschnittlich einen Wirkungsgrad von knapp 40%, nach dem Stand der Technik wären etwa 45% möglich[10]. Kraftwerke die in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden können zeitweise einen Wirkungsgrad von bis zu 88% erreichen, im Jahresmittel sind es 60% bis 70% (Stadtwerke Hannover AG, 2013, S. 89). Durch den Verkauf der Wärme wird durch die Betreiber ein zusätzlicher Deckungsbeitrag erzielt, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Anlagen verbessert wird. Mit Blick auf den für die Betreiber noch nicht absehbaren Kohleausstieg ist damit das Interesse festgeschrieben, die Wärmenetze so lang wie möglich – also bis zum Ende der möglichen Kraftwerkslaufzeit - vollumfänglich mit fossiler Wärme zu versorgen.

Im Kontext des Betriebs konventioneller Kraftwerke stellt auch die Frage der Arbeitsplätze eine ökonomische Pfadabhängigkeit dar. Wie in der Vorstudie des Projektes zu Typen von Pfadabhängigkeiten (Clausen, 2016) bereits gezeigt wurde, setzen sich auch die Gewerkschaften IG BCE sowie Verdi intensiv für einen Erhalt des konventionellen Kraftwerksparks ein.

Im Kontext der großen Energieversorger und Stadtwerke ist weiter von Bedeutung, dass viele Kommunen hohe Anteile an Stadtwerken und Energieversorgern halten, auf deren Erträge sie mit Blick auf den kommunalen Haushalt angewiesen sind (BDEW e.V., 2015, S. 5). Norbert Schwieters, Leiter des Bereichs Energiewirtschaft bei PwC, charakterisiert die Rolle der Kommune bei der Begleitung der Energiewende wie folgt[11]:

[9] Vgl. http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/infografik-wichtigste-projekte.html vom 8.3.2016.

[10] Vgl. BMWi (2016): Website Moderne Kraftwerkstechnologien unter http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Strommarkt-der-Zukunft/moderne-kraftwerkstechnologien.html vom 3.3.2016.

[11] Vgl. http://www.pwc.de/de/offentliche-unternehmen/kommunen-muessen-ausschuettungspolitik-ueberdenken.html vom 7.3.2016.

Die Gesellschafter der Stadtwerke, dies sind in der Regel die Kommunen, müssen sich überlegen, wie sie ihre Unternehmen unterstützen können. In vielen Gemeinden hat sich die Finanzsituation erheblich verschlechtert. Auch deshalb haben die Ausschüttungsquoten zugenommen. Die Gewinne dienen dazu, andere kommunale Aufgaben zu subventionieren. Doch dies ist auf lange Sicht keine gute Lösung. Kommunen sollten die Ausschüttungspolitik überdenken, wenn sie ihre Stadtwerke nachhaltig ausrichten und deren Überleben sichern wollen.

Eine weitere Pfadabhängigkeit besteht in den vorhandenen Gasnetzen. Besteht die Möglichkeit, einen Haushalt bzw. ein Wohngebiet oder einen Ort mit Wärmeenergie in Form von Gas zu versorgen, weil ein Gasnetz vorhanden ist, dann würde die Wirtschaftlichkeit dieses Gasnetzes schlechter werden, wenn zusätzlich ein Wärmenetz gebaut wird. Durch den Anschluss an das Wärmenetz würde der Gasabsatz zwangsläufig zurückgehen. Das deutsche Gasnetz hat insgesamt eine Länge[12] von 505.000 km und versorgt knapp 50% der Haushalte (AG Energiebilanzen, 2015, S. 10). Aber nicht nur Gaslieferanten könnten Kunden verlieren. Ein Interviewpartner wies darauf hin, dass im Kontext der Planung von Nahwärmenetzen der Mineralölhandel Anzeigen geschaltet hätte, die Kostenvergleiche zwischen Nahwärmenetz und Ölheizung angestellt hätten.

Weiter ist der Wert des Geschäftsmodells der Thermotechnik-Unternehmen zu berücksichtigen. Diese liefern gegenwärtig in mehr als 85% der Haushalte alle 20 bis 30 Jahre ein Heizgerät auf Basis von Gas oder Erdöl, einen Pelletkessel oder eine Wärmepumpe. Alle diese Geräte haben für den Endkunden hohe Preise zwischen 7.000 € für eine einfache Gasthermenanlage bis zu 15.000 € für eine Luftwärmepumpe (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik & Shell, 2013, S. 42). Der Wechsel einer hohen Kundenzahl zu Fernwärme würde dieses Geschäftsmodell deutlich verändern, denn Wärmeübergabestationen sind weniger aufwendig und preiswerter als Heizanlagen. Die Branche entwickelt dementsprechend einen starken Widerstand gegen einschlägige Bestrebungen (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2013; Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2014). Die Transformation der Wärmeversorgung bietet für die Thermotechnik-Unternehmen jedoch auch Chancen. Durch die Einkopplung von regenerativen Energien z.B. durch die zusätzliche Errichtung eines Solarthermieanlage kann der Umsatz pro Objekt durchaus gesteigert werden. Der Erfolg dieser Strategie ist jedoch begrenzt. Trotz der im 2008 erlassenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EnWärmeG) enthaltenen Nutzungspflicht für erneuerbare Energien in der Raumheizung von Neubauten ist der Anteil der jährlichen Investitionsfälle mit Einkopplung erneuerbarer Energien in Heizanlagen zwar zunächst von 15% in 2004 auf 45% in 2008 gestiegen, aber schon 2009 wieder auf 27% und 2015 gar auf 19% gesunken[13].

Im Falle eines Pfadwechsels würde auch eine Reihe von vorhandenen und bei einem Wechsel zu regenerativ gespeisten Wärmenetzen nicht mehr nutzbaren Technologien an Wert verlieren. Hierzu gehören fossile Heizkraftwerke (AGFW e.V., 2015b, S. 9), die bei Investitionskosten (neu)= pro Einheit zwischen 500 €/kW (Gasturbinen Gaskraftwerk) bis 1.500 €/kW (Stein- oder Braunkohle) (Agentur für Erneuerbare Energien, 2012) einen Wert von ca. 6,4 Mrd. € für Gaskraftwerke und ca. 21,6 Mrd. € für Kohlekraftwerke repräsentieren. Bei einem Ausbau der Wärmenetze auf bis zu 50% des Gebäudebestandes würden zusätzlich viele Heizanlagen von Gebäuden ihren Wert verlieren.

[12] Vgl. BMWi (2016): Website Erdgasversorgung in Deutschland. Unter http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Konventionelle-Energietraeger/gas.html vom 3.3.2016.

[13] Vgl. BDH (2016): Anteil der jährlichen Investitionsfälle mit Einkopplung erneuerbarer Energien unter http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Daten_Fakten/BDH_Investitionsfaelle_2015.jpg vom 3.3.2016.

3.2.3 Technologische Pfadabhängigkeiten

Eine wesentliche technische Pfadabhängigkeit besteht darin, dass in deutschen Haushalten im wesentlichen Heizkörper verbaut sind, die die Wohnungen nur dann zuverlässig erwärmen, wenn ein Warmwasservorlauf von 60°C bis 70°C zur Verfügung steht. Flächenheizungen in Boden und Wänden ermöglichen dagegen eine ausreichende Heizwirkung schon bei einem Vorlauf um die 30°C.

Der Marktanteil der Flächenheizung im Neubau von Wohngebäuden beträgt aktuell etwa 70 Prozent (Heizungsjournal, 2016, S. 100). Niedertemperatur Heizsysteme (Flächenheizungen) werden heute oft in Kombination mit Brennwert-Gaskesseln verbaut. Der Einbau ist auch in Verbindung mit der Verwendung einer Wärmepumpe üblich. Flächenheizungen breiten sich so im Neubau aus, der nachträgliche Einbau im Zuge von Sanierungen ist aber aufwendig.

Auch bei der Versorgung durch Wärmenetze ist heute eine Vorlauftemperatur üblich, die für den Betrieb mit normalen Heizkörpern ausreicht. Mit Blick auf die verfügbaren Wärmequellen, u.a. Solarwärme, wären aber Niedertemperaturnetze wünschenswert. Die Vorgabe einer hohen Vorlauftemperatur erschwert daher die Einbindung von erneuerbaren Energien wie Solarthermie und Abwärme aus Abwasser in Wärmenetze (AGFW, 2013, S. 132). In einem Niedertemperaturnetz erzielen auch Flach- und Vakuumröhren-Kollektoren ihren höchsten Jahresertrag (AGFW, 2013, S. 86).

Über die Flächenheizungsproblematik hinaus ist festzustellen, dass ein breites Spektrum von Low-Exergy Technologien unterentwickelt ist.

- Der so genannte Wärmetransformator ist ein Gerät, welches aus Wärme mittlerer Temperatur einen Teilstrom mit höherer und einen mit niedrigerer Temperatur erzeugt. Die Technologie ist seit dem 19. Jahrhundert bekannt (Hebeker, 1995) und wurde seit den 1980er Jahren mehrfach aufgegriffen, diverse F&E-Vorhaben wurden aber abgebrochen (Adam, 2014, S. 13). Im Kontext der solaren Wärme sehen Henning und Treffinger (1997) hier eine Reihe interessanter Möglichkeiten. Aktuell werden Prototypen und Demonstrationsanlagen im Rahmen zweier Projekte der TU-Berlin gebaut.[14]
- Obwohl die Speicherung von Wärme pro kWh entscheiden preiswerter zu realisieren ist als die Speicherung von Strom sind jenseits kleiner und mittlerer Stahlkesselspeicher keine serienmäßigen Angebote für Wärmespeicher am Markt verfügbar, insbesondere gibt es keine Anbieter großer Saisonalspeicher (Clausen, 2013).[15]

Niedrige Preise für High-Exergy Energieträger wie Kohle, Öl und Gas haben es über viele Jahrzehnte unattraktiv gemacht, grundlegende Low-Exergy-Technologien überhaupt zu entwickeln. Mit Blick auf das Ende des High-Exergy Pfades erscheinen dieser Sachverhalt und der nicht befriedigende Stand von Forschung und Produktentwicklung zunehmend kritisch.

Auch die Legionellen-Prophylaxe ist Teil der technischen Pfadabhängigkeiten. „Im Sommer, wenn die Temperaturen in vielen Netzen durch die Trinkwarmwasser-Anforderungen bestimmt werden, sind Vorlauftemperaturen von 65-70 °C üblich, um beim Kunden die für die Legionellen-Prophylaxe vorgegebene Temperatur von 60 °C sicher zu stellen“ (AGFW,

[14] Mit dem Fokus auf Prozesswärme aus Abwärme sind dies das Projekt Indus3es (http://www.indus3es.eu/) und mit dem Fokus der Nutzung von Aquiferen als Quartierswärmespeicher das Projekt Sorptionswärmewandler (https://www.eta.tu-berlin.de/menue/energie_forschung/projekte/sorptionswaermewandler/).

[15] Weiter sind Low-Exergy Technologien zur Wandlung von Wärme in Kälte zwar am internationalen Markt durchaus verfügbar, die diese Anlagen planenden Ingenieure und montierenden Handwerker sind aber mit Blick auf diese Technologien unerfahren, was zu einer sehr geringen Verbreitung im deutschen Markt führt (Clausen, 2014; Clausen & Blöthe, 2013).

2013, S. 312). Sinken die Systemtemperaturen auf niedrigere Werte ab, ist der Legionellenschutz anders zu gewährleisten. Ansätze hierzu sind in der Debatte (Yang, 2014).

Eine materielle Pfadabhängigkeit sieht einer der Interviewpartner auch in der Ressourcenverfügbarkeit. Bei der Aufstellung eines regenerativen Wärmeversorgungsszenarios im ländlichen Raum machte er die Erfahrung, dass selbst bei Annahme einer hohen energetischen Sanierungsrate, intensiver Nutzung von Solarthermie und der regionalen Biomasse am Ende es am Ende doch erforderlich ist, große Teile des Bestandes mit Wärmepumpen, also elektrisch, zu beheizen. Alternativ ist zu konstatieren, dass schlicht mehr Wohnfläche genutzt wird, als nachhaltig mit Wärme versorgt werden kann. Hinzu kommt die Vermutung, dass die hier eingeplante Biomasse langfristig u.U. auch als Quelle für industrielle Prozesswärme unverzichtbar ist.

3.2.4 Organisationale Pfadabhängigkeiten

Die Aktivität lokaler Energieversorger ist faktisch oft auf einen regionalen Wirkungskreis beschränkt. Sie zeigen daher häufig einen geringen Expansionsdrang (Reinert, Clausen & Hansen, 2014, S. 3). Selbst wenn, wie im Fall eines von Reinert et al. befragten Unternehmens eine innovative Technologie wie die tiefe Geothermie bereits erfolgreich erprobt wurde, scheitert die Expansion in die Nachbargemeinde an der Aufgabenstellung des Unternehmens, eben die EIGENE Gemeinde zu versorgen. Zudem wird in der Stadtwerkestudie 2015 (BDEW e.V., 2015) deutlich, dass das strategische Denken der Branche sehr stark auf die ertragsstarke Stromversorgung ausgerichtet ist und das Thema Wärme deutlich im Hintergrund steht. Im Kapitel „Erneuerbare Energie“ (BDEW e.V., 2015, S. 19) wird z.B. das Thema Wärme überhaupt nicht thematisiert.

Auch das etablierte Geschäftsmodell der großen Wärmenetzbetreiber stellt in gewisser Weise eine organisatorische Pfadabhängigkeit dar. Diese sind daran gewöhnt, dass das zentrale Wärmenetz rund um das thermische Kraftwerk gepflegt und ggf. ausgebaut wird. Chancen zur Errichtung zusätzlicher kleiner Netze sind demgegenüber ökonomisch wenig bedeutend und werden nicht ergriffen. Für die Errichtung möglicher kleiner Netze hat aus der Perspektive eines Interviewpartners „oft keiner den Hut auf“. Ein zweiter Interviewpartner sieht insbesondere auch bei den Anbietern von Abwärme, dass der Wärmeverkauf für diese kein (Kern-)Geschäft ist. Der Absatz von Wärme ist vielmehr ein für sie unbekannter Markt, in dem sie keinesfalls Risiken eingehen. Da aber schon allein die Planung eines Wärmenetzes ein finanzielles Risiko darstellt, ist kaum zu erwarten, dass Akteure mit Wärmeüberschuss aktiv eigene Wärmenetze projektieren.

Ein Ausdruck von Organisationsroutinen dürfte auch sein, dass nur drei der von Reinert et al. (2014, S. 3) befragten 16 Wärmenetz-Unternehmen auf den Ausbau regenerativer Energiequellen setzen. Einige andere haben zwar im Kontext einzelner Projekt regenerative Erzeugungskapazitäten (Solar, Geothermie, Biomasse) aufgebaut, haben aber nicht das Ziel, auf diesem Weg weiter voran zu schreiten.

Eine Reihe von Energieversorgern hat, um hier gegenzusteuern, Contractinggesellschaften gegründet. Zusätzlich zu den großen Anlagen der Muttergesellschaft betreibt in Hannover die enercity Contracting Gesellschaft einige Dutzend BHKWs, die größtenteils mit Erdgas, anteilig aber auch mit Biomethan befeuert werden.

Organisationale Pfadabhängigkeiten gibt es auch auf der Ebene von Architektur und Planung. So wird die Wärmeversorgung in der Mehrzahl der Fälle gebäudeindividuell geplant, auch das EEWärmeG fordert ja einen gebäudebezogenen Nachweis. Das Denken hört dann aber an der Grundstücksgrenze auf. Diejenigen Wärmequellen, die sich nur in Quartieren erschließen lassen, bleiben so systematisch außen vor. Auch wenn eine Kommune die Entwicklung eines Gewerbegebietes an einen Projektentwickler vergibt, so ein Interviewpartner, unterbleiben u.U. die langfristigen Investitionen in ein Wärmenetz. Da es keine systemati-

sche Prüfung von Plänen an den Maßstäben kommunaler Energiepläne gibt, gerät eine nachhaltige Wärmeversorgung häufig aus dem Blick. Auch bei der Planung von Baustellen z.B. für das Wasser- oder Gasnetz wird, da es ja keine Energiepläne gibt, nicht geprüft, ob ein Wärmenetz mit verlegt werden sollte.

Eine weiter organisationale Pfadabhängigkeit findet sich in der Forschung. Forschung zu Low-Exergy Themen wurde lange Zeit kaum betrieben und ist erst in letzter Zeit wieder aufgenommen worden. Wärmegetrieben Kältemaschinen, der Wärmetransformator (vgl. Abschnitt 3.2.3) oder eine außenliegende Wandheizung als Flächenheizung zwischen Gebäudewand und Wärmedämmsystem für extrem niedrige Vorlauftemperaturen[16] sind durchweg Technologien, die die Nutzung von Low-Exergy Wärmequellen aussichtsreicher machen. Ein Interviewpartner bedauert, dass es keine preiswerten Verfahren bzw. Technologien zur Verlegung langer Fernwärmeleitungen gibt, so dass auch Abwärme- oder Geothermiepotenziale in 20 oder 30 km Entfernung vom Wärmenetz nutzbar gemacht werden könnten. Selbst die simple Dokumentation von Leuchtturmprojekten innovativer Wärmenetze wird von einem Interviewpartner als unzureichend bemängelt. Ein anderer sieht eine Forschungslücke dort, wo es um Kenntnisse um Strategien und Umsetzung lokaler Energieplanungen, z.B. im Kontext des Umbaus von Wärmenetzen auf erneuerbare Energien geht. Hier liegt das Forschungssystem in Deutschland einige Jahrzehnte hinter den Möglichkeiten zurück.

3.2.5 Nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten

Die Bewohnerinnen und Bewohner von beheizten Gebäude, sowohl im Fall von Wohneigentum als auch in Fall von Miete, haben grundsätzlich mit der jeweiligen Heizungsanlage so lange wenig zu tun, wie diese zuverlässig funktioniert. Nur im Fall der Wartung, Reparatur oder im Kontext der Neuinvestition durch den Eigentümer verlangt eine Heizungsanlage Aufmerksamkeit. Nutzungsbezogene Pfadabhängigkeiten sind daher im Wesentlichen deckungsgleich mit der im Abschnitt 3.1 beschriebenen Zufriedenheit mit den gegenwärtig vorherrschenden technischen Lösungen sowie darüber hinaus mit der Zufriedenheit mit dem vergleichsweise vorteilhaften Preisniveau.

Wichtig für die Nutzerinnen und Nutzer ist auch das Vertrauen in die Wärmeversorgung insbesondere dann, wenn diese verändert wird. Ein Interviewpartner wies hier auf die Notwendigkeit hin, bei Wärmequellen wie z.B. der Versorgung aus industrieller Abwärme ein redundantes Notfallsystem vorzuhalten, damit die Wärmeversorgung auch im Fall von Produktionspausen sichergestellt ist. Im Kontext des Wechsels zu einem Wärmenetz wurde erst durch das Anbieten einer Redundanz hinreichendes Vertrauen erlangt. Ein anderer Interviewpartner betonte auch die langfristige Sicherheit der Wärmequellen.

3.3 Angriffspunkte und Schwächen des etablierten Pfades

Der zentrale Schwachpunkt des etablierten Pfades ist, dass die eingesetzten Brennstoffe in keiner Weise geeignet sind, den Weg zur Dekarbonisierung mitzugehen.

Ein weiterer Schachpunkt ist die hohe Abhängigkeit von Energieimporten. 98% des Erdöls, 88% des Erdgases und 87% der Steinkohle werden importiert. Claudia Kemfert wies z.B. in

[16] Vgl. http://www.saar-is.de/meldungen/aktuelle-meldungen/news/detail/innovative-aussenliegende-wandheizung-an-uni-gebaeude-getestet/ vom 26.4.2016.

diesem Zusammenhang auf die Ukraine-Krise hin[17]. Nur bei erneuerbaren Energien und Braunkohle gibt es keine Importabhängigkeit.[18] Der Schwachpunkt dieses Sachverhalts liegt weniger in der Belastung der Außenhandelsbilanz, die aktuell wieder niedriger ist als noch vor wenigen Jahren, sondern eher in der Abhängigkeit der zuverlässigen Lieferung von Gas und Öl aus Arabien und Russland.

[17] Vgl. http://www.bee-ev.de/home/presse/mitteilungen/detailansicht/wissenschaftler-und-bee-fordern-waermewende/ vom 8.3.2016.

[18] Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien wiederum nur unter Verwendung von Importierten Rohstoffen und Zulieferprodukten hergestellt werden können.

4 Transformationsansätze

Das zentrale Ziel der Transformation des Wärmesektors im Kontext der Gebäudeheizung ist, den Wärmebedarf der Gebäude gegenüber dem Basisjahr 2008 bis 2020 um 20% zu senken, wobei 12,4% in 2014 schon erreicht waren.

Aber auch der Anteil erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch soll bis 2020 auf 14% erhöht werden, wobei 12% in 2014 schon erreicht waren (Bundesregierung, 2015, S. 6). Die Veränderung geht aber sehr langsam vor sich und das Ziel ist keineswegs als schon fast erreicht einzustufen.

Langfristig soll bis 2050 der Primärenergiebedarf der Gebäude (bei vermutlich weiter wachsenden Wohnflächen) gegenüber 2008 um 80% reduziert werden, wovon 14,8% in 2014 schon erreicht waren. Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll bis 2050 auf 60% steigen, wovon 13,5% in 2014 schon erreicht waren (Bundesregierung, 2015, S. 6).

Angesichts der Beschlüsse des Klimagipfels in Paris bedürfen die Ziele aus Sicht von Germanwatch der Überarbeitung: „Die EU müsste ihr 2050-Ziel auf mindestens 95 Prozent Emissionssenkung aufstocken, damit sie ihren fairen Beitrag zur Erreichung des Temperaturlimits von deutlich unter 2 Grad, mit Kurs auf 1,5 Grad, leisten kann“[19], was sinngemäß auch für die deutschen Klimaziele gelten müsste. Bei Erfüllung des Einsparziels würde eine 95% Emissionssenkung einen Anteil erneuerbarer Energien am stark reduzierten Wärmeverbrauch von 75% erfordern.

Angesichts der Größe der Herausforderung gibt es eine Reihe verschiedener Transformationsansätze. Die Klärung der Frage, welcher dieser Transformationsansätze der „richtige“ ist, wird dadurch kompliziert, dass nicht alle Transformationsansätze beliebig skalierbar sind. Grenzen der Economy of Scale liegen z.B. in folgenden Punkten:

- Der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse, die für die Gewinnung von Biomethan in Biogasanlagen oder als Brennstoff für Heizwerke zur Verfügung steht.
- Die Unmöglichkeit, dicht stehende Gebäude gemeinsam und über lange Zeiten mit geothermischen Verfahren zu heizen, da sich dadurch die Temperatur des Erdreichs stärker als zulässig verändert.
- Die praktisch nicht bestehende Möglichkeit, mit thermischen Solaranlagen selbst unter Zuhilfenahme eines aufwendigen Saisonalspeichers einen Deckungsgrad der Wärmeversorgung oberhalb von 50% zu erreichen[20].
- Der wirtschaftlichen Unmöglichkeit, industrielle Abwärme über Entfernungen weiter als ca. 20 km zu transportieren, sei es in Rohrleitungen oder in mobilen Wärmecontainern.

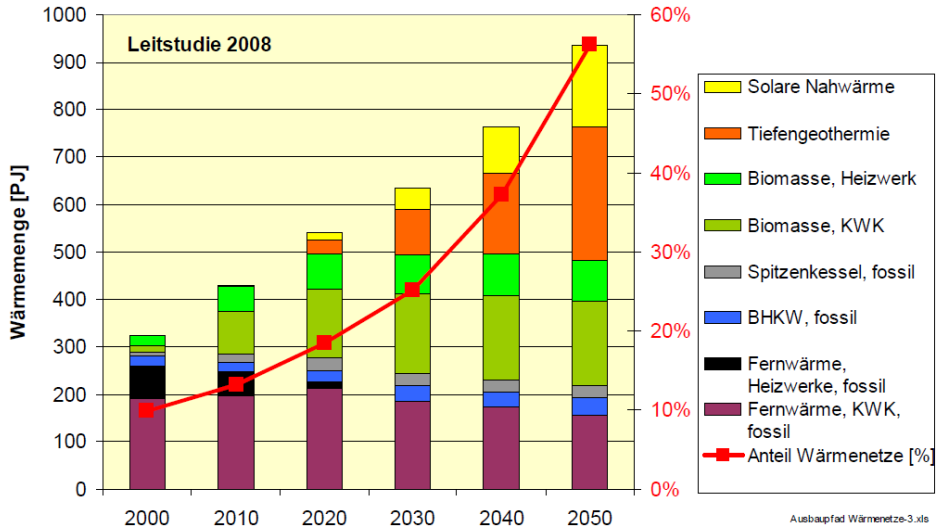
Die Entscheidungsfindung zur Realisierung einer oder mehrerer Transformationsstrategien kann damit nicht rein marktökonomisch und utilitaristisch-nutzenmaximierend durchgeführt werden, sondern diese muss auch ressourcenökonomisch in Abwägung der verfügbaren Mengen erfolgen.

[19] Vgl. Germanwatch (2016): EU-Kommission stiehlt sich aus der Verantwortung. Unter https://germanwatch.org/de/11904 vom 3.3.2016.

[20] Vgl. Marstal Fjernvarme (2016): Firmaprofil. Unter http://www.solarmarstal.dk/firmaprofil vom 3.3.2016. Schon die hier genannten 50% sind ein ungewöhnlich hoher Wert.

Die Abschätzung dieser begrenzten Potenziale ist die Grundlage der Szenarien, die durch DLR et al. (2009) im Auftrag des BMU erarbeitet wurden. Im Zieljahr 2050 schätzt diese Studie einen Anteil leitungsgebundener Wärmeversorgung von 56 % am gesamten Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser, der durch Wärmenetze zur Verfügung gestellt wird.

Abbildung 5: Ausbaupfad der Nah- und Fernwärme gemäß der Leitstudie 2007 des BMU (linke Achse) und Anteil der Wärmenetze am gesamten Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser des jeweiligen Jahres (rechte Achse).

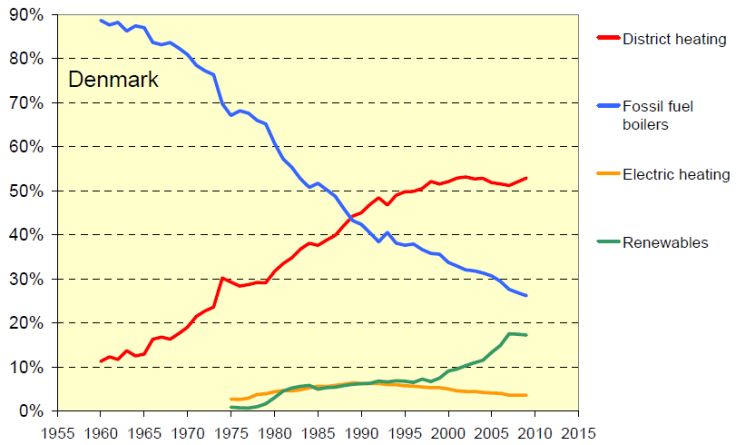


Quelle: DLR et al. 2009, S. 28.

Die dänische Transformation zur Wärmeversorgung über Wärmenetze

Dass eine Entwicklung zu einem hohen Versorgunggrad über Wärmenetze möglich ist, zeigt das Beispiel Dänemark. In Dänemark stieg der Anteil der Fern- und Wärmenetze von ca. 13 % auf ca. 53 % in einem Zeitraum von 50 Jahren.

Abbildung 6: Marktanteile der Wärmeversorgung privater Haushalte und des GHD-Sektors in Dänemark



Quelle: CIT Energy Management (2012, S. 32)

Pehnt (2015, S. 17) führt den Erfolg der dänischen Wärmewende auf fünf Faktoren zurück:

- Verpflichtende Erstellung lokaler Wärmepläne mit standardisierten Randbedingungen und zentraler Unterstützung durch DEA,
- Einführung von „Heat Supply Zones“,
- Hohe Energie- und CO2-Steuer auf fossile Brennstoffe,
- Konsens und Kontinuität,
- Non – Profit – Wärmeversorgung.

Dänemark hat zur Förderung des Umstiegs auf erneuerbare Energien in der Wärmeversorgung Anfang des Jahres 2013 Öl- und Gasheizungen in Neubauten verboten. Ab 2016 ist auch der Austausch von Ölheizungen in Bestandsgebäuden untersagt, sofern Fernwärme oder Erdgas verfügbar ist.[21]

Die Stadt Kopenhagen plant sogar in den nächsten 40 Jahren eine zweifache komplette Veränderung der eingesetzten Wärmequellen. Zunächst soll die Fernwärmeversorgung durch einen fast 50%igen Biomasseanteil bis 2025 klimaneutral werden, anschließend soll der Biomasseanteil zwischen 2035 und 2050 durch Großgeothermie übernommen werden, wobei gleichzeitig die Vorlauftemperatur der Netze abgesenkt würde (Stobbe, 2014, S. 9).

Langfristig geht es darum, drei transformative Entwicklungen aufeinander abzustimmen:

- die Absenkung des Wärmebedarfs der Gebäude,
- den Aufbau von serienreifen Low-Exergy Technologien wie Tiefengeothermie, Saisonalspeichern und Wärmetransformatoren.
- die breite Diffusion von solarer Großwärmeversorgung und Abwärmenutzung sowie Bioenergiedörfern und Nahwärmeinseln.

Im Folgenden wird der Pfad der High-Exergy Wärmeversorgung vom Pfad der Low-Exergy Wärmeversorgung unterscheiden.

Dem High-Exergy Pfad werden die Verbesserung der Regelungssysteme von Wärmenetzen zugeordnet, obwohl diese auch für Low-Exergy Netze nutzbar sein werden, sowie die auf Verbrennung von Biomasse beruhenden Biomasseanlagen und Bioenergiedörfer (bei denen aber auch bereits erste Low-Exergy Komponenten wie Solarkollektorfelder genutzt werden).

Dem Low-Exergy Pfade werden die solare Wärme, die Tiefengeothermie, die Abwärmenutzung, kalte Wärmenetze sowie die Idee der Nahwärmeninseln zugeordnet, obwohl letztere grundsätzlich auch auf Basis von BHKWs als Wärmeqeulle denkbar sind.

4.1 Weiterentwicklung der High-Exergy Wärmeversorgung

4.1.1 Biomasse

Biomasse ist in den Varianten der Verbrennung holzartiger Biomasse sowie der Verbrennung von Biogas von Bedeutung. Die Idee der Nutzung von Biomasse zu Heizzwecken weist Synergien mit den Interessen der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe auf. Die Begren-

[21] Vgl. http://www.solarthermie.net/news/international/daenemark-verbietet-oel-und-gasheizungen-im-neubau-160213 vom 4.4.2016.

zung der Förderung des weiteren Ausbaus der Bioenergie im EEG 2014 weist jedoch bereits darauf hin, dass die Potenziale schon annähernd ausgeschöpft sind. Auch die vergleichende Studie von Aretz und Hirschl (2007, S. 14) lässt darauf schließen, dass ein großer Teil des für die Wärmegewinnung nutzbaren Biomassepotenzials bereits genutzt wird. Weiter wird deutlich, dass ein Großteil der verfügbaren Reserven in Form von Waldrest- und Schwachholz zur Verfügung steht, welches nicht in kleinen Einzelanlagen verbrannt werden darf.

Das für Heizzwecke verfügbare Potenzial an Biomasse könnte zukünftig aber anderweitig benötigt werden, In einer 100% dekarbonisierten Wirtschaftsstruktur werden die wenigen verfügbaren Brennstoffe möglicherweise primär zur Erzeugung von Prozesswärme benötigt. Das langfristig realisierbare Potenzial für die Wärmeerzeugung wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012, S. 59) auf ca. 170 TWh/a veranschlagt.

Die Wärmegewinnung durch Biomasse ist eine Konsistenzstrategie.

Etwa 6% des Wohnungsbestandes werden bereits durch Holz, Holzpellets oder auf Basis anderer Formen von Biomasse beheizt (AG Energiebilanzen, 2015, S. 10). Die Erzeugung von Fernwärme mit KWK erfolgt bereits zu 5% auf Basis von Biomasse, ohne KWK sind es 3% und zusammen ungefähr 21 PJ. Da Biomasse wie Gas und Öl ein „Brennstoff“ ist, weist sie am ehesten eine technologische und kulturelle Anschlussfähigkeit an die bisherigen Branchenstrukturen auf. Von Bedeutung sind auch die ca. 175 Bioenergiedörfer, in denen häufig mit genossenschaftlichen Strukturen eine integrierte Wende der Wärme- und Stromversorgung aus Basis regenerativer Energie in Angriff genommen wurde.

Hauptakteur sind die Land- und Forstwirtschaftlichen Verbände, aber auch einige Unternehmen des Contractinggewerbes.

4.1.2 Bioenergiedörfer

In gewisser Weise ist das Bioenergiedorf eine "Idee zum Nachmachen" und wird in der Planung und Realisierung kaum durch eine am Markt verfügbare Full-Service-Dienstleistung unterstützt. Die erfolgreiche Aktivität des Unternehmens Solarcomplex in Singen/Hohentwiel macht deutlich, was unter Verfügbarkeit eines Full-Service-Anbieters möglich wird. Zwischen 2006 und 2015 realisierte Solarcomplex 14 Bioenergiedörfer in Baden-Württemberg. "Solarcomplex war gerade auf dem Gebiet der Bioenergie immer wieder Vorreiter und Innovationstreiber, so 2005 mit der ersten bürgerfinanzierten Biogasanlage Deutschlands (Hof Schönbuch), 2006 mit dem ersten Bioenergiedorf Baden-Württembergs (Mauenheim), 2007 mit dem ersten Bioenergiedorf mit einer Mikrogasleitung statt Wärmeleitung (Lippertsreute), 2012 mit dem ersten Bioenergiedorf mit großer solarthermischer Anlage (Büsingen) und 2013 mit dem ersten Bioenergiedorf mit großem Wärmespeicher (Emmingen). Die entscheidende Zukunftsoption bei einem Bioenergiedorf ist die Errichtung eines Nahwärmenetzes, nicht die Frage, wie es betrieben wird".[22]

Von hoher Wirksamkeit war die Förderung von Bioenergiedörfern in Baden-Württemberg aus dem europäischen Regionalfonds EFRE; die bis Ende Juni 2014 möglich war. Allein in diesem Bundesland entstanden so 21 Bioenergiedörfer. Es fällt auf, dass durch die Landesförderung in Baden-Württemberg ein KMU (Solarcomplex) in eine Position gekommen ist, die Technologie des Bioenergiedorfes durch die Bearbeitung von 14 Projektes in 9 Jahren entscheidend weiterzuentwickeln. 8 weitere Projekte befinden sich in unterschiedlichen Stadien der Planung oder Realisierung (Achatz & Müller, 2015, S. 18). Durch die Kombination von Biomasseheizwerken mit Solarthermie und Speichertechnologien sinkt der Bedarf an

[22] Vgl. http://www.solarcomplex.de/energieanlagen/bioenergiedoerfer.html vom 4.2.2016:

Bioenergie bei gleichbleibendem Nutzen. Insgesamt ist die Frage zu stellen, wie es zur Entstehung weiterer "Full-Serviceunternehmen" im Bioenergiedorf-Segment kommen kann. Zusätzlich unterstützt wird der Wechsel zu regenerativen Wärmenetzen in Baden-Württemberg durch das 2010 durch die CDU-Landesregierung eingeführte „Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg“ (Regierung des Landes Baden-Württemberg, 2015). Dies Gesetz formuliert in §4: „Nutzungspflicht: (1) Beim Austausch oder dem nachträglichen Einbau einer Heizanlage sind die Eigentümerinnen und Eigentümer der versorgten Gebäude verpflichtet, mindestens 15 Prozent des jährlichen Wärmeenergiebedarfs durch erneuerbare Energien zu decken oder den Wärmeenergiebedarf um mindestens 15 Prozent zu reduzieren. (2) Die Verpflichtung ist spätestens innerhalb von 18 Monaten nach Inbetriebnahme der neuen Heizanlage zu erfüllen und der zuständigen Behörde nachzuweisen.“ Nach Aussage eines Interviewpartners ist diese Verpflichtung für manche Eigentümer ein wirksamer Grund, sich einem regenerativ beheizten Wärmenetz anzuschließen.

Bioenergiedörfer sind eine Konsistenzstrategie.

Hauptakteur ist die Bürgerenergie- und Genossenschaftsbewegung, denn viele Bioenergiedörfer sind als Genossenschaft oder auf Basis von privaten Gesellschaften mit vielen lokalen Mitgliedern organisiert. Eine wesentliche Stärke der „gemeinschaftlichen Wärmewende“ in einem Bioenergiedorf (oder einer Nahwärmeinsel) ist, dass die Entscheidungsfindung über eine nachhaltige Wärmeversorgung ruhig und in der Gruppe betrieben werden kann und nicht im Zuge des raschen Austauschens einer defekten Anlage letztlich immer wieder unterbleibt. Im Zuge dieser ruhigen Entscheidungsfindung ist es z. B. auch möglich, Referenzprojekte in Augenschein zu nehmen und sich Kenntnisse über mögliche Alternativen zu verschaffen. In Informationsveranstaltungen können offene Fragen diskutiert und der Wissensstand aller Beteiligten angehoben werden.

4.1.3 Power to Heat

Die AGFW (AGFW e.V., 2014) sieht in Elektro-Heizkesseln die Möglichkeit, Überschussstrom mit hohen Leistungen und schneller Reaktionszeit ins Wärmenetz einzuspeisen. Auch Großwärmepumpen wären möglich, wenn entsprechende Kältesenken zur Verfügung stehen würden. Die AGFW sieht in Überschusssituationen die Chance, große Wasserspeicher aufzuheizen und so den Primärenergiebedarf der Wärmenetze zumindest anteilig von fossil auf regenerativ umzuschalten. Die Potenziale der Nutzung von Überschussstrom sind bereits abgeschätzt worden (Agora Energiewende, 2014), die Abschätzung fällt dabei auf Grund der Tatsache, dass die abgeregelten Mengen in den Jahren 2009 bis 2012 stark gestiegen sind, vergleichsweise hoch aus. Agora Energiewende (2014, S. 89) liefert auch gleich Vorschläge für eine Umsetzung ins Energierecht.

Die Nutzung von Überschussstrom ist immer dann, wenn es sich wirklich um Überschüsse handelt, eine Effizienzstrategie.

Aber nicht nur die Wärmenetzbetreiber, sondern zahlreiche Akteure spekulieren seit einiger Zeit auf Überschussstrom aus der regenerativen Stromerzeugung: die chemische Industrie möchte Wasserstoff gewinnen, andere Akteure möchten den Wasserstoff zu Methan umsetzen und ins Erdgasnetz einspeisen.

4.1.4 Effiziente Wärmenetze durch Digitalisierung

Durch elektronische Regelung können Wärmenetze effizienter gemacht werden. Schneider Electric (7T) bietet eine in Dänemark entwickelte Software an, die die Vorlauftemperatur des

Netzes nutzenorientiert minimiert und so den Wärmeverlust um ca. 10% senkt und die CO2-Emissionen und 2 bis 5% reduziert (Schneider Electric, 2012). Diese Software steuert in mehr als 500 Städten bereits die Wärmeversorgung von über 100 Millionen Wohnungen[23].

Auf der Ebene der Gebäudenetze leistet Software wie der Wohnungs-Manager von Riedel Automatisierungstechnik ähnliches.[24]

Die Erhöhung der Effizienz durch Digitalisierung ist eine Effizienzstrategie.

Akteure sind bestehende und neue Zulieferunternehmen der Wärmenetzbranche und als Anwender die Betreiber großer und mittlerer Wärmenetze. Auf Basis technischer Innovationen wollen diese ihre (besseren) Produkte am Markt absetzen.

4.2 Entwicklung und Diffusion der Low-Exergy Wärmeversorgung

4.2.1 Solare Wärme in Wärmenetzen

Solare Wärmegewinnung für Wärmenetze erfordert ein Kollektorfeld sowie mindestens einen Wärmespeicher zur Überbrückung des nächtlichen sommerlichen Bedarfs. Wird das Kollektorfeld auf 100% der sommerlichen Wärmelast ausgelegt, so kann ein im Sommer meist ineffizient in Teillast laufender Heizkessel über einige Monate komplett stillgelegt werden[25].

Die verfügbare Primärenergie der Sonne ist nur limitiert durch die regionale Intensität der Einstrahlung und zeitlich unbegrenzt verfügbar. Ein Engpass besteht in der Fläche, die für die Installationen benötigt wird. Das langfristig realisierbare Potenzial wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012, S. 59) auf ca. 400 TWh/a veranschlagt.

Soll der solare Deckungsgrad höher als ca. 20% ausfallen, so ist ein Saisonalspeicher erforderlich. Zwischen 1996 und 2008 entstanden in Deutschland 13 große und in Wärmenetze eingebundene Solaranlagen mit Saisonalspeichern, die größte mit 7.300 m^2. Mit Ausnahme der 2013 im Dorf Büsingen durch Solarcomplex als Teil eines Bioenergiedorfes (sic!) errichteten Anlage ist diese Technologie in Deutschland aber seit 2008 komplett zum Erliegen gekommen. Ein Interviewpartner gab an, dass sich über ein Solarkollektorfeld Solarwärme zu einem Preis von ca. 5 Cent/kWh gewinnen lässt, während es bei einer Einzelhausanlage kalkulatorisch ca. 20 Cent/kWh sind.

Großsolaranlagen in Dänemark

Die Kommune Marstal in Dänemark erreicht durch zwei große Kollektorfelder und zwei große Saisonalspeicher (faktisch sind das nach unten und oben abgedichtete Teiche deren Wasser im Sommer und Herbst auf etwa 80°C erwärmt wir) einen solaren Deckungsgrad von ca. 40% bis 50% (Aktiv Region Schwentine/Holsteinische Schweiz, 2015).

[23] Vgl. http://www.schneider-electric.com/en/product-range/61418-termis-software/?parent-category-id=5100&parent-subcategory-id=5125 vom 4.4.2016.

[24] Vgl. http://www.riedel-at.de/content/index.cfm? vom 4.4.2016.

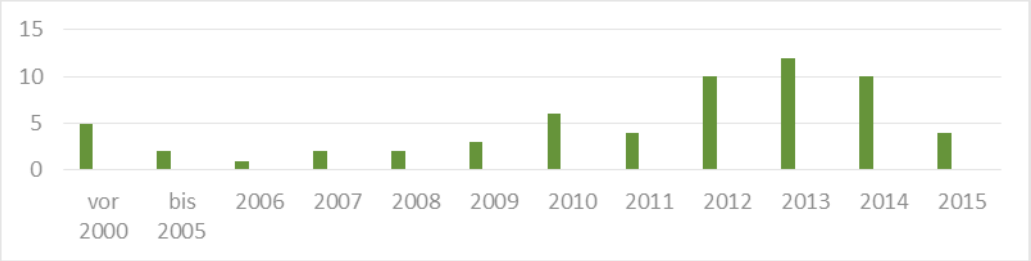
[25] Vgl. http://www.solarcomplex.de/energieanlagen/bioenergiedoerfer/buesingen.html vom 4.3.2016.

Abbildung 7: Kollektorfelder und Saisonalspeicher in Marstal.

Quelle: Marstal Fjernvarme

In Dänemark entstanden seit 2005 eine vergleichsweise große Zahl von Großsolaranlagen, davon 22 mit mehr als 10.000 m^2 Kollektorfläche, die größte mit 70.000 m^2.

Abbildung 8: Zahl der Großsolaranlagen in Dänemark nach Jahr der Inbetriebnahme.



Quelle: Ranking List of European Large Scale Solar Heating Plants (solar district heating, 2016)

Die Wärmegewinnung durch Solarthermie ist eine Konsistenzstrategie.

Die in Deutschland insgesamt installierten 2,05 Mio. Einzelanlagen verfügen über eine Solarkollektorfläche von gegenwärtig ca. 18,4 Mio. m^2 und tragen mit etwa 1% zur Wärmeversorgung der Haushalte bei. Der solare Deckungsgrad der Wärmeerzeugung (Heizung und Warnwasser) liegt dabei in nicht wärmesanierten Gebäuden selten höher als 20%[26]. Ein Interviewpartner berichtete, dass auch in Deutschland gegenwärtig einige neue Solarthermiefelder in der Größenordnung von 2.000 bis 15.000 m^2 in Planung wären. Im österreichischen Graz beginnt sogar die Planung der weltgrößten solarthermischen Anlage mit zwischen 150.000 und 450.000 m^2 Kollektorfläche, die etwa 20% des Grazer Fernwärmebedarfes decken könnte.[27] Für diese Anlage müsste das Speicherbecken 1,8 Millionen m^3 fassen können und es wäre eine Investitionssumme von 200 Millionen € erforderlich.

[26] Vgl. https://www.solarwirtschaft.de/fuer-verbraucher/solarwaerme-film/experteninterview.html vom 6.3.2016.

[27] Vgl. http://www.kleinezeitung.at/s/steiermark/4934452/Big-Solar_Weltgrosster-Solarspeicher-soll-Grazern-einheizen vom 26.4.2016.

Hauptakteur der Branche ist der BSW-Solar mit den in ihm zusammengeschlossenen Unternehmen. Dieser beklagt allerdings die Tatsache, dass über die prioritäre Förderung fossiler KWK in Deutschland die Chancen für die solare Wärmeversorgung kaum genutzt werden und kaum nutzbar sind[28]. Die Akteure des BSW-Solar umfassen zahlreiche ökologisch motivierte Unternehmen der Solarbranche, aber auch bereits „klassische" Themotechnikunternehmen, die dem Markt folgend in die Solarbranche eingestiegen sind.

4.2.2 Tiefengeothermie

Das Funktionsprinzip der Tiefengeothermie besteht darin, durch ein oder mehrere Rohre Wasser oder eine andere geeignete Flüssigkeit in große Tiefen hinunter zu pumpen, wo es durch eine Gesteinsformation hindurchgepresst wird und sich so durch die Wärme des umgebenden Gesteins aufwärmt. Das thermische Potenzial der Tiefengeothermie wird vom BMU (2007, S. 13) auf ca. 2.000 PJ veranschlagt.

Die Wärmegewinnung durch Geothermie ist eine Konsistenzstrategie.

Für die tiefe Geothermie (Bohrtiefe > 400 m) weist der Bundesverband Geothermie 33 Anlagen (Heizwerke und Heizkraftwerke) in Betrieb aus, davon 30 zur Wärme und 9 zur Stromproduktion (6 kombiniert). Die installierte Wärmeleistung liegt bei 280,68 MW. Weiter sind 3 Anlagen in Bau und 43 in verschiedenen Planungsphasen[29]. Das langfristig realisierbare Potenzial scheint riesig. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012, S. 59) sieht hier nach der Solarthermie mit 400 TWh/a das zweitgrößte Potenzial erneuerbarer Wärme und schätzt den langfristig möglichen Beitrag der Geothermie auf ca. 300 TWh/a.

Die Stadtwerke München streben bis 2040 eine komplett regenerative Wärmeinspeisung in ihr Wärmenetz an und setzen dabei in erster Linie auf die weitere Erschließung der Erdwärme.[30] Auch in der Fernwärmestrategie von Kopenhagen spielt Tiefengeothermie eine wichtige Rolle (Stobbe, 2014). In der Stadt Celle, dem Zentrum der Deutschen Tiefbohrindustrie, wird die Versorgung eines kompletten Quartiers mit 1000 Wohnungen in Angriff genommen (Bluhm, 2016). Tiefengeothermie ist aber immer noch eine Risikotechnologie. Ein gescheitertes Projekt in Aspern bei Wien (Haas, Suna, Loew & Zeschmar-Lahl, 2013, S. 72) führte für die Wien Energie zu einem Abschreibungsbedarf von 16,1 Mio. €.[31]

Hauptakteur ist der Bundesverband Geothermie mit den in ihm zusammengeschlossenen Unternehmen der Bohrtechnik und Wärmeversorgung.

Problematisch an der Nutzung der Tiefengeothermie für die Wärmeversorgung ist, dass es noch kein Geschäftsmodell zu geben scheint, wie die sehr teuren Bohrungen den lokalen Wärmeversorgern zu einem Festpreis und mit Funktionsgarantie angeboten werden können. Die hier aktiven Bohrunternehmen sind seit langer Zeit für die sehr solvente Erdöl- und Erdgasbranche aktiv. Die Energieunternehmen sind so groß, dass sie die Fündigkeitsrisiken selbst tragen können. So 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

[28] Vgl. BSW Solar (2015): Klimaschutz zum halben Preis. ter https://www.solarwirtschaft.de/presse/pressemeldungen/pressemeldungen-im-detail/news/klimaschutz-zum-halben-preis-solare-fernwaerme.html vom 4.3.2016.

[29] Vgl. http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/in-deutschland.html vom 4.3.2016.

[30] Vgl. https://www.swm.de/privatkunden/unternehmen/engagement/umwelt/vision-fernwarme vom 19.4.2016.

[31] Vgl. http://www.krone.at/Oesterreich/Aspern_16_Millionen_bei_Fernwaermeprojekt_versenkt-Seestadt-Bauskandal-Story-423586 vom 20.4.2016.

Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2011, S. 74). Nicht immer aber scheinen Versicherungen die Risiken wirklich zu versichern[32]. Aber auch eine Versicherung, wenn es sie denn gäbe, ließe für einen kleinen Energieversorger immer noch Risiken übrig: Was ist mit dem Zeitplan, wenn die Bohrung nicht fündig wird? Wie kann man das Wärmenetz termingerecht versorgen, wenn sich Geothermie als komplett nicht machbar erweist? Und wie hoch wird auf lange Sicht das Fündigkeitsrisiko? Da der Wert der Wärme weit unter dem Wert der geförderten Öl- und Gasvorkommen liegt, ist ein sehr hoher Aufschlag für eine Versicherung kaum finanzierbar.

4.2.3 **Abwärme**

Auch industrielle Abwärme kann als Wärmequelle für Wärmenetze genutzt werden und wird auch genutzt, z.B. in der Fernwärmeschiene Niederrhein (AGFW, 2013, S. 125). Neben der Notwendigkeit, mit Blick auf die verfügbaren Quellen der Abwärme und die Wärmenetzalternativen („warme“ und „kalte“ Wärmenetze) ein schlüssiges Gesamtkonzept zu entwickeln, ist ein weiterer Zusammenhang zu berücksichtigen: Durch die fortschreitende energetische Sanierung sinken die Raumwärmebedarfe und steigen gleichzeitig die Sanierungskosten. Parallel wird die Summe der „grauen Energie“ größer, die zur Herstellung der Isoliermaterialien für die Gebäude erforderlich ist. Eine zentrale Aufgabe ist es daher, ein Konzept für den Gebäudebestand zu entwickeln, das den kumulierten Energieaufwand der Summe der laufenden Aufwände für Energieversorgung, Bau, Sanierung und Anlagenbau minimiert. Dabei sind dann die Netze eine Variable unter mehreren. Die Versorgung von unsanierten bzw. nicht sanierbaren Gebäuden mit ohnehin verfügbarer Abfallwärme kann dabei im Einzelfall preiswerter und ökoeffizienter sein als die aufwendige Sanierung und die anschließende Wärmeversorgung auf Basis nicht CO_2-freier Energieträger.

Netze auf Basis von Abwärme oder Netze mit gemischten Quellen wurden bis 2012 nicht gefördert, die Förderung von Abwärmenetzen wurde aber in 2012 als Sonderfall in das KWKG aufgenommen.

Die Wärmegewinnung aus Abwärme ist eine Effizienzstrategie.

Pehnt et al. (2010) errechnen ein Abwärmepotenzial von ca. 90 TWh/a bei einer Temperatur über 140°C und zusätzlich ca. 50 % davon bei Temperaturen zwischen 60°C und 140°C, dessen Nutzung weitgehend unbekannt ist. Zusammen mit der Information des AGFW (2015b, S. 10), dass in ihren Netzen nur etwa 1 TWh/a industrielle Abwärme eingespeist wird, ergibt sich die dringende Vermutung, dass dies Wärmepotenzial von zusammen ca. 135 TWh/a, das immerhin etwa 46 % des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs der privaten Haushalte in 2050 in den Zielszenarien I und IV ausmacht (Prognos et al., 2010, S. 63) weitgehend ungenutzt ist. Aktuelle Berechnungen des IZES ermitteln über 200 TWh/a an theoretischen Abwärmepotenzialen aus dem produzierenden Gewerbe (Grote, Hoffmann & Tänzer, 2015, S. 75). Selbst bei erheblichen Effizienzfortschritten, die bei der industriellen Energienutzung anzunehmen sind, dürfte die industrielle Abwärme einen erheblichen Beitrag zur Wärmeversorgung leisten können. Denn die Quellen sind nicht nur wärmeintensive klassische Industrien sondern zunehmend auch moderne Sektoren wie z.B. Rechenzentren, deren Stromverbrauch allein schon 2008 bei etwa 10 TWh/a lag, die nach dem Stand der Technik auf einem Niveau von ca. 30°C in sogenannte „kalte Wärmenetze“ eingespeist werden könnten (Hintemann, 2015).

[32] So hat z.B. Muich Re bereits Bohrungen in Kenia versichert: http://www.munichre.com/de/media-relations/publications/company-news/2015/2015-07-30-company-news/index.html (vom 8.3.2016). Ein Vertreter der Bohrbranche merkte auf der Hannover Messe am 29.4.2016 jedoch an, dass in den meisten Fällen weder das Fündigkeitsrisiko noch das weit höhere Risiko möglicher Schäden durch Folgeerdbeben versicherbar wäre.

Bei der konkreten und regionalen Suche nach solchen Quellen, lassen diese sich auch finden. Die Landeshauptstadt Hannover ließ das Fernwärmeforschungsinstitut im Rahmen des „Masterplan 100% für den Klimaschutz“ recherchieren (Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.), 2015) und kam zu folgendem Ergebnis:

> Innerhalb der Landeshauptstadt Hannover können die identifizierten Abwärmequellen, deren Daten innerhalb der Studienlaufzeit bestätigt wurden, eine maximale Leistung von 31,8 bis 33,0 MW bei einer Vorlauftemperatur von 90°C und eine Jahreswärmemenge von mehr als 270 GWh bereitstellen. Weitere Wärmequellen mit mehreren Megawatt (MW) Spitzenleistung sind vermutlich vorhanden, bisher aber nicht bestätigt. Mit der bestätigten Abwärmemenge könnten 2050 rund 20% des Wärmebedarfs der Region Hannover für Heizung und Trinkwarmwasser gedeckt werden.

Die bisherige Unfähigkeit deutscher Akteure, Abwärme in Wärmenetzen zu verteilen erwies sich 2015 auch in der IT als Nachteil. In Viborg in Dänemark investiert Apple eine knappe Milliarde € in ein Großrechenzentrum unter anderem deswegen, weil die Möglichkeit besteht die Abwärme der Rechner dem lokalen Fernwärmenetz zuzuführen[33].

Akteure der Abwärmenutzung sind einerseits die etablierten Unternehmen der AGFW, in kleinen Nutzungsfällen aber auch Einzelakteure.

4.2.4 Kalte Wärmenetze

„Kalte Wärmenetze“ arbeiten mit Vorlauftemperaturen von 40°C und Rücklauftemperaturen von 20°C, womit nur moderne Gebäude mit Flächenheizung direkt beheizt werden können. In anderen Gebäuden ist zur Nutzung dieser Wärme eine Wärmepumpe erforderlich, die allerdings aufgrund der günstigen Vorlauftemperatur eine gute Arbeitszahl aufweist (Schmidt, 2014). Die niedrigen Temperaturen haben äußerst geringe Leitungsverluste zur Folge, weil die Temperaturdifferenzen zur Umgebung klein sind.

Kalte Wärmenetze sind eine Effizienztechnologie.

Einzelne Beispiele sind zwar bekannt, eine wirkliche Diffusion hat aber noch nicht eingesetzt.

Akteure des Baus kalter Wärmenetze sind z.Zt. noch Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

4.2.5 Nahwärmeinseln und Quartiersnetze

Auf einem Workshop der Forschungsprogramme EnEff Stadt und EnEff Wärme in Oberhausen (EnEff Stadt EnEff Wärme, 2015, S. 12) wurde das „Quartier“ als Fokus diskutiert: „Das Quartier biete die Möglichkeit, „freier“ zu denken und neue Lösungen zu entwickeln, die wirtschaftlich, ökologisch-sozial und zugleich flexibel angelegt sind. Damit ist das Quartier die Plattform für Umsetzungs- und Optimierungsprozesse.“

Nach dem Vorbild der Bioenergiedörfer wäre das Stadtquartier die Nahwärmeinsel, die es naheliegend macht, die im Quartier vorhandenen Wärmequellen (Abwärme, Goethermie, Solar) zu identifizieren und in ein auf das Quartier und seine Quellen zugeschnittenes Wärmenetz einzubauen.

[33] Vgl. http://www.heise.de/mac-and-i/meldung/Apple-baut-europaeische-Rechenzentren-fuer-1-7-Milliarden-Euro-2557350.html vom 8.3.2016.

Die Herausforderung der Quartierslösung ist das passende Geschäftsmodell. Hier bleibt viel zu tun:

- Die Regionalversorger fokussieren strategisch nach wie vor auf Strom und auf große Angebote für alle Kunden. Sie müssten, vermutlich auf Basis von „Bausätzen“ eine Art Mass-Customization für die Wärmeversorgung entwickeln, also eine Serienproduktion individualisierter und auf das Quartier hin optimierter Netze.
- Für drei zentrale „Bauteile“ für diese Bausätze gibt es allerdings keine Lieferanten.
    - Dies sind zum einen die Langzeitwärmespeicher bzw. Saisonalspeicher, mit deren Hilfe es in Dänemark gelingt, solare Deckungsgrade von 40% bis 50% in Wärmenetzen zu realisieren. In Deutschland existiert bisher kein einziges Unternehmen, welches Erfahrung im Bau solcher Speicher hat und diese serienreif anbietet.
    - Weiter fehlt es an serienreifen Wärmetransformatoren, mit denen das Temperaurniveau der Wärme angepasst werden kann (vgl. Abschnitt 3.2.3).
    - Auch tiefe Geothermiebohrungen stellen ein Manko dar, denn ein kalkulierbares Geschäftsmodell, welches das Risiko solcher Bohrungen für Wärmeversorger überschaubar macht, scheint noch nicht zu existieren.

Akteure, die zur Bildung von Nahwärmeinseln beitragen könnten, sind zum einen die Kommunen, die über eine Wärmeplanung mögliche nachhaltige Wärmequellen identifizieren und ihre Nutzung in die Wege leiten können. Zum anderen sind es Wärmenetzbetreiber, die auf Basis einer Nachhaltigkeits- oder Klimaschutzstrategie neue Lösungen suchen, sowie einzelne neue Unternehmen mit fokussiertem Geschäftsmodell. Das Vertrauen in Quartiersnetze kann selbst bei Nutzung unkonventioneller Energiequellen dadurch sichergestellt werden, dass diese, wo immer möglich, als Sekundärnetze an vorhandene Netze gekoppelt werden. So können im Quartiersnetz zwar u.U. niedrigere Vorlauftemperaturen gefahren werden als im Hauptnetz, bei Problemen mit der Energiequelle kann aber das Quartiersnetz aus dem Hauptnetz gespeist werden.

4.3 Beurteilung der Transformationsansätze.

Die großen Wärmenetze sind durchweg im Eigentum von Energieversorgungsunternehmen, die aus einer Geschichte der Verstromung fossiler Energien kommen und von denen nur wenige bisher über eine konsistente Planung einer Strategie der Wärmewende verfügt. Charakteristisch für die Zukunftsbilder der Wärmenetzbetreiber ist die 70/70 Studie, in der es heißt (AGFW e.V., 2015c, S. 12): „Im Folgenden wird daher zwischen zwei Varianten des Ausbaus unterschieden, d.h. einerseits eine heute gängige Ausbauoption mittels einer neuen Erdgas-KWK-Anlage und einem Heizwerk, deren eingesetzte fossilen Brennstoffe langfristig durch erneuerbare Energien ergänzt werden sowie andererseits eine zweite Ausbauvariante, die die Integration der erneuerbaren Energien durch die Umstellung der Heizwerkfernwärme von Erdgas auf erneuerbare Energien bzw. verstärkte Stromanwendung (Power-to-Distict-Heat) berücksichtigt.“ Obwohl in der Studie an einigen Stellen Geothermie und Solarkollektoren erwähnt werden wird im Hintergrund deutlich, dass sich das Denken von KWK und Heizwerken nicht wirklich weg bewegt.

Eine Abschätzung für eine mögliche regenerative Wärmeversorgung hat die Wiener Stadtwerke Holding AG vornehmen lassen (Haas et al., 2013, S. 93), wobei auch langfristig nur ein Regenerativanteil von 45% erreichbar scheint (20% Solar, 17% Geothermie, 6,5% Abfallverbrennung und 1,5% Biomasse). Einen ähnlichen Fokus setzt der Masterplan 100% für den Klimaschutz der Stadt Frankfurt am Main (Fraunhofer IBP, 2015, S. 195) und diskutiert

aufwendig Hemmnisse des Voranschreitens zu einem höheren Regenerativanteil im Wärmenetz.

Zusammenfassend lässt sich der bisher erreichte Stand der Transformation so charakterisieren:

- Der Ausbau der Brückentechnologie KWK, teilweise auf Basis von Bioenergie, erfolgt zwar, jedoch ist völlig offen, wohin die Brücke führt. Langfristpläne wie in Kopenhagen (Stobbe, 2014) existieren in Energieunternehmen in Deutschland kaum.
- Die Nutzung von Biomasse in Verbindung mit Wärmenetzen hat sich im Umkreis von Biogasanlagen sowie in Bioenergiedörfern recht erfolgreich verbreitet. Auch in großen Wärmenetzen ist Bioenergie bereits mit ca. 5% integriert.
- Die Zahl der solarthermischen Großanlagen begrenzt sich auf etwa ein Dutzend, die der Saisonalspeicher auf wenige Einzelprojekte. Viele Beispiele gibt es dagegen in Dänemark (vgl. Abschnitt 4.1.1).
- Die Tiefengeothermie befindet sich seit Jahren im Erprobungsstadium, in den Jahren 2011 bis 2014 ging die Zahl der geförderten Projekte sogar deutlich zurück (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, S. 12). Zumindest die Stadtwerke München und die Stadt Kopenhagen, aber auch die Stadt Celle in Niedersachsen, sehen aber Tiefengeothermie als Zukunftsoption zur Speisung der Wärmenetze mit erneuerbarer Wärme, Wien aber hat einen Rückschlag erlitten (Haas et al., 2013, S. 72).
- Zwar hat die Abwärmenutzung in den AGFW-Netzen leicht zugenommen und ist als Fördertatbestand seit 2012 als Sonderfall in das KWKG aufgenommen, Daten zur Zahl der abwärmegespeisten Netze und ihrer zukünftigen Potenziale liegen aber kaum vor. Mit Blick auf die Diversität der Quellen ist ohnehin jeder Fall ein Einzelfall.
- Kalte Wärmenetze sind noch im Forschungsstadium.

Solare Wärme, Geothermie wie auch Abwärme können grundsätzlich nur dezentral und mit Blick auf die Ressourcen des Einzelfalls genutzt werden. Einzelne Potenziale davon können nur mit Wärmenetzen erschlossen werden: Wärme aus der Verbrennung von Waldrestholz, dessen Verbrennung in kleinen Öfen nicht erlaubt ist, Wärme aus tiefen geothermischen Bohrungen, deren Leistung für die Versorgung vieler Gebäude ausreicht, aber auch die im Vergleich zu Einzelhausanlagen preiswerte Wärme aus Solarkollektorfeldern.

Die pauschalen Geschäftsmodelle, die eine Leistung hochskalieren und an eine große Zahl von Kunden immer gleich verkaufen, sind hier kaum einsatzbar. Der Blick auf die Vielfalt erneuerbarer Wärmelösungen ist gleichzeitig der Blick auf eine Vielzahl von Kleinunternehmen oder Genossenschaften, die mit Fokus auf lokale Ressourcen und Kunden Einzelfalllösungen entwickelt haben. In diesem Befund mag ein wesentlicher Teil der Erklärung liegen, warum von einer Wärmewende in Deutschland über die Brückentechnologie KWK hinaus noch kaum gesprochen werden kann. Und eine Wärmewende in Deutschland ohne einen deutlichen Ausbau der Wärmenetze ist nicht denkbar.

4.4 Das Akteurssystem der Transformation

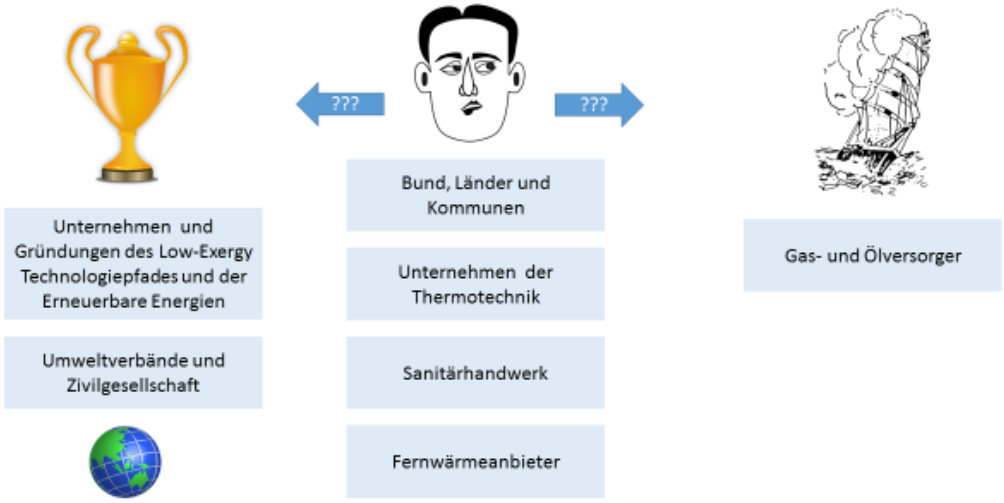
Als Akteure der Transformation sind folgende Gruppen in Bezug auf einen möglichen Pfadwechsel von Belang:

- Bundes- und Landesregierungen, die die Erfordernisse der Verträge zum Klimaschutz wie auch des nationalen Energieprogramms wirksam in die Praxis umsetzen müssen,

- die Thermotechnikunternehmen des dominierenden Regimes der fossilen high-exergy Wärmewirtschaft, die zum Teil als Anlagenhersteller auch die Technologien des low-exergy Pfades herstellen bzw. herstellen werden, sowie ihr zentraler Verband der BDH,
- die Handwerksunternehmen des dominierenden Regimes der fossilen high-exergy Wärmewirtschaft, also die Installateure und Heizungsbauer, die auch die Technologien des low-exergy Pfades einbauen und warten werden, sowie ihr zentraler Verband der ZVSHK,
- die Energieunternehmen des dominierenden Regimes der fossilen high-exergy Wärmewirtschaft, also die Gas- und Heizöllieferanten, die Verlierer der Transformation sein werden,
- die Fernwärmeanbieter, deren Netze vom high-exergy Pfad im Laufe der Zeit auf den low-exergy Pfad umgestellt werden müssen,
- die Unternehmen und Gründungen des entstehenden low-exergy Technologiepfades und ihre Verbände BEE, BSW Solar usw.,
- die Eigentümer von Gebäuden aller Art, deren Wärmeversorgung im Zuge des Pfadwechsels umgestellt werden wird (wobei die bereits installierten Zahlen von Solarthermie- und Photovoltaikanlagen erkennen lassen, dass etwa 10% der Gebäudeeigentümer einem solchen Pfadwechsel aus verschiedenen Gründen aufgeschlossen gegenüber stehen und ihn auch zu finanzieren bereit sind) sowie
- die Kommunen bzw. Landkreise, deren Aktivitäten sich zukünftig auch auf regionale Energieplanung erstrecken werden,
- zivilgesellschaftliche Kräfte haben sich in der Klima Allianz Deutschland (Klima Allianz Deutschland, 2016) zusammengeschlossen und fordern die Ausdehnung der Energiewende auf die Wärme unter dem Schlagwort Wärmewende.

Diese Aufzahlung macht deutlich, dass es neben den Lieferanten von Öl und Gas durch mehr Wärmenetze als EINE Erscheinungsform der Wärmewende nicht unbedingt weitere Verlierer geben muss. Für alle anderen sind Co-Benefits bzw. Win-Win Situationen möglich.

Abbildung 9: Gewinner und Verlierer einer Wärmewende durch Wärmenetze



Quelle: Borderstep Institut

Innerhalb dieser Akteursgruppen ist eine zentrale Rolle bei den staatlichen und kommunalen Stellen zu erkennen. Die Akteure der Wirtschaft, sowohl des High-Exergy wie des Low-Exergy Pfades, können nur diejenigen Lösungen praktisch umsetzen, für die sich eine regionale oder Fallbezogene Mehrheit bzw. Kundengruppe entscheidet. Für diese Entscheidung sind maßgeblich:

- die Verfügbarkeit der jeweiligen Technologien,
- die Vetrauenswürdigkeit dieser Technologien für die betroffenen AnwenderInnen,
- die relativen Investitions- und Betriebskosten.

Während die ersten beiden Punkte von den Wirtschaftsakteuren beeinflusst werden können, sind die relativen Kosten, besonders die Energiekosten, Gegenstand international schwankender und kaum vorhersehbarer Rohstoffpreise sowie staatlicher Rechtssetzung durch Energiesteuern. Mit Blick auf die Frage der relativen Preise sind alle Wirtschaftsakteure in einer reaktiven Rolle.

Für den Fall einer eindeutigen Rechtssetzung in Richtung einer Wärmewende sind es aber nur die Öl- und Gasversorger, die in jedem Falle zu den Verlierern zählen. Und es sind in erster Linie die Unternehmen und Gründungen der Low-Exergy Technologien und der erneuerbaren Energien, die voraussichtlich zu den Gewinnern zu rechnen wären.

Alle anderen Wirtschaftsakteure stehen zwar grundsätzlich vor den Anforderungen, Produktprogramme, Produktionsanlagen und technisches Fachwissen weiterentwickeln bzw. anpassen zu müssen, haben aber die Möglichkeit, langfristig von einer Wärmewende zu profitieren. Denn selbst, wenn die Wärmeversorgung für die Gebäudebesitzer nicht teurer würde, würden erhebliche Werte nicht mehr für Importe von Gas und Öl abfließen, sondern diese Werte würden wohl zu einem großen Anteil den Technologienanbietern und Fernwärmelieferanten zu Gute kommen. Die von European Heat & Power (Aalborg University, 2012) erwarteten 220.000 Arbeitsplätze in Europa, die durch einen hohen Versorgungrad mit Wärmenetzen geschaffen würden, spiegeln diesen Effekt.

5 Fazit und Möglichkeiten für Pfadwechsel

Der hier vorgelegte Bericht fokussiert auf die Transformation der Versorgung von Gebäuden mit Wärme weg von dezentralen fossilen Wärmequellen hin zur Versorgung mit erneuerbaren Energien oder Abwärme über Wärmenetze. Im Fokus stehen dabei einerseits High-exergy Ansätze mit Biomasse, Power-to-heat sowie Effizienzverbesserungen auch bei konventionellen fossilen Wärmenetzen. Andererseits werden Ansätze der Low-Exergy Wärmeversorgung über Wärmenetze fokussiert, die von Solarer Wärme, von Tiefengeothermie oder von Abwärme gespeist werden können und für die die Technologie der „kalten Wärmenetze" auch mit Fokus auf Nahwärmeinseln und Quartiersnetze von Bedeutung ist.

5.1 Pfadabhängigkeiten

Seit Ende des 19ten Jahrhunderts entstanden die ersten Wärmenetze, die aber fast durchgängig der Nutzung von Abwärme aus Verbrennungsprozessen der fossilen Stromerzeugung dienten und sich in Deutschland auch nur wenig verbreiteten. Im Jahr 2014 betrug der Anteil des fernwärmebeheizten Wohnungsbestands ca. 13,5 %. Bisher ist der Pfad der dezentralen und fossilen Raumwärmeversorgung in Deutschland durch Wärmenetze kaum erschüttert.

Der Pfad der gebäudeindividuellen Wärmeversorgung umfasst dabei mindestens drei Komponenten: die Wärmeerzeuger sowie Anlagen zur Wärmeverteilung (also die Heizkörper) in den Gebäuden, die preiswerten und immer verfügbaren fossilen Energieträger Gas und Öl sowie ihre Lieferanten in Kombination mit der nur für wenige Gebäude verfügbaren Versorgung über Wärmenetze und letztlich (ineffiziente) Gebäude mit hohen Wärmeverlusten, die kaum anders als durch hochexergetische Verbrennungsprozesse oder durch Wärmenetze mit hoher Vorlauftemperatur beheizt werden können.

Eine Reihe von Pfadabhängigkeiten stehen einer Transformation so lange entgegen, bis eindeutige politische Signale gesetzt werden. Die zentralen Pfadabhängigkeiten sind:

1. Auf staatlicher Ebene sind niedrige Preise für fossile Energieträger durch den nicht-funktionierenden EU-Emissionshandel und niedrige Energiesteuern auf lange Zeit festgeschrieben. Aufgrund dieser niedrigen Preise für fossile Energieträger besteht aus Sicht der großen Energieversorger keinerlei wirtschaftlicher Anreiz, erneuerbare Energieträger zu erschließen oder in Wärmenetze zur Abwärmenutzung oder zur Nutzung sonst nicht nutzbarer Erneuerbarer zu investieren. Durch hohe und zunächst unsichere Investitionen könnten hier quasi nur nicht-wettbewerbsfähige Alternativangebote aufgebaut werden. Die Interviewpartner betonen übereinstimmend, dass höhere Preise für fossile Energieträger, die aber als „level playing field" für alle in der Wärmeversorgung aktiven Akteure gelten müssten, eine zentrale Voraussetzung für eine Wärmewende sind.
2. Die großen und mittelgroßen Energieversorger (EVU's) sind historisch auf große und fossile Strom- wie Wärmenetze „trainiert". Neben den erheblichen Investitionen, die in den großen fossilen KWK-Kraftwerken der Fernwärmeversorgung festliegen, ist die Entwicklung maßgeschneiderter und regenerativ gespeister Quartierslösungen bisher nicht verbreitet.
3. Für die Kommunen sind die Beteiligungen an ihren Stadtwerken ein wichtiger Faktor zur Deckung des Haushaltes. Regionale Energiepläne mit einer u.U. aus ihnen erwachsenden Konsequenz zur Ausweisung von Fernwärmeversorgungsgebieten oder

zur Nutzung lokaler Energiequellen würde die Ertragskraft der Energieversorger schmälern. Die Kommunen befinden sich damit im Dilemma.

4. Schlüsseltechnologien einer Low-Exergy Wärmeversorgung wie der Wärmetransformator und der Langzeitwärmespeicher oder eine befriedigende Lösung des Legionellenproblems bei niedriger Warmwassertemperatur sind nicht serienreif und stehen für einen Pfadwechsel gegenwärtig noch nicht zur Verfügung.

Zwischen den Pfadabhängigkeiten bestehen insoweit Zusammenhänge, als sie nur zusammen die hohe Stabilität des technologischen Systems „dezentrale fossile Heizwärmeversorgung“ erklären können. Auf der Kundenseite stabilisieren niedrige Brennstoffpreise zusammen mit dem teuer zu sanierenden Gebäudebestand den Fokus auf preiswerte Gas- und Ölheizungen. Auf der Anbieterseite sind es die hohen Kosten für den Wärmenetzausbau und die fehlende Ausweisung von Fernwärme-Vorranggebieten, die die die spätere Auslastung von neuen Wärmenetzen unsicher macht. Angesichts eines weitgehend fehlenden, wirksamen umweltpolitischen Druckes zur Veränderung ist so der gegenwärtige Zustand sehr stabil.

5.2 Auswirkungen der Pfadabhängigkeiten auf die Transformationsansätze

Auf die Kapitel 4 vorgestellten Transformationsansätze wirken sich die Pfadabhängigkeiten mit unterschiedlicher Intensität aus. Eine starke Pfadabhängigkeit stabilisiert dabei das System mit seinen Akteuren in besonders hohem Ausmaß. Sie stellt damit ein besonders starkes Hemmnis für einen Pfadwechsel dar.

Tabelle 1: Auswirkungen von Pfadabhängigkeiten auf Transformationsansätze

Transformationsansatz / Leitstrategie / Pfadabhängigkeit	Biomasse Konsistenz	Effizienzverbesserungen Effizienz	Solare Wärme Konsistenz	Tiefengeothermie Konsistenz	Abwärme Effizienz	kalte Wärmenetze Effizienz
1. Niedrige Brennstoffpreise	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch
2. Fokus der EVU‘s auf fossile Großnetze	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
3. kommunalpolitische Mankos	mittel	niedrig	hoch	hoch	hoch	hoch
4. fehlende Technologien	niedrig	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch

Quelle: eigene

Die Hürden für eine Realisierung konsistenter Lösungen sind höher als die für Effizienzlösungen. Ausnahme sind die in Wärmentze eingebundenen Biomasseheizwerke, die aufgrund ihres High-Exergy Charakters auf geringere Widerstände stoßen als die Low-

Exergy Lösungen Solar und Wärmepumpe. Konsistent ist aber die Heizung mit Biomasse nur im Rahmen der nachhaltigen Erzeugung der Biomasse, deren verfügbarer Menge Grenzen gesetzt sind.

Noch unklar sind einige Auswirkungen von Pfadabhängigkeiten auf die Idee Power-to-heat. Aber auch die Perspektive dieses Transformationsansatzes ist insgesamt unklar. Sollte es gelingen, funktionierende Stromspeicher großer Kapazität zu bauen, dann dürfte der Traum vom Überschusstrom und damit von Power-to-heat ein Traum bleiben.

Ebenso unklar ist, wie die großen Öl- und Gaskonzerne auf einen weitgehend zeitparallelen Ausstieg aus fossilen Heizungsanlagen und Verbrennungsmotoren reagieren würden.

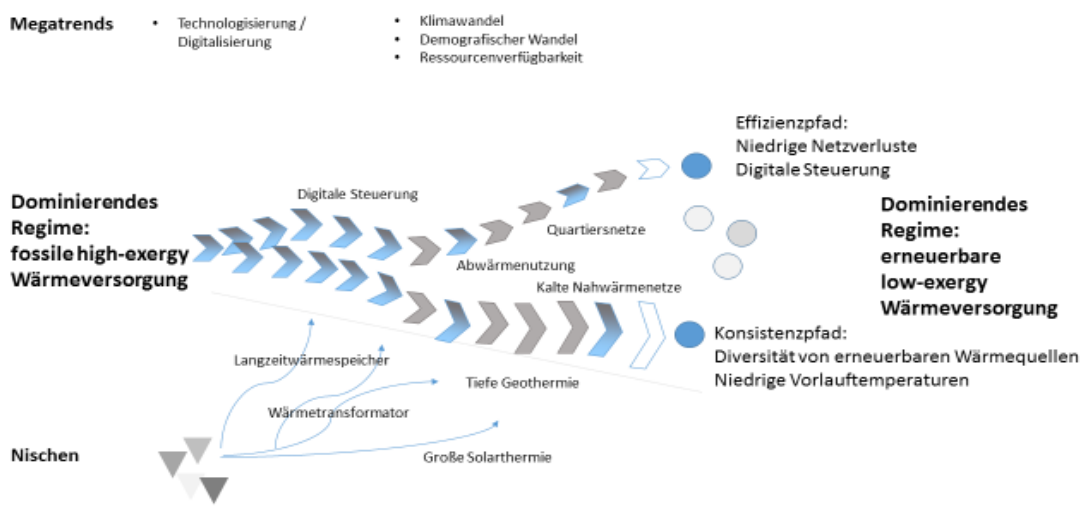
5.3 Erste Handlungsempfehlungen

In der Wärmeversorgung ist ein grundsätzlicher Wechsel des vorherrschenden Pfades einer High-Exergy Wärmeversorgung von Einzelgebäuden notwendig. Dieser Pfadwechsel bedingt:

- den Wechsel von High-Exergy Wärmequellen zu Low-Exergy Wärmequellen,
- den Wechsel von zentraler Wärmeerzeugung für Wärmenetze in Großanlagen zu dezentraler und vielfältiger Erzeugung und Integration verschiedener Quellen in die Netze,
- die Schließung von Lücken in Forschung und Produktentwicklung, da eine Reihe von wesentlichen Low-Exergy Technologien (Wärmetransformator, Wärmespeicher) nicht so weit entwickelt sind, wie dies denkbar und für den Pfadwechsel notwendig erscheint,
- den Wechsel zumindest eines großen Teils der Gebäude von fossilen Heizungsanlagen für Einzelgebäude zu möglichst regenerativen Wärmenetzen.

Für diesen Pfadwechsel ist es erforderlich, dass eine Reihe von Nischentechnologien in das dominierende Regime vordringen.

Abbildung 10: Pfadwechsel Wärmenetze



Quelle: Borderstep

Die Stärke der Transformationsansätze im Kontext Wärmenetze liegt darin, dass sie alle zusammen wesentliche Teile einer Wärmewende darstellen können. Die technische Entwi-

cklung ist zwar nicht für alle wünschenswerten Komponenten abgeschlossen, aber dem Einstig in eine breitere Diffusion regenerativer Wärmenetze steht grundsätzlich nichts im Wege. Ein Pfad zur Transformation der Wärmeversorgung durch einen höheren Amnteil von Wärmenetzen kann also von der Politik beschritten werden.

Eine wesentliche Problematik für eine Transformation besteht darin, dass diese aus der Sicht der Nutzerinnen und Nutzer der Wärmeversorgung gegenwärtig funktionell, komfortabel und preiswert erfolgt. Die zentrale Schwäche der fossilen Wärmeversorgung ist, dass mit ihr die Bekämpfung des Klimawandels nicht gelingen kann. Da es hier um Rechte zukünftiger Generationen geht, ist eine Konsensfähigkeit einschneidender Maßnahmen in der Breite der heute lebenden Bevölkerung unsicher. Eine entschlossene und zielorientierte Politik ist gefordert.

Sollen für diesen Pfadwechsel ökonomische Eigendynamiken freigesetzt werden, ist darüber hinaus eine erhebliche Verschiebung der relativen Preise notwendig. Gegenwärtig blockieren die niedrigen Preise für fossile Energien nicht nur die Diffusion wesentlicher regenerativer Technologien sondern sogar deren konsequente Entwicklung.

Die Entscheidungsfindung zur Realisierung einer oder mehrerer Transformationsstrategien kann darüber hinaus nicht rein marktökonomisch und utilitaristisch-nutzenmaximierend durchgeführt werden, sondern diese muss auch ressourcenökonomisch in Abwägung der jeweils lokal verfügbaren Mengen erfolgen – ein Argument, welches besonders die Transformationsansätze Biomasse sowie Power-to-heat betrifft.

Für eine effektive Wärmewende mit hohen Anteilen an Wärme aus erneuerbaren Energien, die zu einem erheblichen Anteil über Wärmenetz verteilt werden, ist ein tiefgreifender politscher Ansatz erforderlich, wie er in Däemark verfolgt wird:

Rahmensetzung der Wärmewende in Dänemark

In Dänemark werden Wärmenetze als “natürliches Monopol” verstanden, da sich der Transport von Wärme über lange Entfernungen nicht lohnt und parallele (konkurrierende) Netze nicht rentabel sind (Bregnbaek, 2005, S. 15). In Dänemark umfasst die politisch gewollte Förderung der Wärmenetze (Gasnetze sind weit weniger vrebreitet als in Deutschland) ein breites Spektrum an Maßnahmen (Hertle, Pehnt, Dingeldey & Gugel, 2015, S. 15):

- „Die Einpreisung langfristiger externer Umweltkosten der Energieerzeugung erfolgt in Dänemark über eine deutlich höhere Besteuerung fossiler Energieträger (in Dänemark rd. 3 Ct / kWh z.B. bei Gas und etwas über 4 Ct / kWh bei Heizöl – zzgl. 25% MwSt.).
- In Dänemark laufen die Lizenzen zur Kohleverfeuerung bis zum Jahr 2030 aus. Dadurch können sich alternative Systeme mit KWK und erneuerbaren Energien ausbreiten.
- Während in Deutschland die KWK in den letzten Jahren stagniert und sogar Gaskraftwerke aus dem Markt gedrängt werden, zeigt Dänemark, dass KWK-Kraftwerke durch eine flexiblere Betriebsweise und eine angemessene Infrastruktur weiterhin ein Rückgrat der Wärmeversorgung darstellen können.
- Durch das Verbot zur Erwirtschaftung von Gewinnen in Wärmenetzen konnten die Wärmenetze stark ausgebaut und die Wärme kostengünstig angeboten werden. Dieser Ansatz könnte über Genossenschaften auch in Deutschland genutzt werden.
- Die niedrigen Vor- und Rucklauftemperaturen in den dänischen Wärmenetzen erlauben eine effiziente Einspeisung von Wärme aus erneuerbaren Energien, Umwelt und Abfallwärme mit geringen Netzverlusten.
- Der Bau von großen Kollektorflachen und deren Integration in ein bestehendes Wärmenetz ist im Prinzip einfach und deutlich kostengünstiger als Kollektoren auf Einzelgebäuden. Dabei werden auch saisonale Speicherkonzepte und Kombinationen mit Wärmepumpen erprobt.“

Weiter ist der Ersatz vonm Ölheizungen seit Anfang 2016 verboten, wenn Gebäude auch an die Fernwärme angeschlosen werden können.

Um auch in Deutschland die Pfadabhängigkeiten zu überwinden und die Diffusion von Wärmenetzen als wesentliche Schlüsseltechnologie der Wärmewende einzuleiten erscheint es mindestens notwendig, folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Terminierung des Kohleausstiegs,
- dauerhafte Erhöhung fossiler Energiepreise für Wärmeträger, wobei ein Steuermodell auch die Schwankungen der Preise auf den internationalen Rohstoffmärkten ausgleichen könnte und so Investitionen in Energieeffizienz wieder „gerechnet“ werden könnten,
- Verbot des Neubaus von Heizungsanlagen, die auf eine Vorlauftemperatur von mehr als 30 bis 35°C angewiesen sind,
- Schärfung des EEWärmeG, so dass dieses wirksame Akzente zur Entwicklung eines Marktes für Anbieter regenerativer Wärmeanlagen liefert sowie Ausweitung seiner Gültigkeit auch für Renovierungsvorhaben nach Vorbild des entsprechenden Landesgesetzes in Baden-Württemberg,
- aktive Ausweisung von Wärmenetz-Vorranggebieten zur Förderung des Absatzes und damit der Wirtschaftlichkeit der Nutzung von ortsgebundenen Wärmepotenzialen, z.B. rund um Abwärmequellen,
- Marktanreizprogramm für große Solarkollektorfelder (ab. 10.000 m^2) und große Saisonalspeicher nach dänischem Vorbild,
- wirksamer Einstieg in die Diffusion der Tiefengeothermie zur Wärmenutzung mit dem Fokus auf die Aufgabe, ein Geschäftsmodell für die schlüsselfertige Erstellung solcher Bohrungen zu entwickeln (sowie ggf. Prüfung der Herausnahme der Tiefengeothermie aus dem EEG, da sich zeigt, dass die Wärmenutzung dieser Low-Exergy Wärmequelle erheblich sinnvoller ist),
- Verstärkung der Förderung von Forschung und Entwicklung sowie Markteinführung von weiteren Low-Exergy Technologien.

Experteninterviews

Semistrukturierte Interviews wurden geführt mit:

- Matthias Kahle, Planer für BHKW und Wärmenetze, GWE Wärme- und Energietechnik GmbH & Co. KG, Gütersloh (8.4.2016)
- Bene Müller, Vorstand Vertrieb und Marketing, Solarcomplex, Singen / Hohentwiel (18.4.2016)
- Heiko Huther, Bereichsleiter Forschung und Entwicklung, AGFW, Frankfurt am Main, (25.4.2016).
- Juri Horst, Arbeitsfeld Energiemärkte, IZES, Saarbrücken (26.4.2016).

Als Interviewleitfaden fanden folgende Fragen Verwendung:

1) Wie wichtig ist der Bau von Wärmenetzen für eine Wärmewende hin zu nachhaltiger und größtenteils regenerativer Wärmeversorgung?
2) Welche Pfadabhängigkeiten prägen das vorherrschende System der Wärmeversorgung und der Wärmenetze? Durch welche Wirkungsmechanismen hemmen sie jeweils die Veränderung?
3) Welches sind die wichtigsten Technologiekomponenten, auf denen eine Wärmewende hin zu nachhaltiger und größtenteils regenerativer Wärmeversorgung aufbauen müsste und die noch nicht serienreif verfügbar sind?
4) Welche politischen Maßnahmen sind erforderlich, so dass die Märkte sich im Sinne einer Wärmewende bewegen können?

Literaturverzeichnis

Aalborg University. (2012). *Heat Roadmap 1 for European Heat & Power*. Aalborg. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_1.pdf

Achatz, A. & Müller, B. (2015). Präsentation zur Hauptversammlung solarcomplex 2015. Radolfzell. Zugriff am 22.2.2016. Verfügbar unter: http://www.solarcomplex.de/fileadmin/user_upload/Download/V-2015-07-09-HV_soc_AG.pdf

Adam, M. (2014). *Absorptionswaermepumpen*. Düsseldorf. Zugriff am 19.4.2016. Verfügbar unter: https://zies.hs-duessel-dorf.de/Forschung%20und%20Entwicklung/AG%20Erneuerbare%20Energien/Vortraege_e2/Documents/Absorptionswaermepumpen.pdf

AG Energiebilanzen. (2015). *Energieverbrauch in Deutschland Daten für das 1.- 4. Quartal 2015*. Berlin. Zugriff am 1.3.2016. Verfügbar unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/

Agentur für Erneuerbare Energien. (2012). *Die Investitionskosten neuer Kraftwerke als Einflussfaktor auf die Kosten der Energiewende*. Berlin. Zugriff am 6.3.2016. Verfügbar unter: http://www.forschungsradar.de/uploads/media/AEE_Dossier_Studienvergleich_Investitionskosten_nov12.pdf

AGFW. (2013). *Transformationsstrategien Fernwärme TRAFO - Ein Gemeinschaftsprojekt von ifeu-Institut, GEF Ingenieur AG und AGFW*. Frankfurt am Main. Zugriff am 1.3.2016. Verfügbar unter: http://www.eneff-stadt.info/fileadmin/media/Publikationen/Dokumente/Endbericht_Transformationsstrategien_FW_IFEU_GEF_AGFW.pdf

AGFW e.V. (2014). Flexibilitätsreserve Wärmemarkt. Power to District Heat. Frankfurt am Main. Zugriff am 30.4.2016. Verfügbar unter: https://www.agfw.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/agfw/content/linkes_menue/strategie_und_politik/klima_u._umwelt/Power-to-District_Heat/Praesentation_Power-to-District_Heat.pdf&t=1462109421&hash=d5209659e2c0e5f099efd558a4cdec13b2a55022

AGFW e.V. (2015a). *Hauptbericht 2014*. Frankfurt am Main. Zugriff am 1.3.2016. Verfügbar unter: https://www.agfw.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/agfw/content/linkes_menue/zahlen_und_statistiken/Version_1_HB2014_-_WEB.pdf&t=1456921186&hash=52634acf457d1ff5b1836c677a9ea46e44a476b7

AGFW e.V. (2015b). *AGFW Hauptbericht 2014*. Frankfurt am Main. Zugriff am 26.11.2015. Verfügbar unter: https://www.agfw.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/agfw/content/linkes_menue/zahlen_und_statistiken/Version_1_HB2014_-_WEB.pdf&t=1448620212&hash=0fe05c827270f03015d943319a80910743a06669

AGFW e.V. (2015c). *Die 70/70-Strategie Konzept und Ergebnisse*. Frankfurt am Main. Zugriff am 3.5.2016. Verfügbar unter: https://www.agfw.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/agfw/content/linkes_menue/Die_70_70-Strategie/Studie_70_70_Endversion_01.pdf&t=1462360619&hash=b7dd17d53d6def0b5bb7d596aa19d97c4dda7f3c

Agora Energiewende. (2014). *Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien*. Berlin. Zugriff am 30.4.2016. Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2013/power-to-heat/Agora_PtH_Langfassung_WEB.pdf

Aktiv Region Schwentine/Holsteinische Schweiz. (2015). *Wärmewende Info 20. Dronninglund Fjernvarme. Seit 2014 solarthermische Deckungsrate von 41%*. Eutin. Zugriff am 8.3.2016. Verfügbar unter: http://energiegenossenschaft-foehr.de/wp-content/uploads/2015/06/W%C3%A4rmewende-Info-20-Dronninglund-end.pdf

Aretz, A. & Hirschl, B. (2007). *Biomassepotenziale in Deutschland – Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden* (No. 1). Berlin. Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/Diskussionspapier_Potenzialanalyse_I_D6W.pdf

Baulinks. (2016, Februar 24). Heizungsindustrie 2015: Brennwert gewinnt, Erneuerbare schwächeln. Zugriff am 1.3.2016. Verfügbar unter: http://www.baulinks.de/webplugin/2016/0259.php4

BDEW e.V. (2015). *Gewohnte Wege verlassen, Stadtwerkestudie 2015*. Frankfurt am Main. Zugriff am 8.3.2016. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20150819-pi-neue-stadtwerkestudie-von-ey-und-bdew-de/$file/Stadtwerkestudie_2015.pdf

Bluhm, L.H. (2016, Februar 16). Strom für 1000 Haushalte. Celler Geothermie-Projekt wird bei Offenburger Messe vorgestellt. *Cellesche Zeitung*. Celle.

Bregnbaek, L. (2005). *Natural Gas Supply in Denmark - A Model of Natural Gas Transmission and the Liberalized Gas Market*. Kopenhagen. Zugriff am 19.4.2016. Verfügbar unter: http://www.eabalmorel.dk/files/download/Trainingandeducation/Natural%20Gas%20Supply%20in%20Denmark%20-%20A%20Model%20of%20Natural%20Gas%20Transmission%20and%20the%20Liberalized%20Gas%20Market.pdf

BSW Solar. (2015). *Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie)*. Berlin. Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2015_6_BSW_Solar_Faktenblatt_Solarwaerme.pdf

Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (2013). *Positionspapier „Fernwärme aus Kraftwerken in NRW im freien Wettbewerb des Wärmemarktes“*. Köln. Zugriff am 5.4.2016. Verfügbar unter: http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Positionspapier_zur_Fernwa__rme_-_final.pdf

Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (2014). *Positionen und Vorschläge zur Umsetzung der Energiewende und zum Klimaschutz im Gebäudebereich*. Köln. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Positionspapier_BDH_ZVSHK.pdf

Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik & Shell. (2013). *Shell BDH Hauswärme-Studie Fakten, Trends und Perspektiven für Heiztechniken bis 2030*. Hamburg, Köln. Zugriff am 6.4.2016. Verfügbar unter: http://s08.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/comms-shell-bdh-heating-study-2013.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (2011). *Tiefe Geothermie Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland*. Berlin. Zugriff am 3.8.2016. Verfügbar unter:

http://www.geotis.de/homepage/Ergebnisse/TIEFE_GEOTHERMIE_Nutzungsmoeglichkeiten_in_Deutschland_3_Auflage_2011.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (2012). *Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung*. Berlin. Zugriff am 19.4.2016. Verfügbar unter: http://www.renewable-energy-concepts.com/fileadmin/user_upload/download-infos/broschuere_ee_zahlen_2011.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). (2007). *Tiefe Geothermie in Deutschland*. Berlin. Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: http://www.bgr.bund.de/MAGS/DE/Downloads/BMU_TiefeGeothermie.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). *Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2014*. Berlin. Zugriff am 7.3.2016. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/erneuerbare-energien-in-zahlen-2014,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2016). *Energiedaten: Gesamtausgabe. Stand Januar 2016*. Berlin. Zugriff am 5.4.2016. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

Bundesregierung. (2012). *Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“*. Berlin. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/erster-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

Bundesregierung. (2015). *Unterrichtung durch die Bundesregierung Vierter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“*. Berlin. Zugriff am 3.3.2016. Verfügbar unter: http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/067/1806780.pdf

CIT Energy Management AB. (2012). *Market for Solar District Heating*. Gothenburg. Zugriff am 7.3.2016. Verfügbar unter: http://solar-district-heating.eu/portals/0/sdh-wp2-d2-3-market-aug2012.pdf

Clausen, J. (2010). Die quantitative Erhebung zur Nutzung von Solarthermie und Ökostrom - Deskriptive Analyse. *WENKE2 - Wege zum nachhaltigen Konsum*. Marburg.

Clausen, J. (2013). *Wärmenetze und Langzeitwärmespeicher als Schlüsseltechnologien der nachhaltigen Wärmeversorgung Entwicklungspotenziale und Handlungsoptionen*. Berlin. Zugriff am 4.4.2016. Verfügbar unter: http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen-Waermenetze_-und_Langzeitwaermespeicher_als_Schluesseltechnologien-2013.pdf

Clausen, J. (2014). *Innovationspotenzialanalyse und Roadmap Klimaangepasste Kältetechnik Potenziale und Innovationssystem*. Bremen. Verfügbar unter: www.nordwest2050.de

Clausen, J. (2016). *Evolutorische Ökonomik – Pfadabhängigkeiten. Evolution2Green Teilbericht zu AP 1.2*. Berlin.

Clausen, J. & Blöthe, T. (2013). *Leitfaden Klimaangepasste Kältetechnik - Technologien und Anwendungsbeispiele zur Nutzung von Abwärme und Umweltenergien zur Kältegewinnung*. Oldenburg, Berlin. Zugriff am 18.11.2014. Verfügbar unter: http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen_Bloethe-Leitfaden_Klimaangepasste_Kaeltetechnik-2013.pdf

Clausen, J., Winter, W. & Kettemann, C. (2012). *Akzeptanz von Nahwärmenetzen*. Hannover: Borderstep Institut. Zugriff am 26.1.2016. Verfügbar unter: http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen-Winter-Kettemann_Akzeptanz_-von_Nahwaermenetzen-Bericht_Befragun-2012.pdf

Deutsche Umwelthilfe. (2016). *Blaupause Wärmewende Positionspapier der Deutschen Umwelthilfe für mehr Energieeffizienz und erneuerbare Wärme*. Radolfzell. Zugriff am 28.4.2016. Verfügbar unter: http://www.duh.de/uploads/media/Positionspapier_Waemewende.pdf

DLR, FHW, Ökoinstitut & IZES. (2009). *Ergänzende Untersuchungen und vertiefende Analysen zu möglichen Ausgestaltungsvarianten eines Wärmegesetzes Endbericht*. Stuttgart. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Endbericht_Waermegesetz-11.pdf

DLR, Fraunhofer IWES & IfnE. (2011). *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global „Leitstudie 2010“*. Stuttgart. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://www.fvee.de/fileadmin/politik/bmu_leitstudie2010.pdf

DLR, Fraunhofer IWES & IfnE. (2012). *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und Global*. Stuttgart, Kassel, Teltow.

van den Dobbelsteen, A., Broersma, S. & Stremke, S. (2011). Energy Potential Mapping for Energy-Producing Neighborhoods. *SUSB*, *2* (2), 170–176.

EnEff Stadt EnEff Wärme. (2015). *Dokumentation „Geschäftsmodell Energiewende“ 4. EnEff:Stadt Praxis-Workshop 21./22. Oktober 2015*. Oberhausen. Zugriff am 8.3.2016. Verfügbar unter: http://www.eneff-stadt.info/fileadmin/media/News/Dateien/Vortraege_PWS_Oberhausen_2015/Dokumentation_PraxisWS_Oberhausen_2015.pdf

Fraunhofer IBP. (2015). *Generalkonzept im Rahmen des Masterplans „100% Klimaschutz“ der Stadt Frankfurt am Main*. Kassel. Zugriff am 20.4.2016. Verfügbar unter: http://www.masterplan100.de/fileadmin/user_upload/content/pdf/20150520_Generalkonzept_IBP_final.pdf

Gores, S. (2010, Dezember 13). Markt für Blockheizkraftwerke Absatz 2009 und aktuelle Entwicklung. Berlin. Zugriff am 3.2.2016. Verfügbar unter: http://www.bkwk.de/fileadmin/users/bkwk/aktuelles/presse/2010-12-13%20BHKW-Marktentwicklung.pdf

Gores, S., Emele, L. & Förster, H. (2014). *Aktueller Stand der KWK - Erzeugung (September 2014)*. Freiburg. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://www.oeko.de/oekodoc/2118/2014-674-de.pdf

Grote, L., Hoffmann, P. & Tänzer, G. (2015). *Abwärmenutzung - Potentiale, Hemmnisse und Umsetzungsvorschläge*. Saarbrücken: IZES. Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: http://www.izes.de/cms/upload/publikationen/20150901_BMUB_Studie_Abwaerme_V.1.1.pdf

Haas, R., Suna, D., Loew, T. & Zeschmar-Lahl, B. (2013). *Optionen für die Gestaltung des Wiener Energiesystems der Zukunft* (Endbericht). Wien. Zugriff am 20.4.2016. Verfügbar unter: http://www.4sustainability.de/energie-undstaedte/publikationen.html

Hebeker, D. (1995). *Wärmetransformation*. Halle. Verfügbar unter: https://edoc.bbaw.de/files/175/2383oTsPhiGyA.pdf

Heizungsjournal. (2016). Sanierungsmarkt gewinnt an Fahrt! *Heizungsjournal*, (1-2), 100–102.

Henning, H.-M. & Treffinger, P. (1997). *Verfahren der Wärmetransformation für die solare Gebäudetechnik*. Freiburg. Zugriff am 19.4.2016. Verfügbar unter: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th1997/th1997_02_06.pdf

Hertle, H., Pehnt, M., Dingeldey, M. & Gugel, B. (2015). *Wärmewende in Kommunen Leitfaden für den klimafreundlichen Umbau der Wärmeversorgung*. Berlin. Zugriff am 8.3.2016. Verfügbar unter: https://www.boell.de/de/2015/09/30/waermewende-kommunen

Hintemann, R. (2015). *Energy Consumption of Data Centers in 2014*. Berlin: Borderstep Institut.

IFEU & Fraunhofer ISI. (2011). *Kurzzusammenfassung Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative*. Heidelberg, Karlsruhe. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://www.ifeu.de/energie/pdf/NKI_%20Zusammenfassung_Endbericht%20NKI%20V37.pdf

Institut für Wärme und Öltechnik. (2015). *GfK-Umfrage: 93 Prozent der Verbraucher sind zufrieden mit ihrer Ölheizung. Über 50 Prozent kombinieren Heizöl mit erneuerbaren Energien*. Hamburg. Zugriff am 3.2.2016. Verfügbar unter: http://www.presseportal.de/pm/57722/2920152

Klima Allianz Deutschland. (2016). *Klimaschutzplan 2050 der deutschen Zivilgesellschaft*. Berlin. Zugriff am 28.4.2016. Verfügbar unter: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimaschutzplan2050_final.pdf

Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.). (2015). *Begleitende Studien zur Phase 1 des Projekts. Dokumentation zum Abschlussbericht. Studie Baustein regenerative Wärme zur Klimaneutralen Region Hannover*. Hannover. Zugriff am 20.4.2016. Verfügbar unter: http://www.hannover.de/Media/01-DATA-Neu/Downloads/Landeshauptstadt-Hannover/Umwelt/Klimaschutz-Energie/Masterplan-2050/Masterplan-Dokumentation/Studie-regenerative-W%C3%A4rme

Nielsen, S. & Möller, B. (2013). GIS based analysis of future district heating potential in Denmark. *Energy*, *57*, 458–468. doi:10.1016/j.energy.2013.05.041

Pehnt, M. (2015, September 15). Wärmewende – Welche Rolle spielen Wärmenetze? Groß-Gerau. Zugriff am 7.3.2016. Verfügbar unter: https://www.kreisgg.de/fileadmin/Wirtschaftsfoerderung/Energie/Vortraege/Pehnt__2015__-_Gross_Gerau_V2.pdf

Pehnt, M. & Bödecker, J. (2010). *Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“*. Karlsruhe und Heidelberg: ifeu, Fraunhofer ISI & IREES. Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: http://www.ifeu.de/energie/pdf/Nutzung_industrieller_Abwaerme.pdf

Prognos, EWI & GWS. (2010). *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung Projekt Nr. 12/10*. Basel/Köln/Osnabrück. Zugriff am 2.3.2016. Verfügbar unter: http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/studie-energieszenarien-fuer-ein-energiekonzept,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

Regierung des Landes Baden-Württemberg. (2015, Januar 7). *Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG)*. Zugriff am 18.4.2016. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/EWaermeG_BW/150317_Novelle_Erneuerbare_Waerme-Gesetz.pdf

Reinert, F., Clausen, J. & Hansen, E.G. (2014). Why companies do district heating. The Business Model Perspective on Network Expansion and Renewable Sources of Energy. *2nd International Sustainable District Heating Conference*.

Sächsische Energieagentur. (2016). *Abwärmeatlas Sachsen. Homepage*. Dresden. Zugriff am 19.4.2016. Verfügbar unter: http://www.saena.de/projekte/waermeatlas.html

Schmidt, D. (2014, Juli 9). Session 1: Low temperature district heating for future energy systems. Gehalten auf der 14th International Symposium on District Heating and Cooling, Stockholm. Zugriff am 3.3.2016. Verfügbar unter: http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Konferenser/DHC14/Proceedings%20DHC14.pdf

Schneider Electric. (2012). *District Energy Management. Real-Time Monitoring and proactive Decision Making.* Birkerod.

solar district heating. (2016). Ranking List of European Large Scale Solar Heating Plants. Zugriff am 7.3.2016. Verfügbar unter: http://solar-district-heating.eu/ServicesTools/Plantdatabase.aspx

Stadtwerke Hannover AG. (2013). *Unter Spannung. enercity report 2012*. Hannover.

Stobbe, M. (2014, Februar 10). The future of district heating. The case of Copenhagen. Kopenhagen. Zugriff am 7.3.2016. Verfügbar unter: http://di.dk/SiteCollectionDocuments/Markedsudvikling/Europa/Sustainable%20Cities%202014_presentations/DH%20Thursday_4_Morten%20Stobbe.pdf

Yang, X. (2014, Juli 9). Analysis and research on promising solutions of low temperature district heating without risk of legionella. Gehalten auf der 14th International Symposium on District Heating and Cooling, Stockholm. Zugriff am 3.3.2016. Verfügbar unter: http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Konferenser/DHC14/Proceedings%20DHC14.pdf