



## Verbreitung radikaler Systeminnovationen Fallbeispiel Wärmeversorgung Dänemark

Jens Clausen | Severin Beucker

# Impressum

## **Autoren / Autorinnen:**

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

Severin Beucker (Borderstep Institut) | beucker@borderstep.de

## **Projektdurchführung:**

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH

Clayallee 323

14169 Berlin

## **Zitiervorschlag:**

Clausen, J.; Beucker, S. (2019). Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Wärmeversorgung Dänemark. Borderstep Institut. Berlin.

## **Titelbild:**

© Marstal Fjernvarme

## **Zuwendungsgeber:**

Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Innovations- und Technikanalyse (ITA)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Inhaltsverzeichnis

1	Fallauswahl und Methode .....	4
2	Die Wärmeversorgung in Dänemark .....	6
2.1	Hintergrund.....	6
2.2	Die Entwicklung erneuerbarer Wärme in Dänemark.....	8
3	Der Einsatz von politischen Steuerungsinstrumenten.....	10
3.1	Ziele.....	10
3.2	Förderung von Forschung und Innovation.....	10
3.3	Ordnungsrechtliche und ökonomische Instrumente.....	13
3.4	Auswirkungen auf den Wärmepreis .....	15
3.5	Gas- und Wärmenetze als staatliche Dienstleistung .....	18
3.6	Information und Kommunikation .....	18
3.7	Controlling, Berichterstattung und Management der Transformation.....	19
4	Erkenntnisse zur Governance der Transformation.....	20
4.1	Der Gegenstand der Transformation.....	20
4.2	Pfadabhängigkeiten .....	20
4.3	Akteurskonstellationen.....	21
5	Fazit.....	23
6	Quellen.....	26

# 1 Fallauswahl und Methode

Die Zielsetzung des Projektes „Go“ besteht darin, Handlungskonzepte und Governance-Mechanismen für die aktivierende und koordinierende Rolle des Staates für umweltentlastende radikale Systemtransformationen zu erarbeiten. Die Forschung des Borderstep Instituts zur Diffusion von grundlegenden Umweltinnovationen in Deutschland hat wiederholt gezeigt, dass sich diese nur sehr langsam verbreiten. Etwa zwei Drittel der in den letzten 30 Jahren eingeführten umweltentlastenden Produkt- und Dienstleistungsinnovationen konnten bisher nur kleine Marktnischen unter 15 Prozent Verbreitungsgrad erreichen (Clausen & Fichter, 2019). Zum anderen zeigen empirische Untersuchungen, dass insbesondere radikale Systeminnovationen und deren Komponenten sich nur sehr langsam verbreiten oder gar komplett scheitern (Fichter & Clausen, 2013). Dies wird darauf zurückgeführt, dass besonders mit dem Blick auf komplexe soziotechnische Systeme die Förderung von Umweltinnovationen weitgehend unsystematisch verläuft und dass der einsetzbare Instrumentenmix nicht optimal koordiniert wird.

Die Herangehensweise des Projektes basiert auf einem dreistufigen Prozess:

- AP 1: einer empirischen Erhebung der Erfolge, Misserfolge und Erfahrungen bisheriger Versuche der koordinierenden und aktivierenden Rolle des Staates bei radikalen umweltentlastenden Systeminnovationen,
- AP 2: einer diskursiven Auseinandersetzung mit den empirischen Ergebnissen in zunächst getrennten, später integrierten Diskussionsrunden von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sowie
- AP 3: der Entwicklung eines Vorgehens für eine wirksame Umweltinnovationspolitik zur Förderung der Systemtransformation im Bereich der gebäudebezogenen Wärmeversorgung.

Für Forschungsfragen, für die die Grenzen zwischen dem untersuchten Phänomen und seinem Kontext nicht klar gezogen werden können, bietet sich ein Fallstudien-Design an (Yin, 2014). Für die Verbreitung radikaler Systeminnovationen konnten nur wenige erfolgreiche Fallbeispiele identifiziert werden. Es handelt sich also um extreme Fälle (Bennett & Elman, 2006), deren Untersuchung auch über den spezifischen Kontext hinaus wertvolle Erkenntnisse über die relevanten Treiber und Stolpersteine liefern können.

Die vorliegende Fallstudie Wärmeversorgung Dänemark dient im Rahmen von AP 1 der Erhebung der Erfolge, Misserfolge und Erfahrungen eines staatlichen Versuches der Herbeiführung einer grundlegenden Veränderung, nämlich der Steigerung des Anteils lokal erzeugter und damit im Wesentlichen regenerativer Wärme parallel zur Reduktion des Anteils importierter fossiler Energieträger. Die angestrebte Veränderung ist dabei

- umweltentlastend, weil sie in Dänemark die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch das Zurückdrängen fossiler Energieträger reduziert,

- radikal, weil im Laufe mehrerer Jahrzehnte ein fossiles und zentral ausgerichtetes, profitorientiertes Wärmeversorgungssystem zurückgedrängt wurde und ein dezentrales, regeneratives und weitgehend nach dem Gemeinnützigkeitsprinzip organisiertes Wärmeversorgungssystem entstand,
- eine Systemtransformationen, weil die Wärmeversorgung für 2/3 der dänischen Haushalte über komplexe Wärmenetze und vielfältige Energiequellen erfolgt.

Die Fallstudie ist entlang folgender Fragestellungen aufgebaut:

- Worin besteht die umweltentlastende radikale Systeminnovation? In welchem regionalen System und mit welchem Erfolg wurde sie umgesetzt? (Kapitel 2.1)
- In welchem zeitlichen Ablauf und in welchen Schritten wurde die Systeminnovation umgesetzt? Welche Schlüsselereignisse, z.B. aufgrund von Veränderungen in der „Landschaft“, fanden statt? Sind kontingente (zufällige) Ereignisse zu beobachten? Wurden ‚windows of opportunity‘ (Gelegenheitsfenster) – bewusst oder unbewusst - genutzt? (Kapitel 2.2)
- Wie hat der Staat die Entstehung der Innovation sowie besonders ihre Verbreitung gefördert? Welche politischen Instrumente wurden eingesetzt? Wie haben sie die Wirtschaftlichkeit der Innovation beeinflusst? (Kapitel 3)
- Wie ist das Kosten-Nutzen Verhältnis der Innovation zu beurteilen? Ist die Veränderung des soziotechnischen Systems für die Nutzenden mit der Notwendigkeit von Verhaltensänderungen oder Unsicherheiten verbunden? (Kapitel 4.1)
- Welche Pfadabhängigkeiten und Hemmnisse standen oder stehen dem Wandel entgegen? (Kapitel 4.2)
- Welche Akteure haben die Veränderung unterstützt? Sind Kooperationsstrategien zu beobachten? Wer sind bzw. waren die zentralen Gegner der Transformation? (Kapitel 4.3)

Im Fazit (Kapitel 5) wird die Koordination des Managements der Förderung und Verbreitung der verschiedenen Teilinnovationen sowie die Orchestrierung des Einsatzes politischer Instrumente beschrieben. Weiter wird abschließend ein Resümee in Bezug auf die Übertragbarkeit von Lektionen gezogen, die aus dem Beispiel abgeleitet werden können.

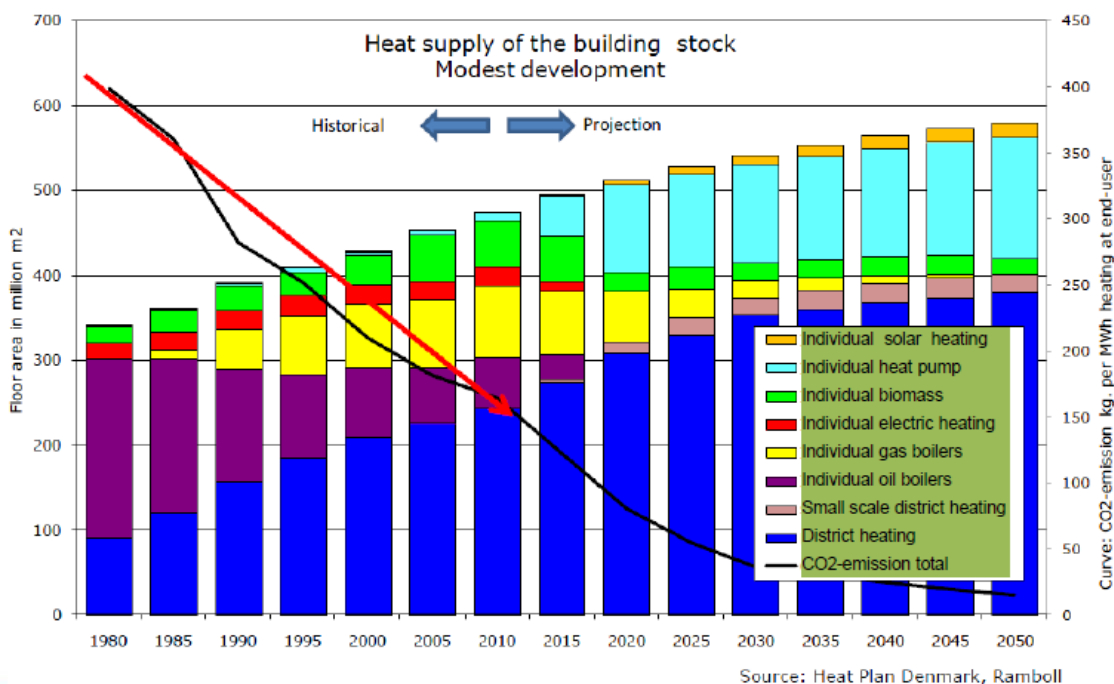
## 2 Die Wärmeversorgung in Dänemark

### 2.1 Hintergrund

Dänemark ist ein kleines Land in Skandinavien. Die Bevölkerung von ca. 5,7 Mio. Menschen (Danish Energy Agency, 2018a, S. 3) verteilt sich auf Jütland und eine Reihe von Inseln, von denen Seeland mit der Hauptstadt Kopenhagen die größte ist. Im Ballungsraum Kopenhagen wohnen etwa 1,3 Millionen Menschen. Die Bevölkerungsdichte ist mit 132 Einwohnern pro km<sup>2</sup> etwa halb so hoch wie in Deutschland (Danish Energy Agency, 2018a, S. 3).

Dänemark verfügt genau wie Deutschland über wenig Wasserkraft. Fossile Brennstoffe waren in Dänemark bis zur Erschließung der Öl- und Gaslagerstätten in der Nordsee Anfang der 1970er Jahre nicht vorhanden. Energiepolitisch war Dänemark bis 1970 weitgehend von Importen abhängig, wobei der Brennstoff Kohle zunehmend von Öl abgelöst wurde. 1973 betrug der Anteil von importierter Kohle und Öl am dänischen Energieverbrauch ca. 99% (Duedahl, 2018, S. 7).

Abbildung 1: Beheizte Fläche in Dänemark nach Wärmequelle und CO<sub>2</sub>-Intensität pro MWh



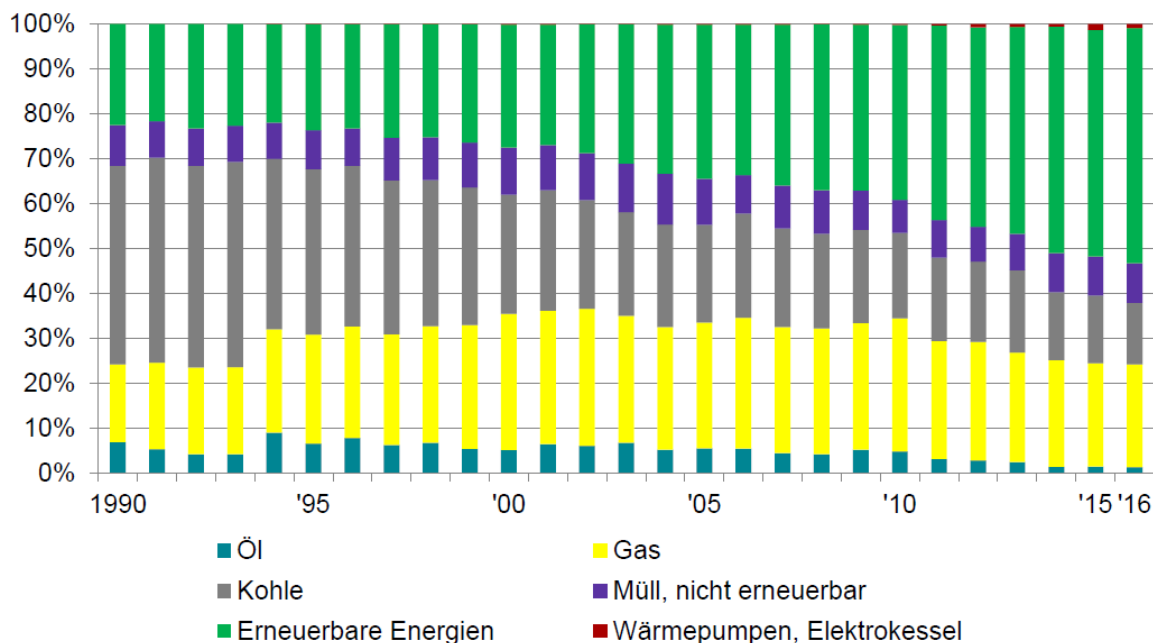
Quelle: Duedahl (2018, S. 15)

Die Wärmeversorgung ist in Dänemark seit langem anders organisiert als in Deutschland. Schon 1980 wurde ca. ein Viertel der Wohnfläche durch Fernwärmenetze beheizt (Duedahl, 2018, S. 15). Seither wurde der Anteil der Fernwärme kontinuierlich ausgebaut. Ende 2018 wurden mit über 1,7 Millionen Haushalten 64,8% aller dänischen Haushalte über Fernwärmenetze versorgt (Forsyningstilsynet, 2018, S. 6). Der Anteil erneuerbarer Energien sowie Abwärme aus Müllverbrennungsanlagen an der

Fernwärmeversorgung stieg seit 1990 von ca. 30% (Renoth, 2018, S. 4) auf heute 71,1% (Forsyningstilsynet, 2018, S. 26). Die Energiequellen für die Fernwärmenetze sind heute biologische Brennstoffe (50,2%), Abwärme aus Abfallverbrennungsanlagen (14,7%) sowie industrielle Abwärme (6,2%). Damit sind 71,1% der verwendeten Energiequellen nicht fossil. Fossile Energiequellen sind zu 15% Erdgas und zu 7,3% Kohle (Forsyningstilsynet, 2018, S. 26). Der Anteil der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas an der Wärmeversorgung aller Wohngebäude ist bis 2016 auf ca. 20% zurückgegangen, wobei der Einsatz von Heizöl kontinuierlich auf unter 5% abgenommen hat und Erdgas bei ca. 15% stagniert (Forum Energii, Agora Energiewende & DBDH, 2018, S. 19).

Die eingesetzte Bioenergie basiert zu 80% auf dänischem Feuerholz, Stroh und Holzchips und zu ca. 20% aus importierten Holzpellets, größtenteils aus den baltischen Staaten (Energistyrelsen, 2019). Auch kleine Mengen Biogas (Energistyrelsen, 2019) und Bioöl (Frey, 2018) werden eingesetzt.

**Abbildung 2: Entwicklung der Energiequellen für Fernwärme**



Quelle: Renoth (2018, S. 4)

Der Gebäudebestand setzt sich aus ca. 1,36 Mio. Einzel- und Doppelhäusern sowie knapp 100.000 Mehrfamilienhäusern zusammen (Statistics Denmark, 2019). Hinzu kommen landwirtschaftliche und gewerbliche Nichtwohngebäude sowie ca. 225.000 Wochenendhäuser (Statistics Denmark, 2019). Der spezifische Wärmebedarf der Gebäude wird im Mittelwert gegenwärtig auf ca. 120 kWh/m<sup>2</sup> veranschlagt (Dyrelund, 2011). Der Anteil von Mietwohnungen liegt bei knapp 38% (Statista, 2019).

Das Prinzip der Wärmepreisgestaltung in Dänemark sieht vor, dass die Wärmeversorgung nach den tatsächlichen Kosten auf gemeinnütziger Basis zu berechnen ist. Die Wärmepreise sind jeweils im

Herbst eines Jahres für das nächste Jahr festzulegen. Gegen die Preisfestlegung kann bei einer nationalen Beschwerdestelle Widerspruch eingelegt werden (Duedahl, 2018, S. 10; International Energy Agency (IEA), 2014). Erzielen die gemeinnützigen Wärmeversorger einen Überschuss, muss dieser entweder im Folgejahr zurückgezahlt oder für spezifische Projekte zur Verbesserung der Versorgung verwendet werden (Duedahl, 2018, S. 12). Die starke Regulierung von Rechtsform und Preisgestaltung wird damit begründet, dass eine effektive Wärmeversorgung nur als „natürliches Monopol“ organisiert werden kann, da lokale Wärmequellen überall unterschiedlich sind und Wärme nicht transportabel ist. Um die vorhandenen Quellen effizient zu nutzen, sind die Kommunen zu einer Wärmeplanung verpflichtet. Innerhalb ausgewiesener Fernwärmegebiet kann die Kommune eine Anschlusspflicht verfügen, um die Netzlänge möglichst kurz zu halten und die Systemeffizienz zu maximieren (International Energy Agency (IEA), 2014).

## 2.2 Die Entwicklung erneuerbarer Wärme in Dänemark

Für das Verständnis des dänischen Systems der Wärmeversorgung ist es notwendig, die Entwicklung in den letzten ca. 100 Jahren zu berücksichtigen. Bereits 1903 wurde im Krankenhaus Frederiksberg das erste Heizkraftwerk gebaut (Danish Energy Authority, 2005, S. 15). In den 1930er Jahren wurde in Kopenhagen das erste große Fernwärmenetz auf Basis von Überschusswärme aus der lokalen Stromerzeugung aufgebaut (Danish Energy Authority, 2005, S. 15). Bei Inkrafttreten des Wärmeversorgungsgesetzes 1979 wurde besonders in den größeren Städten etwa ein Viertel der dänischen Heizwärme über Fernwärmenetze bereitgestellt. Als Energieträger wurden primär Kohle und Öl eingesetzt, die Systeme realisierten aber auf Grund des hohen Anteils an Kraft-Wärme-Kopplung eine hohe Effizienz. Gleichzeitig verbesserten sie die Ausgangsbasis für einen Wechsel des Primärenergieträgers, da eine solche Umstellung zentral für eine große Zahl von Endkunden erfolgen konnte.

Schlüsselereignisse der Entwicklung der Wärmeversorgung in Dänemark waren die Ölkrisen 1973/74 und Ende der 1970er Jahre (Danish Energy Authority, 2005, S. 15). Die Erkenntnis der Importabhängigkeit bei einem Anteil von importierter Kohle und Öl am dänischen Energieverbrauch ca. 99% (Duedahl, 2018, S. 7) setzte bei verschiedenen Akteursgruppen unterschiedliche Denk- und Planungsprozesse in Gang.

- Zum einen entstand zunehmende Unterstützung für eine zentral gesteuerte Energiepolitik in der auch Atomenergie eine Rolle spielen sollte. Während die meisten Stromversorger eine Ausrichtung der Energiepolitik auf Atomenergie in den 1950er Jahren noch abgelehnt hatten, stellten sich diese ab 1973 hinter eine parlamentarische Mehrheit, die auf Atomkraft setzte (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 166). Der erste nationale Energieplan von 1976 sah verschiedene Optionen vor: Energieeinsparungen durch Kraft-Wärme-Kopplung, ein neues Erdgassystem, Brennstoffumstellung auf Kohle sowie den Bau mehrerer Kernkraftwerke (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 166).
- Fast gleichzeitig entstand eine dänische Umweltbewegung, die durch viele Wissenschaftler unterstützt wurde. 1975 wurde die Dänische Organisation für Erneuerbare Energie (OVE) gegründet. Auf Initiative der Lehrergruppe der alternativen Schulen in Tvind an der Nordseeküste begann 1975 mit breiter Unterstützung aus der Wissenschaft die Entwicklung der Windmühle



"Tvindkraft", die mit einer Leistung von 900 kW Ende 1977 fertiggestellt wurde (CICD, 2002; Oelker, 2005). Im Energieplan von 1976 war jedoch Windkraft nicht enthalten, worauf der Energieausschuss des dänischen Parlaments eine Überarbeitung forderte. Wissenschaftler der dänischen technischen Universität entwarfen einen alternativen Energieplan der zeigte, dass die großskalige Entwicklung der Windkraft technische wie auch ökonomisch möglich ist (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 166).

Nachdem so Bewegung in die Entwicklung der Stromversorgung in Dänemark gekommen war, veränderte die dem Iran-Irak Krieg folgende zweite Ölkrise von 1979 auch die Wärmepolitik grundlegend. Letztlich spielte hier auch die Sektorkopplung eine Rolle. Durch einen steigenden Anteil an Windkraft war zu erwarten, dass auch Stromüberschüsse für Heizzwecke zur Verfügung stehen würden. Es wurden daher neue Lösungen für die zukünftige Wärmeversorgung gebraucht. Die Grundlage für den neuen Pfad der Wärmeversorgung wurde durch das Wärmeversorgungsgesetz von 1979 gelegt (International Energy Agency (IEA), 2014). Dieses Gesetz und darauf aufbauende Folgegesetze sind seit 40 Jahren in Kraft.

Abbildung 1 zeigt, dass ausgehend von einem ursprünglichen Anteil von mit Ölheizungen beheizten Flächen von 62,5% im Jahr 1980, deutliche Veränderungen erreicht wurden:

- Der Anteil der über Wärmenetze versorgten Wohnungen konnte von ca. 25% im Jahr 1980 auf 64,8% in 2018 und der Anteil erneuerbarer Energieträger in der Wärmeversorgung der Netze parallel auf 71,1% gesteigert werden (Forsyningstilsynet, 2018, S. 6, 26).
- Der Anteil gebäudeindividueller Wärmepumpen- und Biomasseheizungen wurde auf ca. 20% gesteigert.
- Als Übergangstechnologie wird gegenwärtig ein Anteil von ca. 15% der Wohnfläche mit Gasheizungen versorgt, deren Anteil aber leicht rückläufig ist.
- Der Anteil von Ölheizungen wurde von 62,5% auf ca. 4% zurückgedrängt.

Während also die Diffusion der Innovationen regenerative Fernwärme, gebäudeindividuelle Wärmepumpe und gebäudeindividuelle Biomasse Nutzung wirksam gefördert wurde, wurde insbesondere die Ölheizung fast vollständig aus der Nutzung verdrängt.

Kapitel 3 beschreibt den Einsatz von politischen Instrumenten, mit denen diese Veränderung erreicht wurden.

## 3 Der Einsatz von politischen Steuerungsinstrumenten

In Dänemark besteht seit den frühen 1980er Jahren ein politisch-gesellschaftlicher Konsens zur Umgestaltung der Wärmeversorgung. Um dies umzusetzen, wurde ein umfassendes politisches Instrumentarium zur Förderung von Innovation und Diffusion verabschiedet. Dazu zählen auch Instrumente zur Verdrängung fossiler Energiesysteme, die seit den 1980er Jahren kontinuierlich eingesetzt und ausgebaut werden.

### 3.1 Ziele

Die Ziele für die Veränderung der Wärmeversorgung Dänemarks wurden seit dem Wärmeversorgungsgesetz 1979 mehrfach verändert und angepasst. Die gegenwärtig gültigen Ziele für den Wärmesektor sind (Forum Energii et al., 2018, S. 22):

- Unabhängigkeit der Fernwärmeversorgung von Kohle und Öl bis 2030,
- 100% regenerativ erzeugte Fernwärme ab 2035,
- Verbesserung der Klimabilanz bestehender Gebäude durch ein weitgehendes Verbot zum Einbau neuer Gas- und Ölheizkessel,
- Reduzierung des Primärenergieverbrauchs bis 2020 um 4% und der Nettoenergie um 12% (gegenüber 2006).

Dyrelund (2011, S. 21) prognostiziert für den Gebäudebereich ein Absinken des spezifischen Wärmeverbrauchs von heute ca. 120 kWh/m<sup>2</sup> auf ca. 70 kWh/m<sup>2</sup> im Jahr 2050. Bezogen hierauf wird deutlich, dass Dänemark nur sehr niedrige Ziele bei der Energieeffizienz von Gebäuden setzt. CO<sub>2</sub>-Neutralität soll primär über die Versorgungsseite erreicht werden. Dass eine solche Planung das Risiko in sich birgt, im Falle einer eigendynamisch eintretenden Welle von Effizienzsteigerungen ein Überangebot an Wärme zu produzieren zeigen Harrestrup und Svendsten (2014). Nielsen und Möller (2013) heben hervor, dass auch der weitere Ausbau der Fernwärmenetze möglich ist und das Ziel der Versorgung von 70% der gesamten Gebäudeflächen durch Fernwärme möglich ist.

### 3.2 Förderung von Forschung und Innovation

Der Beginn der dänischen Forschung zu regenerativen Energien liegt in der Windenergie. Eine der Ursachen dürfte das knapp 900.000 € teure, nicht geförderte und privat finanzierte Windrad der Tvind Schule gewesen sein, welches 1977 fertiggestellt wurde und bis in die Gegenwart betrieben wird (Radtke, 2015)<sup>1</sup>. 1978 wurden große, nationale Förderprogramme für die Entwicklung von Windener-

---

<sup>1</sup> Es ist immer wieder beeindruckend, dass die Deutsche Großindustrie mit einer BMFT-Förderung von 27 Mil. € gleichzeitig begann, das nur dreimal so leistungsstarke Windrad „Growian“ zu planen, welches 1983 errichtet wurde und nur 400 Betriebsstunden erreichte (Radtke, 2015).

gieanlagen beschlossen. Das für die Nuklearforschung aufgebaute Risø Forschungszentrum entwickelte sich zu einem Laboratorium für Windkraftanlagen (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 166). Nach einem Parlamentsbeschluss 1985 wurden dann alle Pläne für Nukleartechnik eingestellt (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 167).

Die Umstellung auf umweltfreundlichere Energiequellen für die Wärmeversorgung und die Weiterentwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung wurde durch verschiedene Forschungs- und Subventionsprogramme für die Entwicklung von Biokraftstoff-Heizkesseln, Solarwärmeanlagen und effizienten Heizungspumpen unterstützt. So förderte das dänische Development Programme for Renewable Energy (DPRE) z.B. die Einrichtung von mehr als 10.000 Biokraftstoffkesseln<sup>2</sup> (Danish Energy Authority, 2005, S. 17). Nach mehr als 20 Jahren solcher Unterstützung galten viele Technologien als technologisch und wirtschaftlich so ausgereift, dass sie keine Subventionen mehr benötigten. Aus diesem Grund wurde das Subventionssystem des DPRE 2002 eingestellt (Danish Energy Authority, 2005, S. 17).

**Abbildung 3: Solarthermiefeld und Saisonspeicher in Dronninglund**



Quelle: Dronninglund Fjernvarme A.m.b.a.

Intensive F&E Aktivitäten wurden seit Anfang der 1980er Jahre zur Erschließung der Solarwärme mit Hilfe von Saisonspeichern durchgeführt (Heller, 2000). Als erste große Anlage mit Speicher wurde

---

<sup>2</sup> Aus heutiger umweltpolitischer Sicht wird Biokraftstoff aufgrund seiner gemischten Produktökobilanz sowie der mit der Flächennutzung verbundenen Konkurrenz ambivalent gesehen (siehe auch „Exkurs Flächenbedarf für Solarkollektorfelder“ weiter unten).

1996 eine Freiflächen-Solarthermie mit 8.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche sowie einem Wärmespeicher in Stahltankbauart mit 2.100 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen im Ort Marstal auf der Insel Aero errichtet. 2003 wurde dann die Kollektorfläche auf 18.300 m<sup>2</sup> erhöht und ein Erdbecken-Wasserspeicher mit 10.000 m<sup>3</sup> gebaut (Hermansen, 2012). Im Dorf Dronninglund in Nordjütland wurde 2013 ein 60.000 m<sup>3</sup> großer Erdbecken-Wasserspeicher errichtet, der im Sommer aus 37.500 m<sup>2</sup> solarthermischen Kollektoren mit Wärme befüllt wird.

#### **Exkurs Flächenbedarf für Solarkollektorfelder**

Die verhältnismäßig große Fläche, die für die Solarkollektoren und den Saisonspeicher benötigt wird, ist vor dem Hintergrund zu beurteilen, dass der Wärmeertrag pro ha bei der direkten Nutzung der Sonnenstrahlung nach Frey (2018) deutlich höher ist als beim Anbau von Biomasse. Ein Vergleich der realen Erträge von Solarkollektorfeldern und dem Anbau einjähriger Energiepflanzen ist hierzu instruktiv. In Dronninglund liefert das auf ca. 8 ha aufgebaute System aus Solarkollektoren und Saisonspeicher nach Abzug der Speicherverluste ca. 14.500 MWh/a Wärme (Frey, 2018), also ca. 1.800 MWh/ha. Die Rohenergieerträge der Bioenergieerzeugung bewegen sich bei einjährigen Pflanzen dagegen nur zwischen 40 und 75 MWh/ha (Bundesverband Bioenergie, 2013). Der Hektarertrag an Wärmeenergie der Solarthermie ist also ca. 25 bis 45-mal so hoch.

In Deutschland beanspruchten Energiepflanzen für Biogasanlagen 2017 mit fast 1,4 Mio. Hektar die größte Fläche beim Anbau nachwachsender Rohstoffe (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2018). Mit Systemen, wie sie Dronninglund einsetzt, ließe sich auf einem Sechstel dieser Fläche etwa die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Heizwärme von 800 TWh erzeugen.

Würde die Wärme für Dronninglund nicht auf ca. 8 ha Fläche solarthermisch gewonnen sondern durch z.B. eine Kurzumtriebsplantage mit Pappelholz, wären stattdessen ca. 300 ha erforderlich. Auf den zusätzlichen 292 ha können also weiter Nahrungsmittel angebaut werden.

Am Beispiel Dronninglund kann weiter exemplarisch gezeigt werden, wie ein auf Verbrennung basierendes Fernwärmesystem weitestgehend auf nachhaltig verfügbare Energiequellen umgestellt werden kann. Bis zur Inbetriebnahme des Solarkollektorfeldes beruhte die Versorgung des Fernwärmenetzes Dronninglund je zu 50% auf der Verbrennung von Erdgas und Bioöl. Durch Solarkollektoren und Speicher wurde ein solarer Deckungsgrad von 45% erreicht, der verbleibende Bedarf wird zu 15% aus Erdgas und zu 40% aus Bioöl gedeckt (Frey, 2018). Die Kosten für die Erzeugung von Wärme sanken in Dronninglund durch die Inbetriebnahme der neuen Anlage um 12% (Frey, 2018). In einer zweiten Stufe bereitet die Gemeinde den Bau einer Großwärmepumpe vor. Nach deren Inbetriebnahme würde die aus Erdgas und Bioöl zu deckende Restwärmemenge auf ca. 20% des Gesamtwärmebedarfs zurückgehen (Anonym, 2017).

Eine weitere in Dänemark vorangetriebene Entwicklung besteht in Niedertemperatur-Wärmenetzen der 4. Generation. Diese Netze sind digital gesteuert und auf eine Vorlauftemperatur von 55°C bis 60°C ausgelegt. Die niedrige Vorlauftemperatur bedingt Veränderungen in den beheizten Gebäuden wie z.B. die Installation von Flächenheizungen. Sie ermöglicht aber ebenfalls die Nutzung von Ab-

wärme mit niedriger Temperatur wie diese z.B. in Rechenzentren anfällt. Nahe der Stadt Viborg errichtet gegenwärtig Apple ein Großrechenzentrum mit einer elektrischen Leistung von 55 GW. Die Leistung steht als Abwärmestrom bei 30°C zur Verfügung (Diget, 2018a). Dieser Wärmestrom wird mit verschiedenen Wärmepumpen auf die Vorlauftemperatur von 55°C bis 60°C gebracht. Theoretisch steht so ein Wärmeangebot von ca. 600 GWh zur Verfügung, mehr als doppelt so viel wie das Wärmenetz Viborg gegenwärtig benötigt (Diget, 2018a, S. 3). Bühler et al. (2015) kartieren Abwärmquellen in Dänemark und ordnen das Gros der hier verfügbaren Energiemenge dem Temperaturbereich unter 100°C zu, was das Potenzial von Niedertemperatur-Wärmenetzen, die durch Abwärme und Wärmepumpen versorgt werden unterstreicht. Und neben dem Apple Rechenzentrum in Viborg sind fünf weitere Großrechenzentren der Unternehmen Apple, Facebook und Google in Dänemark im Bau (Schultz, 2018)<sup>3</sup>.

Eine weitere, am Beginn stehende Entwicklung der Sektorkopplung ist der Ausbau der Kapazität an Wärmepumpen in Wärmenetzen. Der Kopplungseffekt liegt darin, dass Großwärmepumpen Überschussstrom für Wärmenetze nutzbar machen können. Lund, Ilic und Trygg (2016) schätzen eine hierfür optimale Leistung von 2 bis 4 GW thermische Wärmepumpenleistung, was die Erschließung eines ökonomischen Potentials von ca. 100 Mio. € pro Jahr bis 2025 möglich machen würde. Pinson et al. (2017) weisen zusätzlich darauf hin, dass eine Kombination solcher Wärmepumpen mit Saisonal speichern den positiven Effekt der Sektorkopplung noch erhöhen könnte. In die von Oktober bis April im Regelfall nicht vollständig geladenen Speicher könnte in Situationen mit hohem Stromüberschuss über Power-to-heat-Technik Wärme gespeichert und dann abhängig vom Wärmebedarf nach und nach verbraucht werden.

Ein Nebeneffekt der F&E-Förderung ist, dass sich dänische Energietechnologien, insbesondere Windkraft, erfolgreich auf dem Weltmarkt platzieren ließen. Nachdem Dänemark Anfang der 1990er Jahre kein nennenswertes Exportvolumen von Energietechnologien realisierte stieg dieses bis 2008 auf ca. 10 Mrd. € p.a. und ca. 12% der dänischen Exporte insgesamt an (Danish Energy Agency, 2018b, S. 20), davon ca. 60% grüne (regenerative) Energietechnologie (Energistyrelsen, 2017, S. 4).

### 3.3 Ordnungsrechtliche und ökonomische Instrumente

Die Transformation der dänischen Wärmeversorgung wurde durch eine kontinuierlich weiterentwickelte Gesetzgebung teils ordnungsrechtlich vorgeschrieben, teils durch Steuern, Abgaben und Subventionen gesteuert.

1979 wurde der erste Energieplan wie auch das erste Wärmeversorgungsgesetz beschlossen, dass danach in den Jahren 1990, 2000 und 2005 umfassend überarbeitet wurde. Das Gesetz ermächtigte

---

<sup>3</sup> Die Nutzung von industrieller Abwärme schafft Abhängigkeiten und kann immer nur so lange erfolgen, wie Geschäftsmodell und Technologie der entsprechenden Branche existieren. Mit Blick darauf, dass Produktionssysteme zahlreicher Branche viele Jahrzehnte, wenn nicht gar Jahrhunderte überdauern haben, ist die Nutzung der Abwärme dennoch eine wichtige Option.

den Energieminister, die Nutzung von elektrischer Wärme zu Heizzwecken in neuen Gebäuden innerhalb eines Fernwärme- oder Erdgasversorgungsnetzes zu verbieten. Von dieser Ermächtigung machte der Minister 1988 Gebrauch. 1994 erfolgte ein Verbot der Umstellung auf elektrische Heizung in bestehenden Gebäuden (International Energy Agency (IEA), 2014). Weitere Bestimmungen des Wärmeversorgungsgesetzes sind:

- der obligatorische Anschluss an das Fernwärme- oder Erdgasversorgungsnetz mit dem erreicht wurde, dass heute nur noch etwa 650.000 der 2,7 Millionen dänischen Haushalte über eine individuelle Wärmeversorgung verfügen,
- das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung das vorschreibt, dass alle Stromversorgungsanlagen mit einer Leistung von mehr als 1 MW als Blockheizkraftwerke betrieben werden müssen und
- das Prinzip der Wärmepreisgestaltung welches vorsieht, dass die Wärmeversorgung nach den tatsächlichen Kosten auf gemeinnütziger Basis zu berechnen ist. Um die Nutzung erneuerbarer Energiequellen und industrieller Überschusswärme zu erhöhen, kann Wärme auf Basis dieser Ressourcen jedoch mit einem gewissen Gewinn innerhalb der von der dänischen Energieaufsichtsbehörde festgelegten Grenzen verkauft werden

1981 wurde das System der kommunalen Energiepläne eingeführt. Durch kommunale Pläne wurden Gebiete für die Fernwärmeversorgung vorgesehen und andere Gebiete für Versorgung mit Erdgas.

1986 erfolgten Parlamentsbeschlüsse zum Ausstieg aus der Atomenergie sowie dem Verzicht auf den Bau von neuen Kohlekraftwerken, die im Energieplan festgeschrieben wurden. Stattdessen wurde die Rolle dezentraler KWK gestärkt. Die Steuern auf Öl, Erdgas und Strom für Heizzwecke wurden erhöht (Forum Energii et al., 2018, S. 11). Der Anteil von Umweltsteuern stieg von ca. 3% des Bruttoinlandsproduktes in den 1970er Jahren auf 4 bis 5% seit der Jahrtausendwende (Larsen, 2011, S. 95).

1990 wurde das Wärmeversorgungsgesetz überarbeitet, um den Einsatz von Biomasse und Erdgas in der KWK zu erhöhen (Forum Energii et al., 2018, S. 11). In 1992 wurde zudem eine CO<sub>2</sub>-Steuer eingeführt (Larsen, 2011, S. 100).

Anfang 1993 wurde durch das dänische Parlament eine „grüne Steuerreform“ durchgeführt, deren Ziel die Senkung von Steuern auf Arbeit und die Verlagerung auf die Besteuerung der Nutzung von Umweltgütern war. Eine Steuersumme in Höhe von ca. 1% des Bruttoinlandsprodukts wurde verlagert und es wurden soziale Ausgleichsmaßnahmen wie z.B. eine Erhöhung des Kindergeldes in die Reform eingearbeitet (Larsen, 2011, S. 99).

1993 gab es seine politische Einigung auf eine Strategie für die energetische Nutzung von Biomasse. Die Unterstützung von KWK-Anlagen und Fernwärmenetzen wurde ausgebaut.

1995 wurde die CO<sub>2</sub>-Steuer mit dem Ziel der stärkeren Besteuerung gewerblicher Aktivitäten modifiziert und ausgeweitet. Auch hier erfolgte eine Kompensation: Erstens wurde der Arbeitgeberanteil zur Arbeitslosen- und Rentenversicherung gesenkt. Zweitens wurden Sondermittel bereitgestellt, um kleine Unternehmen zu entlasten, die nicht von der Senkung der Arbeitskosten profitierten. Und

schließlich wurden Sondermittel für die Förderung von Investitionen zur Energieeinsparung bereitgestellt (Larsen, 2011, S. 100). 1998 wurden die Energiesteuern weiter erhöht (Larsen, 2011, S. 101).

2001 gewann eine neoliberale Koalition die Mehrheit bei den Wahlen zum dänischen Parlament und setzte eine Regierung unter dem Ministerpräsidenten Anders Fogh Rasmussen ein. Ein politisches Programm mit Steuersenkungen, Deregulierung sowie einer deutlich reduzierteren Ambition beim Klimaschutz wurde in Gang gesetzt (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 168). Der Politikwechsel lässt sich an der Gesamtkapazität der dänischen Windkraftwerke ablesen. Diese stieg bis 2003 auf ca. 3.000 MW und stagnierte bei diesem Wert etwa fünf Jahre. Erst danach erfolgte wieder ein Zubau an Leistung (Danish Energy Agency, 2018b, S. 9). Dieses Programm konnte aufgrund eines breiten Widerstands aus Bevölkerung und Wirtschaft jedoch nicht lange durchgehalten werden. Schon 2006 kündigte Fogh Rasmussen daher eine ökologisch wieder deutlich anspruchsvollere Agenda an (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 169).

2008 erfolgte eine Einigung im dänischen Parlament auf den Energieplan 2008 bis 2011, der einen deutlichen Ausbau der Windenergie und anderer erneuerbarer Energiequellen zum Ziel hatte. 2012 und 2018 wurden der Energieplan fortgeschrieben, weitere Ziele gesetzt und eine Roadmap für ein klimaneutrales Dänemark erarbeitet (Forum Energii et al., 2018, S. 11).

Seit Anfang 2013 ist die Installation von Ölkesseln und Erdgasheizungen in neuen Gebäuden in Dänemark verboten. Ab 2016 ist auch der Einbau neuer Ölkessel in bestehende Gebäude in Gebieten mit Fernwärme oder Erdgas nicht mehr zulässig (Forum Energii et al., 2018, S. 22).

### 3.4 Auswirkungen auf den Wärmepreis

In der Zeit zwischen 2007 und 2018 schwankte der Erdgaspreis für Haushalte inklusive aller Steuern und Abgaben in Dänemark zwischen 8,51 Cent/kWh und 10,20 Cent/kWh und lag im zweiten Halbjahr 2018 bei 9,03 Cent/kWh. Steuern und Abgaben machen hiervon ca. 5 Cent/kWh aus (Eurostat, 2019). Zum Vergleich: In Deutschland schwankte der Erdgaspreis in derselben Zeit zwischen 5,71 Cent/kWh und 6,89 Cent/kWh und lag im zweiten Halbjahr 2018 bei 6,08 Cent/kWh. Im Durchschnitt lag der Preis in Dänemark also 3 Cent/kWh höher als in Deutschland, was direkt auf höhere Steuern und Abgaben zurückzuführen ist (Eurostat, 2019). Ein Vergleich der Heizölpreise liegt für das Jahr 2014 vor. In Deutschland betrug er ca. 75 Cent/l, in Dänemark ca. 1,46 €/l<sup>4</sup>. Insoweit liegt die Vermutung nahe, dass Heizen in Dänemark deutlich teurer sein müsste als in Deutschland. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Der durchschnittliche **Wärmepreis für dänische Haushalte** lag nach Angabe von Forum Energii 2015 bei 8 Cent/kWh und damit 0,6 Cent oder 8% höher als in Deutschland. Das durchschnittliche Haushaltseinkommen lag in Dänemark aber um 34% über dem in Deutschland (Forum Energii et al., 2018, S. 31). Da sich über die im Energiesektor gezahlten Löhne das höhere Haushaltseinkommen auf die

---

<sup>4</sup> Vgl. <http://www.energycomment.de/heizoelpreise-in-europa/> vom 25.4.2019.

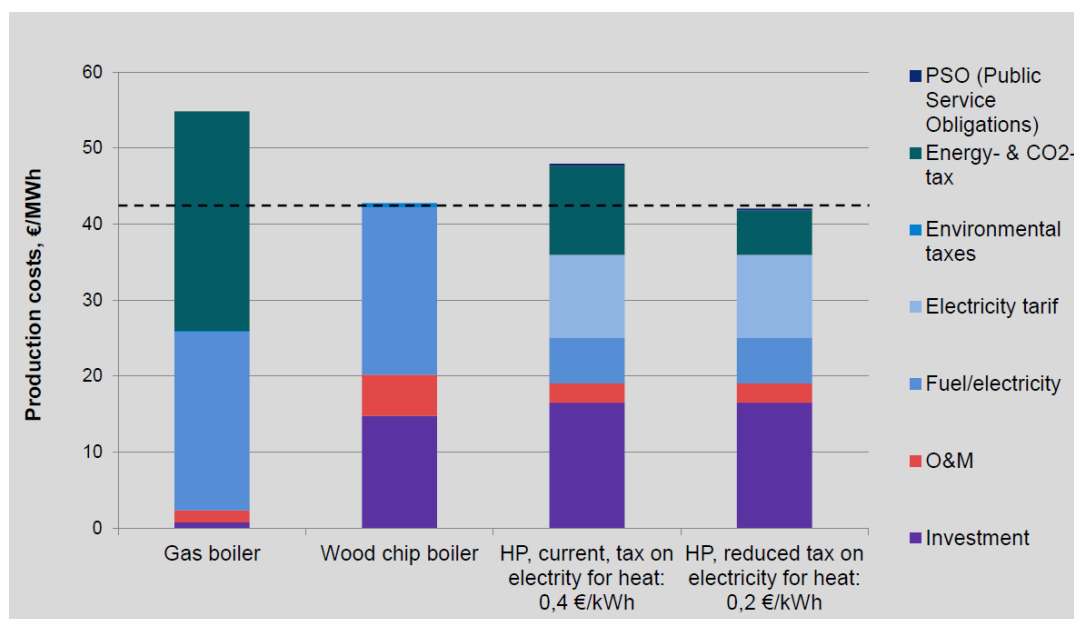
Wärmepreise auswirkt ist ein etwas höherer Wärmepreis nicht verwunderlich. Relativ zum Haushaltseinkommen gesehen ist auf Basis dieser Studie Wärmeenergie in Dänemark als etwa 20% preiswerter einzuschätzen als in Deutschland.

Auch auf Basis des durchschnittlichen Energieverbrauchs dänischer Haushalte für die Energieträger Fernwärme, Erdgas, Heizöl und Holz (ECOFYS, Fraunhofer ISI & CASE, 2016, S. 63) sowie der durchschnittlichen gesamten Energiekosten der Haushalte (ECOFYS et al., 2016, S. 64) lässt sich der durchschnittliche Wärmepreis errechnen. Obwohl der Erdgaspreis in Dänemark um 45% und der Heizölpreis um 67% höher ist als in Deutschland, liegt der durchschnittliche Wärmepreis nur um 23% höher. Unter Berücksichtigung des um 34% höheren Haushaltseinkommens bedeutet dies, dass die Wärmekosten in Dänemark in etwa 10% unter denen in Deutschland liegen.

Plan Energi (2018, S. 12ff) dokumentiert Daten zu 104 dänischen Fernwärmenetzen, die bereits über eine große Solarthermieanlage verfügen. Durchschnittlich sind pro Netz ca. 13.500 m<sup>2</sup> Solarkollektoren installiert und es wird im Mittel ein solarer Deckungsgrad von ca. 20% erreicht, das Maximum liegt bei 43% solarem Deckungsgrad. Die Wärmekosten für die Endkunden für den jeweils angebotenen Wärmemix, zu dem neben dem solaren Anteil unterschiedliche andere Wärmeträger beitragen, liegen bei 6,4 Cent/kWh und damit deutlich unter dem in Deutschland durchschnittlich gezahlten Wärmepreis (Plan Energi, 2018, S. 24).

Grund für die preiswerte Wärme in Dänemark ist die sehr unterschiedliche Besteuerung der Energieträger. Während fossile Energieträger, wie oben gezeigt, hoch besteuert werden, sind z.B. Holzpellets steuerfrei. Auch die Besteuerung des (weitgehend regenerativ erzeugten) Stroms für Wärmepumpen (Heat Pumps: HP) fällt günstiger aus als die Besteuerung von Erdgas:

**Abbildung 4: Kostenvergleich der Nutzung verschiedener Brennstoffe für Dänemark**



Quelle: Renoth (2018, 6), HP = Heat Pump, O&M = Operations and Maintenance



Folglich ist Fernwärme in Dänemark meistens die kostengünstigste Wärmeversorgung. Diget (2018b, S. 6) zeigt in einem Vergleich des Wärmepreises für eine neu aufgebaute Fernwärmeversorgung in Dänemark auf Basis einer Holz-KWK mit verschiedenen Formen gebäudeindividueller Heizung Kostenvorteile der Fernwärme gegenüber Öl-, Erdgas- und Stromheizung, aber auch gegenüber einer Holzpellettheizung, einer Luft- und einer Erdwärmepumpe auf.

Auch der Betrieb von Großwärmepumpen in Wärmenetzen ist angesichts der höheren Preise für Erdgas und Heizöl in Dänemark oft rentabel. Verstärkt wird dieser Effekt dadurch, dass die dänische Form der EEG-Umlage, die PSO-Steuer (Public Service Obligation), gegenwärtig ausläuft und ab 2021 ein Preis von 5 Cent/kWh für gewerbliche Stromkunden erwartet wird (Schultz, 2018). Ein niedriger Strompreis wirkt sich direkt auf die Gestehungskosten des durch die Wärmepumpe erzeugten Wärmestroms aus, genau wie die Arbeitszahl der Wärmepumpe, die vom Temperaturhub abhängig ist. Für die Kalkulation der Rentabilität von Großwärmepumpen ergibt sich damit im Vergleich zu Deutschland folgendes Bild:

**Tabelle 1: Auswirkung von Wärmenetz-Vorlauftemperatur und Strompreis auf die Gestehungskosten von Abwärme aus Rechenzentren**

Wärmenetz-Vorlauftemperatur	Deutschland Strompreis 13 Cent/kWh	Dänemark Strompreis 5 Cent/kWh
Deutschland 95°C (Arbeitszahl = 2,1)	6,19	2,40
Dänemark 55°C (Arbeitszahl = 4,0)	3,25	1,25

Quelle: Borderstep Institut

Selbst bei den deutlich niedrigeren deutschen Preisen für fossile Energie<sup>5</sup> wäre eine solche Lösung in Dänemark noch rentabel. In Deutschland, wo noch hohe Vorlauftemperaturen in der Fernwärme vorherrschen und die Gaspreise niedrig sind, werden solche Anlagen gegenwärtig nicht errichtet.

Die deutlich erhöhten Steuern und Abgaben auf fossile Energieträger in Dänemark haben so über die Jahre zu einem Abbau nun bewusst verteuerter fossiler Heizsysteme und einem Zubau bewusst preiswert gestalteter nicht-fossiler Systeme geführt. Im Ergebnis erweist sich die politische Steuerung über die Steuern und Abgaben als auch für die Privathaushalte rational, da eine jedes Jahr „nachhaltigere“ Wärmeversorgung zu einem günstigeren Preis realisiert wird, als dieser in Deutschland für eine weitgehend nicht zukunftsfähige Wärme gezahlt wird.

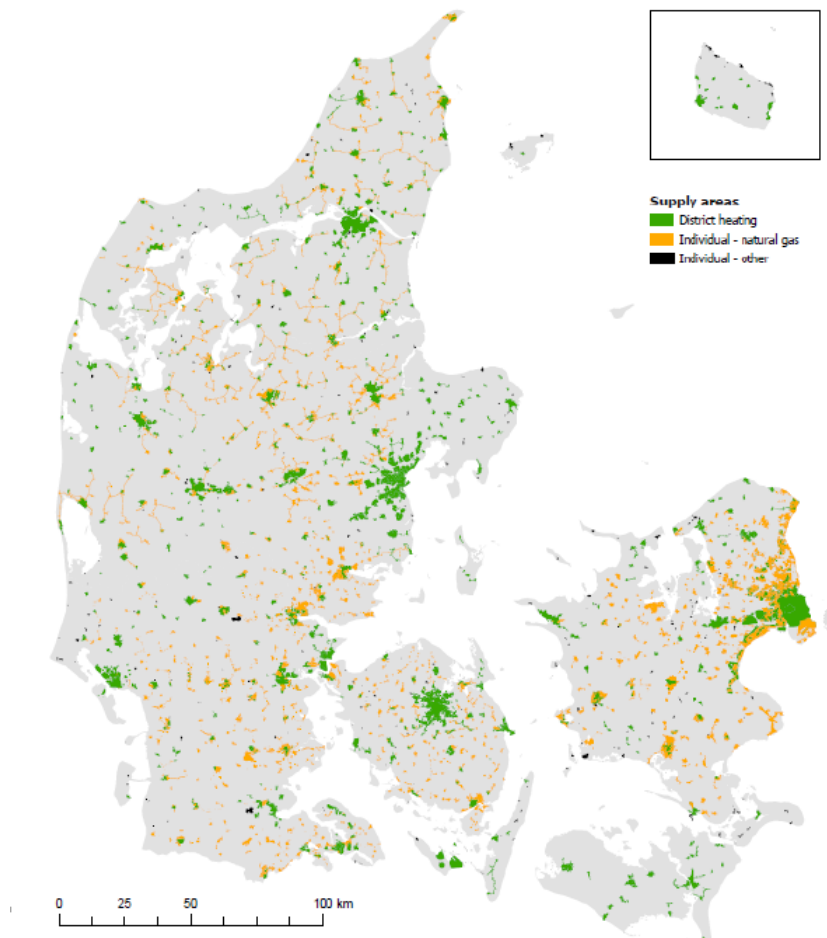
---

<sup>5</sup> In Deutschland schwankte der Einkaufspreis von Erdgas für Unternehmen in den letzten zwei Jahren zwischen 3 und 5 Cent/kWh, vgl. hier <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168528/umfrage/gaspreise-fuer-gewerbe--und-industriekunden-seit-2006/> vom 4.6.2019.

### 3.5 Gas- und Wärmenetze als staatliche Dienstleistung

Das dänische Erdgasnetz befindet sich im Besitz der staatlichen Gesellschaft Energinet. Die Wärmenetze befinden sich oft im Besitz kommunaler und gemeinnütziger Organisationen. Durch die Politik der Trennung der Versorgungsgebiete konnten die Investitionskosten für den Bau der Netze niedrig gehalten werden. Konkurrierende Netzstrukturen wurden so weitgehend vermieden und die Kosten der Infrastrukturen konnten begrenzt werden.

Abbildung 5: Gebiete mit Fernwärme- und Gasversorgung in Dänemark



Quelle: Diget (2018b, S. 5)

### 3.6 Information und Kommunikation

Im Zuge der Transformation der Energie- und Wärmeversorgung haben Informations- und Kommunikationsinstrumente immer wieder eine wichtige Rolle gespielt. So legt das dänische Wärmeversorgungsgesetz grundsätzlich fest, dass z.B. im Fall der Planung von Wärmenetzen die Grundeigentümer informiert werden müssen. Auch die Tatsache, dass in vielen Fällen die Kommune die Planung durch-

führt sichert die Einbindung der lokalen Verwaltung, Politik und Bevölkerung. Erst nach einer öffentlichen Anhörung darf durch die Kommune über ein Projekt entschieden werden (Danish Energy Authority, 2005, S. 22).

Im Falle der Ausübung des Anschlusszwangs an ein Fernwärme- oder Gasnetz besteht ebenfalls die Pflicht zur Information der Gebäudeeigentümer. Diese Pflicht, von der in 2005 bereits 241 von insgesamt 275 Kommunen in Dänemark gebraucht machten, wirkt sich im Falle von bestehenden Gebäuden jedoch erst nach einer Frist von 9 Jahren aus (Danish Energy Authority, 2005, S. 25).

Zu aktuellen Informations- und Kommunikationsinstrumenten rund um die dänische Wärmeversorgung liegen vergleichsweise wenige Informationen vor. Mit Blick auf die Tatsache, dass gegenwärtig nur noch 20% der dänischen Wärmeversorgung auf den Energieträgern Öl, Gas oder Strom beruhen (Forum Energii et al., 2018, S. 19) und nur für diese 20% noch Informationen zu einem bevorstehenden Wechsel bereitgehalten werden müssen, ist dies wenig verwunderlich.

### 3.7 Controlling, Berichterstattung und Management der Transformation

Die dänische Energieagentur „Energiestyrelsen“ erhebt regelmäßig Daten zur Entwicklung des Energie- und Versorgungssektors in Dänemark<sup>6</sup>. Sie erstellt darüber hinaus Studien, wie das Wärmeversorgungssystem langfristig so entwickelt werden kann, dass das Land vollständig frei von der Nutzung fossiler Energieträger wird. Auch die dänische Aufsichtsbehörde für Energieversorger Forsyningstilsynet publiziert regelmäßig Daten und Statistiken, u.a. zur Fernwärme (Forsyningstilsynet, 2018).

Die rasche Folge von Analysen, Berichten und Energieplänen sowie politischen Entscheidungen, wie sie z.B. durch die dänische Energieagentur (2005, S. 36) dargestellt wird, lässt auf eine in vielen Phasen der Entwicklung faktenbasiert lernende Politik schließen.

---

<sup>6</sup> Vgl. <https://ens.dk/en> vom 25.4.2019.

## 4 Erkenntnisse zur Governance der Transformation

### 4.1 Der Gegenstand der Transformation

Der Gegenstand der Transformation ist die Wärmeversorgung aller Gebäude in Dänemark. Das ursprüngliche Ziel der Transformation war, die Importabhängigkeit des Landes von fossilen Energien zu reduzieren. Heute werden die Unabhängigkeit der Fernwärmeversorgung von Kohle und Öl bis 2030 sowie 100% regenerative Fernwärme ab 2035 angestrebt.

Für den Endkunden ist der **Gegenstand der Transformation bekannt und verfügbar**. Zusätzlich ist ein günstiges **Kosten-Nutzen-Verhältnis** von Bedeutung. Durch den konsequenten Umbau der dänischen Wärmeversorgung, eine durchgängige Orientierung an Kosteneffizienz sowie das Prinzip die Wärmeversorgung in Dänemark ausschließlich gemeinnütziger zu organisieren lag der durchschnittliche Wärmepreis für dänische Haushalte 2015 bei 8 Cent/kWh und damit nur 0,6 Cent oder 8% höher als in Deutschland (Forum Energii et al., 2018, S. 31). Relativ zum Haushaltseinkommen gesehen ist Wärmeenergie in Dänemark sogar etwa 20% preiswerter als in Deutschland (Forum Energii et al., 2018, S. 31). Das Kosten-Nutzen-Verhältnis kann damit aus Sicht der Endkunden als günstig beurteilt werden.

Volkswirtschaftlich betrachtet ist diese Systeminnovation auch für den Staat positiv. Zum einen sank die Importabhängigkeit des dänischen Energiesystems, wodurch die Importkosten für Erdgas und Öl gesenkt wurden. Zum anderen entwickelte sich der Industriezweig der Energietechnologien sehr positiv und ab 2008 wurde ein Exportvolumen von ca. 10 Mrd. € p.a., bzw. ca. 12% der dänischen Exporte, durch Energietechnologien erzielt (Danish Energy Agency, 2018b, S. 20).

Weiter sind eine hohe **Kompatibilität mit Verhaltensroutinen** sowie **Vertrauen in die Innovation** von Bedeutung für Akzeptanz und Verbreitung. Grundsätzlich gilt in Dänemark, dass alle verbreiteten Formen der Wärmeversorgung die Kunden grundsätzlich zu über 90% zufrieden stellen, wobei dies bei der Stromheizung nur bei 83,9% der Kunden und die Ölheizung nur bei 73,9% der Kunden der Fall ist (FIF Marketing, 2016, S. 15). Am wichtigsten sind den dänischen Wärmekunden dabei die Versorgungssicherheit, die einfache Handhabbarkeit, ein gutes Raumklima sowie ein niedriger Wärmepreis, die alle zwischen 8 und 9 von 10 möglichen Punkten bewertet werden. Umweltfreundlichkeit folgt mit 7,6 Punkten auf Rang 7 (FIF Marketing, 2016, S. 19). An der verbreiteten Fernwärmeversorgung überzeugen die 94,7% zufriedenen Kunden am meisten die einwandfreie Funktion und der Preis (FIF Marketing, 2016, S. 22). Von den 5,3% unzufriedenen Fernwärmekunden klagt ein Drittel über einen zu hohen Preis (FIF Marketing, 2016, S. 23). Nach etwa 40 Jahren aktiver Steuerung der Wärmepolitik hat die dänische Regierung damit erreicht, dass die meisten der versorgten Kunden grundsätzlich mit ihren jeweiligen Lösungen zufrieden sind.

### 4.2 Pfadabhängigkeiten

Zwei Gruppen von Pfadabhängigkeiten wirken sich auf die Transformation der Wärmeversorgung in Dänemark aus. Eine dieser Gruppen von Pfadabhängigkeiten wirkt der Entwicklung entgegen, die andere stabilisiert und unterstützt sie.

Die zentrale hemmende Pfadabhängigkeit war die starke **Dominanz von Heizöl** als Energieträger für die Beheizung von Gebäuden, wie sie bis Anfang der 1980er Jahre in Dänemark vorzufinden war. Diese Dominanz manifestierte sich in der in den Gebäuden installierten Heiztechnik, den zugehörigen Heizöltanks und einer Versorgungsbranche, die die Auslieferung des Heizöls übernahm. Aufgrund der hohen Importabhängigkeit des auf Kohle und Öl basierenden Energiesystems in Dänemark wurde diese Pfadabhängigkeit schon in den 1970er Jahren durch die beiden Ölkrisen durchbrochen. Diese lösten als „Schock“ ein politisches Umdenken aus, welches sich nach einer etwa 10 Jahre dauernden Orientierungsphase auf das Ziel der Versorgung mit erneuerbaren Energien ausrichtete.

Die in Dänemark schon damals 80-jährige **Geschichte der Fernwärmesysteme** mit einem Versorgungsanteil von ca. 25% der dänischen Haushalte im Jahr 1980 stellte einen starken konkurrierenden Pfad dar. Dieser Pfad wurde politisch durch die Stärkung der Rolle der Kommunen sowie die radikale Orientierung an den Kundeninteressen, die im Gemeinnützigkeitsprinzip deutlich wurde, gezielt ausgebaut und verstärkt. Die Rolle der erneuerbaren Energien verstärkte sich eigendynamisch, da sich diese im Wettbewerb mit den etwas höher besteuerten fossilen Energieträgern immer häufiger als wirtschaftlicher erwiesen. Gezielte F&E sorgte für kontinuierlich mehr und bessere Technologien, die der nationalen Zielsetzung der Importunabhängigkeit entsprachen und zu einem hohen Anteil auf erneuerbaren Energien basierten.

Die **Kosten des Umbaus** des dänischen Energie- und Wärmeversorgungssystems sind schwierig zu beurteilen und nur bedingt für einen Vergleich mit anderen Ländern nutzbar. Zentrale Erkenntnis ist, dass sich die Kosten aufgrund veränderter politischer und ökonomischer Rahmenbedingungen für viele private und unternehmerische Akteure immer wieder als rentable Investitionen in wirtschaftliche Lösungen darstellten. Aufgrund der Tatsache, dass sich der Umbauprozess über Jahrzehnte hin zog dürften die vorhandenen Anlagen im Regelfall nach Erreichen der maximalen Nutzungsdauer durch andere Technologien ersetzt worden sein. So kann erklärt werden, dass die Investition in hierzulande als teuer empfundenen Techniken (z.B. Wärmnetze) konkurrenzfähig sind. Die Angemessenheit der Investitionsaufwände spiegelt sich letztlich auch in den Kosten wider, die die Wärmeversorgung für die Wärmenutzer verursacht. Da die Kosten der Wärmeversorgung in Dänemark unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Haushaltseinkommens eher niedriger liegen als in Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass die im Laufe der Jahrzehnte investierten Werte angemessen waren.

### 4.3 Akteurskonstellationen

Während in den 1950er Jahren die Regierung ein Atomenergie-Komitee einsetzte sowie das Risø Nuklear-Forschungszentrum gründete waren die Energieversorger von diesen Plänen nicht überzeugt (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 166). In den 1970er Jahren wiederum waren sich im Anschluss an die erste Ölkrise 1973 Regierung und Energieversorger in Bezug auf eine Strategie zentraler Großkraftwerke, die auch Atomkraftwerke umfasste, weitgehend einig (a.a.O). Die parallele Entwicklung der Windkraft in der Nische, die intensiv von Umweltverbänden und Wissenschaft unterstützt wurde, fand weitere Unterstützung im Energieausschuss des dänischen Parlaments, was die Erstellung eines

alternativen Energieplans zur Folge hatte, der die Grundlage der dänischen Energiepolitik wurde (Eikeland & Inderberg, 2016, S. 166). Der Konflikt um verschiedene Vorstellungen der Energiestrategie wurde Mitte der 1980er Jahre durch Parlamentsbeschlüsse beendet, mit dem Dänemark die Entwicklung der Atomenergie und auch den Neubau von Kohlekraftwerken in der Wärmeversorgung beendete.

Seit Mitte der 1980er Jahre werden keine bedeutenden Konflikte in Bezug auf die Wärmeversorgung in Dänemark dokumentiert. Die einzige Ausnahme ist die erste Amtszeit des neoliberalen Ministerpräsidenten Fogh Rasmussen, der seine Vorstellungen von Steuersenkungen, Deregulierung sowie einer deutlich reduzierteren Ambition beim Klimaschutz aber schon in seiner zweiten Amtszeit nicht mehr gegen den Widerstand von Bevölkerung und Wirtschaft durchsetzen konnte.

## 5 Fazit

Die Systeminnovation Wärmeversorgung in Dänemark besteht aus einer großen Zahl von Teilinnovationen, deren Diffusion erfolgreich vorangetrieben wurde. Im Fokus der Entwicklung standen die Entwicklung kommunal geplanter Wärmenetzstrukturen sowie die Verfügbarkeit von regenerativen Lösungen für Einzelgebäude, die nicht effizient an Wärmenetze angeschlossen werden können. Die Förderung der Diffusion nachhaltiger Lösungen basierte seit Beginn im Jahr 1979 immer auch darauf, den neuen Lösungen durch lenkende Steuern und Abgaben auf fossile Lösungen zur Wirtschaftlichkeit zu verhelfen, wodurch staatliche Subventionen begrenzt werden konnten. Der im Jahr 1986 beschlossene Ausstieg aus der Atomenergie, der im gleichen Jahr gefasste Beschluss keine neuen Kohlekraftwerke zu errichten sowie die Entscheidung die Errichtung und den Betrieb von Wärmenetzen nach dem Gemeinnützigkeitsprinzip zu organisieren, stellten zentrale Rahmenbedingungen dar.

**Tabelle 2: Maßnahmen zur Entwicklung der Wärmeversorgung in Dänemark**

<b>Förderung der Entstehung von Innovationen und Nischen</b>	<b>Destabilisierung und Rückbau nicht-nachhaltiger Systeme</b>
<p>C1: Forschung und Entwicklung, Wissen</p> <p>Es gab u.a. F&amp;E-Projekte zum Einsatz von KWK auf Basis von Biomasse sowie zu Solarwärmeanlagen und Niedertemperatur-Wärmenetzen.</p>	<p>D1: Ordnungsrecht, Steuern und Abgaben</p> <p>Hohe Steuern auf die fossilen Energien Erdgas und Heizöl.</p> <p>Ausstieg aus der Atomenergie wie auch der Ausschluss des Baus von neuen Kohlekraftwerken aus dem Energieplan.</p> <p>Verbot der Neuinstallation von Stromheizungen sowie weitgehendes Verbot der Neuinstallation von Erdgasheizungen und Ölheizungen.</p>
<p>C2: Pilotanwendungen und Pilotmärkte</p> <p>Neue Technologien wurden immer wieder in einzelnen Wärmenetzen erprobt.</p>	<p>D2: Grundsätzlich neue Regeln</p> <p>Prinzip der Wärmepreisgestaltung welches vorsieht, dass die Wärmeversorgung nach den tatsächlichen Kosten auf gemeinnütziger Basis zu berechnen ist.</p>
<p>C3: Kosten-Nutzen Verhältnis</p> <p>Durch die langfristige Politik der Wärmepreisgestaltung und der Gemeinnützigkeit wurde erreicht, dass für dänische Haushalte die Wärmeversorgung unter Berücksichtigung des höheren Einkommens preiswerter ist als in Deutschland.</p>	<p>D3: Reduzierung von Subventionen und F&amp;E</p> <p>Einstellung der Forschung zu Atomenergie im Jahr 1986.</p>
<p>C4: Gründungsförderung</p> <p>Es liegen keine Informationen vor.</p>	<p>D4: Veränderungen in Netzwerkstrukturen</p> <p>Erfolgreiche Einbindung von Interessengruppen aus der Energieversorgung in den auf regenerative Energien fokussierenden Energieplan in der ersten Hälfte der 1980er Jahre.</p>
<p>C5: Finanzierung</p>	

Aufgrund der höheren Steuern auf fossile Energien erweist sich der Einsatz zukunftsfähiger Lösungen oft als wirtschaftlich. Das Volumen von Subventionen kann so klein gehalten werden.	
C6: Legitimität und Unterstützung Über das Handeln der Kommune (konsequentes Management des Transformationsprozesses und Kommunikation) und aufgrund der Unterstützung durch Bevölkerung, Wirtschaft und Wissenschaft erhält das Projekt eine hohe Legitimität.	
C7: Ziele und Einfluss auf Orientierungen Regelmäßige Langzeitpläne werden erstellt und zielgerichtet umgesetzt.	
C8: Erbringung staatlicher Dienstleistungen Das Gasnetz befindet sich im Besitz der staatlichen Gesellschaft Energinet. Die Wärmenetze befinden sich oft im Besitz kommunaler und gemeinnütziger Organisationen. Durch die Politik der Trennung der Versorgungsgebiete konnten die Investitionskosten für den Bau der Netze niedrig gehalten werden.	

Die Entwicklung der Wärmeversorgung in Dänemark ist aus Sicht der Transformationsforschung an einigen Stellen lehrreich. Zum einen bestätigt sich, dass sich Produkte bzw. neue Verhaltensweisen schneller und erfolgreicher verbreiten, wenn sie aufgrund der Gestaltung von Rahmenbedingungen wirtschaftlich sind und so ein **gutes Kosten-Nutzen Verhältnis** aufweisen. Zum anderen sind eine hohe **Kompatibilität mit Verhaltensroutinen** des Gegenstandes der Transformation ein wichtiger Faktor, um Widerstände gegen die Transformation abzubauen. Die Wärmeversorgung eines Hauses verändert keine häufig wiederkehrenden Verhaltensroutinen. Im Regelfall wird unabhängig von der Art der Wärmeversorgung diese im Falle der Notwendigkeit einer Neuinvestition nach einem Entscheidungsprozess ausgewählt und dann für lange Zeit meist vollautomatisch betrieben. So lange die Wärmeversorgung zuverlässig ist und die Wärme zu einem akzeptablen Preis zur Verfügung steht ist die Kompatibilität mit Verhaltensroutinen gegeben. Widerstand dürfte in den Fällen eine Rolle spielen, in denen die Anschlusspflicht durch Kommunen gegen den Willen einzelner Eigentümer durchgesetzt wird.

Als weitere Lektion lässt sich aus dem Fall lernen, dass ein gutes **Management der Transformation** wichtig für den Erfolg ist. Eine kontinuierliche, langfristig angelegte Politik, mit Ausnahme der ersten Legislaturperiode unter Anders Fogh Rasmussen von 2001 bis 2005, hat über 40 Jahre die dänische Wärmewende vorangetrieben. Durch die dänische Energieagentur Energiestyrelsen und durch die Aufsichtsbehörde für Energieversorger Forsyningstilsynet wurde die Wärmewende umgesetzt und der Fortschritt im Rahmen eines Monitorings überprüft.

Eine **Übertragbarkeit** der dänischen Erfahrungen ist in Bezug auf eine Reihe von Punkten gegeben, wobei die ökonomische Steuerung und die technischen Lösungen voneinander abhängig sind. Zum



ersten ist das politische Instrumentarium grundsätzlich auch in anderen Ländern anwendbar. Insbesondere die Setzung von Anreizen durch die Veränderung relativer Preise in Form von Steuern und Abgaben ist jeder nationalen Regierung möglich und an die gegenwärtig in Gang kommende Debatte um einen CO<sub>2</sub>-Preis anschlussfähig. Abhängig von der Gestaltung des Systems von Steuern und Abgaben wird eine Reihe von Wärmequellen wirtschaftlich nutzbar, die in Deutschland bisher nur in minimalem Ausmaß genutzt werden. Hierzu gehören:

- die Nutzung industrieller Abwärme mit niedrigem Temperaturniveau über Großwärmepumpen,
- der Aufbau großer Solarkollektorfelder und der Bau von Saisonspeichern,
- die effektive Erschließung nachhaltiger Biomassepotenziale wie z.B. Stroh oder Waldrestholz.

Diese Energiequellen sind, wenn auch in unterschiedlichen Mengen, in Deutschland und anderen Ländern verfügbar. Ihre Nutzung für die Wärmeversorgung hängt allerdings nicht nur von der durch Steuern und Abgaben zu gestaltenden Wirtschaftlichkeit, sondern teilweise auch vom Vorhandensein von Fernwärmenetzen ab. Sowohl das System von Steuern und Abgaben wie auch die Infrastruktur der Fernwärmenetze werden so als Voraussetzungen der Verbreiterung der Basis an nutzbaren Wärmequellen erkennbar.

Im Falle solar unterstützter Fernwärmenetze dokumentiert Plan Energi (2018, S. 24) einen durchschnittlichen Endkunden-Wärmepreis von ca. 6,4 Cent/kWh. Die Studie von Plan Energi (2018, S. 49) identifiziert in Europa mehr als 2.300 existierende Fernwärmenetze, in denen mit Solarthermie solare Deckungsgrade von 20 % bis 40 % erreicht werden könnten. In Netzen mit einer jährlichen Wärmemenge von mehr als 50 GWh/a wird ein Gestehungspreis für die Solarwärme von unter 4 Cent/kWh errechnet, bei Anlagen über 200 GWh/a sinkt dieser Preis auf 2 bis 3 Cent/kWh ab. Mit Blick auf die für Deutschland noch für 2019 angekündigte CO<sub>2</sub>-Abgabe dürften solarthermische Großanlagen damit bereits heute wirtschaftlich sein.

## 6 Quellen

- Anonym. (2017). *MILJØRAPPORT MED VVM-REDEGØRELSE OG MILJØVURDERING FOR GRUNDBANDSBASERET VARMEANLÆG, BRØNDERSLEV KOMMUNE*. Dronninglund. Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: <https://www.dronninglundfjernvarme.dk/media/2987/vvm-dronninglund-grundvandsvarmepumpe-ver17.pdf>
- Bennett, A. & Elman, C. (2006). Qualitative Research: Recent Developments in Case Study Methods. *Annual Review of Political Science*, 9(1), 455–476. <https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.8.082103.104918>
- Bühler, F., Holm, F., Huang, B., Andreasen, J. & Elmegaard, B. (2015). Mapping of low temperature heat sources in Denmark. *Proceedings of ECOS 2015: 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. Kopenhagen.
- Bundesverband Bioenergie. (2013). *Ohne Bioenergie wird's nichts werden*. Bonn. Zugriff am 29.4.2019. Verfügbar unter: <https://media.repro-mayr.de/81/593581.pdf>
- CICD. (2002). Tvindkraft Windmill. Zugriff am 24.4.2019. Verfügbar unter: <https://www.cicd-volunteerinafrica.org/activism/tvindkraft>
- Clausen, J. & Fichter, K. (2019). The diffusion of environmental product and service innovations: Driving and inhibiting factors. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.003>
- Danish Energy Agency. (2018a). *Energy in Denmark 2016*. Kopenhagen. Zugriff am 4.6.2018. Verfügbar unter: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy\\_in\\_denmark\\_2016.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_in_denmark_2016.pdf)
- Danish Energy Agency. (2018b). *Energy in Denmark 2015*. Kopenhagen. Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy\\_in\\_denmark\\_2015\\_internet.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_in_denmark_2015_internet.pdf)
- Danish Energy Authority. (2005). *Heat Supply in Denmark. Who What Where and - Why*. Kopenhagen. Zugriff am 24.4.2019. Verfügbar unter: [http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/DEA\\_Heat\\_supply\\_in\\_denmark.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/DEA_Heat_supply_in_denmark.pdf)
- Diget, T. (2018a, 12.6). How to include surplus energy from Apple. Gehalten auf der Deutsch-Dänischer Dialog Wärmenetze, Stuttgart. Zugriff am 26.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963](https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963)
- Diget, T. (2018b, 12.6). Converting from natural gas to heat grids. Gehalten auf der Deutsch-Dänischer Dialog Wärmenetze, Stuttgart. Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963](https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963)
- Duedahl, M. J. (2018, 12.6). District Heating – an Important part of a Sustainable Future. Gehalten auf der Deutsch-Dänischer Dialog Wärmenetze, Stuttgart. Zugriff am 22.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963](https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963)
- Dyrelund, A. (2011). Heat Plan Denmark 2010: Low Carbon Urban Heating. Zugriff am 4.6.2019. Verfügbar unter: <https://se.ramboll.com/-/media/files/rgr/documents/documents/heat-plan-denmark-2010-final.pdf>

- ECOFYS, Fraunhofer ISI & CASE. (2016). *Prices and cost of EU Energy. Final Report*. Utrecht. Zugriff am 6.5.2018. Verfügbar unter: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2016/report\\_ecofys2016.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2016/report_ecofys2016.pdf)
- Eikeland, P. O. & Inderberg, T. H. (2016). Energy system transformation and long-term interest constellations in Denmark: can agency beat structure? *Energy Research & Social Science*, 11, 164–173.
- Energistyrelsen,. (2017). *Eksport af Energiteknologi og Service 2016*. Kopenhagen. Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: <http://www.efkm.dk/media/8363/analyse-energiteknologiskporten.pdf>
- Energistyrelsen. (2019). Biomass. Zugriff am 4.6.2019. Verfügbar unter: <https://ens.dk/en/our-responsibilities/bioenergy/solid-biomass>
- Eurostat. (2019). Gas prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards). Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_202&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_202&lang=en)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2018, 5). Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland: Fläche bleibt auch 2017 stabil. *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.* Zugriff am 28.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/archiv/archivnachricht/tx\\_news/anbau-nachwachsender-rohstoffe-in-deutschland-flaeche-bleibt-auch-2017-stabil/?\\_\\_mstto=516&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=d2ee7960a1981ef4c1a21c576c193000](https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/archiv/archivnachricht/tx_news/anbau-nachwachsender-rohstoffe-in-deutschland-flaeche-bleibt-auch-2017-stabil/?__mstto=516&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=d2ee7960a1981ef4c1a21c576c193000)
- Fichter, K. & Clausen, J. (2013). *Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen*. Marburg: Metropolis.
- FIF Marketing. (2016). *Fjernwarmens Image*.
- Forsyningstilsynet. (2018). *Forsyningstilsynets Fjernvarmestatistik december 2018*. Valby. Zugriff am 22.4.2019. Verfügbar unter: [http://forsyningstilsynet.dk/fileadmin/Filer/0\\_-\\_Nyt\\_site/VARME/Prisstatistik/2018/Varmestatistik\\_12\\_2018/Fjernvarmestatistik\\_2018\\_ny\\_skabelon.pdf](http://forsyningstilsynet.dk/fileadmin/Filer/0_-_Nyt_site/VARME/Prisstatistik/2018/Varmestatistik_12_2018/Fjernvarmestatistik_2018_ny_skabelon.pdf)
- Forum Energii, Agora Energiewende & DBDH. (2018). *Good heating practices from Denmark and Germany. Conclusions for Poland*. Warschau. Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Partnerpublikationen/2018/Forum\\_Energii\\_Good\\_heating\\_practices\\_from\\_Denmark\\_and\\_Germany/Good\\_heating\\_practices\\_en\\_final.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Partnerpublikationen/2018/Forum_Energii_Good_heating_practices_from_Denmark_and_Germany/Good_heating_practices_en_final.pdf)
- Frey, J. (2018, 12.6). Dronninglund Fjernvarme. Gehalten auf der Deutsch-Dänischer Dialog Wärmenetze, Stuttgart. Zugriff am 25.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963](https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963)
- Harrestrup, M. & Svendsen, S. (2014). Heat planning for fossil-fuel-free district heating areas with extensive end-use heat savings: A case study of the Copenhagen district heating area in Denmark. *Energy Policy*, 68, 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.031>
- Heller, A. (2000). 15 Years of R&D in central Solar Heating in Denmark. *Solar Energy*, 69(6), 437–447.
- Hermansen, K. (2012). *En Solstrale Historie*. Marstal. Zugriff am 26.4.2019. Verfügbar unter: <https://www.solarmarstal.dk/profil/historie/>

- International Energy Agency (IEA). (2014). Heat Supply Act Denmark. *IEA*. Zugriff am 24.4.2019. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/denmark/name-21778-en.php>
- Larsen, T. (2011). *Greening the Danish Tax System*. Brüssel. Zugriff am 4.6.2019. Verfügbar unter: [https://financien.belgium.be/sites/default/files/downloads/BdocB\\_2011\\_Q2e\\_Larsen.pdf](https://financien.belgium.be/sites/default/files/downloads/BdocB_2011_Q2e_Larsen.pdf)
- Lund, R., Ilic, D. D. & Trygg, L. (2016). Socioeconomic potential for introducing large-scale heat pumps in district heating in Denmark. *Journal of Cleaner Production*, 139, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.135>
- Nielsen, S. & Möller, B. (2013). GIS based analysis of future district heating potential in Denmark. *Energy*, 57, 458–468. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.041>
- Oelker, J. (2005). *Windgesichter. Aufbruch der Windenergie in Deutschland*. Dresden: Sonnenbuch. Verfügbar unter: <http://www.sonnenbuch.de/windgesichter/start.htm>
- Pinson, P., Mitridati, L., Ordoudis, C. & Østergaard, J. (2017). Towards Fully Renewable Energy Systems: Experience and Trends in Denmark. *CSEE JOURNAL OF POWER AND ENERGY SYSTEMS*, 3(1), 26–35.
- Plan Energi. (2018). *Solar District Heating Trends and Possibilities—Characteristics of Ground-Mounted Systems for Screening of Land Use Requirements and Feasibility*. Kopenhagen. Zugriff am 7.6.2019. Verfügbar unter: <http://iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/SDH-Trends-and-Possibilities-IEA-SHC-Task52-PlanEnergi-20180619.pdf>
- Radtke, K. (2015, Mai 29). Älteste Großwindkraftanlage der Welt feiert 40. Geburtstag. Zugriff am 26.4.2019. Verfügbar unter: <https://w3.windmesse.de/windenergie/news/18511-alteste-grosswindkraftanlage-der-welt-feiert-40-geburtstag>
- Renoth, P. (2018, 12.6). Wärmeversorgung 2050 Wie schaffen wir 100% Erneuerbare Energien im Wärmesektor? Stuttgart. Zugriff am 22.4.2019. Verfügbar unter: [https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963](https://www.energiekompetenz-bw.de/energiekompetenz-bw/veranstaltungen/rueckblick/detail/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=523&cHash=3375a14e27c607cde0f95b25db67b963)
- Schultz, K. (2018, Dezember 17). Denmark – The new digital hub in Northern Europe. *Data economy*. Zugriff am 26.4.2019. Verfügbar unter: <https://data-economy.com/denmark-the-new-digital-hub-in-northern-europe/>
- Statista. (2019). Share of tenants among the total population of Denmark from 2008 to 2017. Zugriff am 4.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.statista.com/statistics/544655/tenants-among-population-denmark/>
- Statistics Denmark. (2019). Building Stock. Zugriff am 4.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.dst.dk/en/Statistik/emner/erhvervslivets-sektorer/byggeri-og-anlaeg/bygningsbestanden>
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: design and methods* (5. Auflage). Los Angeles: SAGE.