



Verbreitung radikaler Systeminnovationen Fallbeispiel Wärmeversorgung Schweden

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 Schweden. Berlin: Borderstep Institut.

Titelbild:

© Jönköping Energi AB, Biomasse-KWK-Anlage

Zuwendungsgeber:

Bundesministerium 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 Schweden.....	6
2.1	Hintergrund.....	6
2.2	Die Entwicklung erneuerbarer Wärme in Schweden.....	8
3	Der Einsatz von politischen Steuerungsinstrumenten.....	11
3.1	Ziele.....	11
3.2	Förderung von Forschung und Innovation.....	11
3.3	Ordnungsrechtliche und ökonomische Instrumente.....	13
3.4	Auswirkungen auf den Wärmepreis	14
3.5	Wohnen, Gas- und Wärmenetze als staatliche Dienstleistung.....	15
3.6	Information und Kommunikation	16
3.7	Controlling, Berichterstattung und Management der Transformation.....	16
4	Erkenntnisse zur Governance der Transformation.....	18
4.1	Der Gegenstand der Transformation.....	18
4.2	Pfadabhängigkeiten	18
4.3	Akteurskonstellationen.....	19
5	Fazit.....	21
6	Quellen.....	24

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 % 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 Hemmnisse liefern können.

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

- umweltentlastend, weil sie in Schweden die CO₂-Emissionen durch das Zurückdrängen fossiler Energieträger wirksam reduziert,

- radikal, weil im Laufe mehrerer Jahrzehnte ein fossiles Wärmeversorgungssystem zurückgedrängt wurde und ein dezentrales regeneratives System entstand,
- eine Systemtransformation, weil die Wärmeversorgung mit einem Anteil von 57 % der Wärmemenge für alle Gebäudetypen 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 sozio-technischen 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 Schweden

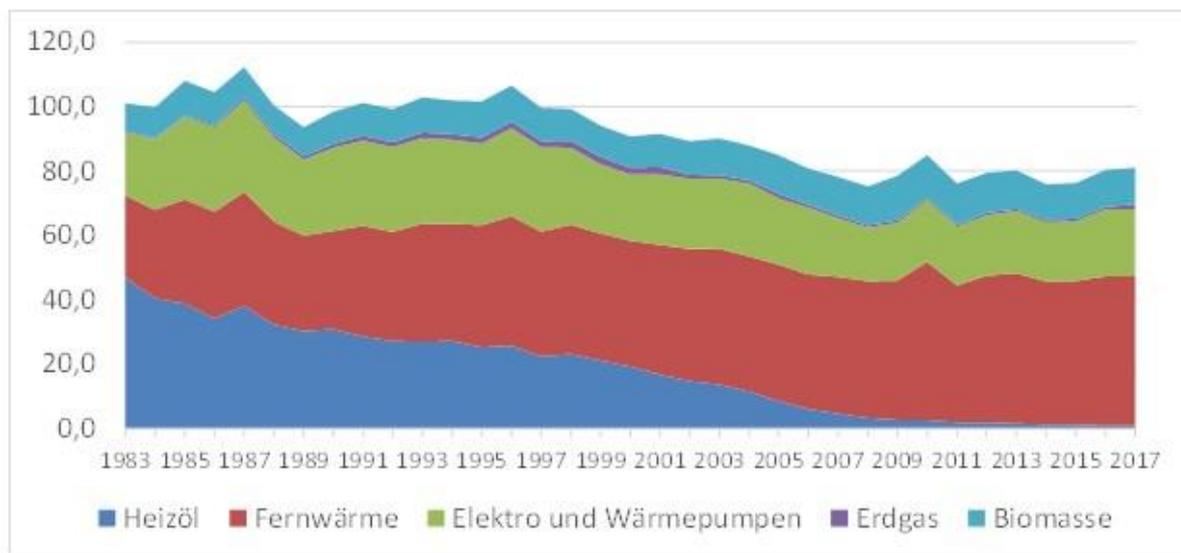
2.1 Hintergrund

Schweden hat eine Bevölkerung von ca. 10,2 Mio. Menschen. In der Provinz Stockholm wohnen etwa 2,3 Mio. Menschen. Die Bevölkerungsdichte ist mit 23 Einwohnern pro km² niedrig. Schweden verfügt über große Mengen Wasserkraftwerke und ausgedehnte Wälder und dadurch auch viel Biomasse.

Etwa 40 % der in Schweden erzeugten Wärme werden in Einfamilienhäusern verbraucht. Der Wärmebedarf der verschiedenen Gebäudetypen hat sich von 1995 bis 2012 in unterschiedlichem Ausmaß verändert. Bei Nichtwohngebäuden sank er von ca. 160 auf ca. 150 kWh/m², bei Einfamilienhäusern stieg er zunächst von ca. 130 kWh/m² auf rund 150 kWh/m² an um dann wieder auf ca. 130 kWh/m² zu fallen. Der Wärmebedarf von Mehrfamilienhäusern sank relativ kontinuierlich von 140 kWh/m² auf ca. 120 kWh/m² (Sköldberg & Rydén, 2014, S. 17f).

Zur Wärmeversorgung trugen in 2018 Fernwärmenetze über 57 % der Wärme bei, Elektroheizungen und Wärmepumpen knapp 26 % und Biomasse 14 %. Erdgas steuert von 1,8 % zur Wärmeversorgung bei, Heizöl 1,2 % (Swedish Energy Agency, 2019a).

Abbildung 1: Energieverbrauch für Heizwärme und Warmwasser in Schweden seit 1983 in TWh



Quelle: Borderstep Institut mit Daten der Swedish Energy Agency (2019a)

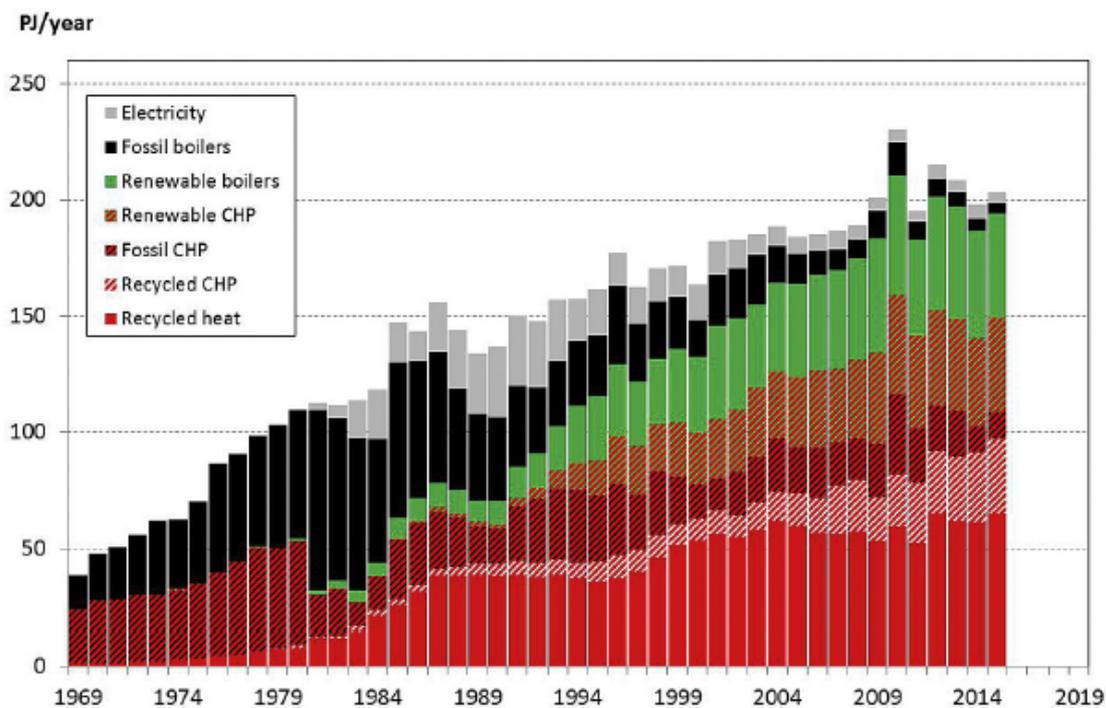
Der Anschlussgrad von Mehrfamilienhäusern an Wärmenetze liegt bei 89 %, der von Service-Sektor Gebäuden bei 80 % und der von Einfamilienhäusern bei 17 % (Werner, 2017, S. 421). In Einfamilienhäusern wird am häufigsten mit Wärmepumpen geheizt, gefolgt von Biomasse (Jonasson, 2018, S. 6).

Die schwedische Regierung gibt für das Jahr 2015 den Anteil regenerativer Energien für Heizen und Kühlen mit 68,6 % an. Von diesen regenerativen Energien basieren 88 % auf Biomassenutzung, 12 % auf Wärmepumpen und ein kleiner Anteil auf Solarenergie (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 54). Große Solarthermieanlagen und Saisonspeicher gibt es nicht (Werner, 2017, S. 421).

Die Bedeutung der Energieträger zur Versorgung der Fernwärmenetze in Schweden hat sich in den letzten Jahren erheblich verschoben. Dabei spielten verschiedene Wärmeträger eine Rolle:

- Die **recycelte Wärme** umfasst industrielle Überschusswärme, Wärme aus der Kondensation von Rauchgas, Umgebungswärmeeinträge in Wärmepumpen, Wärme aus der Verbrennung von Rückgewinnungsgasen (meist aus Eisenhütten) sowie der Verbrennung von Siedlungs- und Industrieabfällen.
- Als **recycelte KWK** bezeichnet Werner (2017, S. 21) Wärme aus KWK-Anlagen, die mit rückgewonnenen Gasen oder Abfällen befeuert werden, während **fossile KWK** die Wärme aus KWK-Anlagen mit den Energieträgern Kohle, Heizöl, Erdgas oder Torf bezeichnet. **Erneuerbare Energien KWK** ist Wärme aus KWK-Anlagen, die Biomasse als Brennstoff verwenden.
- **Erneuerbare Heizkessel** nutzen Biomasse als Brennstoff, während **fossile Heizkessel** mit Erdgas, Heizöl oder Torf als Brennstoff befeuert werden. Auch **Strom** wird als Input für Elektrokessel und große Wärmepumpen genutzt.

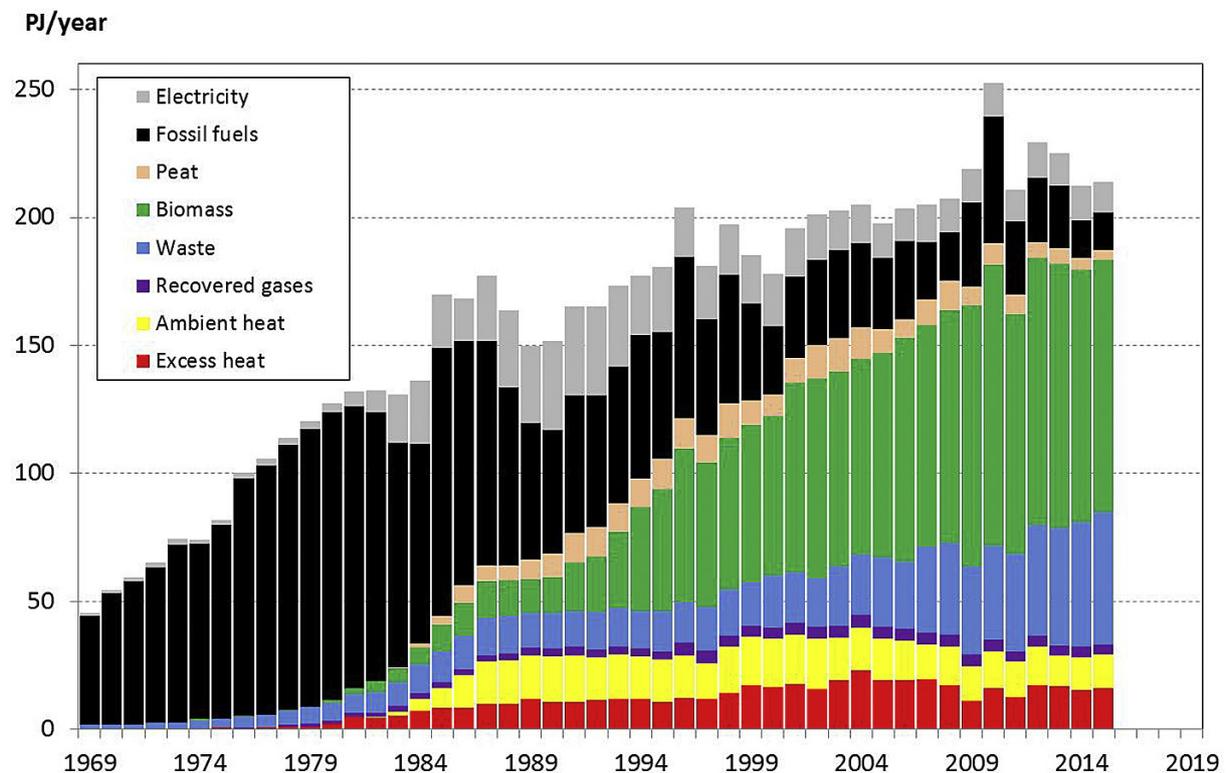
Abbildung 2: Wärmeerzeuger zur Versorgung der schwedischen Fernwärmenetze 1969 bis 2015



Quelle: Werner (2017, S. 422)

Die Analyse von Werner (2017) untersucht über die Wärmeerzeuger hinaus zusätzlich die eingesetzten Primärenergieträger. Abbildung 3 zeigt, dass das langfristige Wachstum der Fernwärme wie auch das Zurückdrängen fossiler Energieträger primär durch Biomasseeinsatz und Müllverbrennung ermöglicht wurde. Die Nutzung von Umweltwärme (ambient heat) über Wärmepumpen wie auch von industrieller Überschusswärme (excess heat) stagniert langfristig.

Abbildung 3: Energieträger zur Versorgung der schwedischen Fernwärmenetze 1969 bis 2015



Quelle: Werner (2017, S. 423)

Die spezifischen CO₂-Emissionen aus der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen sanken von ca. 330 g/kWh in 1969 auf ca. 33 g/kWh in 2014 (Werner, 2017, S. 425).

Der aktuelle Energie- und Klimaplan der schwedischen Regierung (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 31) verweist auf den hohen Ausbaugrad der Wärmenetze und den bereits hohen Anteil erneuerbarer Wärme in den Netzen und überlässt die Entscheidung über den weiteren Netzausbau den jeweiligen Betreibern.

2.2 Die Entwicklung erneuerbarer Wärme in Schweden

In Schweden stieg nach dem zweiten Weltkrieg der Energieverbrauch in Folge des Wirtschaftswachstums an. Schon 1948 wurde ein erstes Fernwärmenetz in Karlstadt gebaut und auf Basis fossiler KWK

betrieben (Werner, 2017, S. 420). Neun weitere Städte bauten in den 1950er Jahren Fernwärmenetze (Werner, 2017, S. 421). Das Interesse der Kommunen an der Erzeugung von Strom und Wärme durch KWK in Eigenregie wuchs. Die Motive hierfür waren, eine größere Unabhängigkeit von den großen Energieversorgern zu erreichen sowie die großen kommunalen und staatlichen Wohnungsbauprogramme von 1965 bis 1974. Die entstehenden Wohngebäude wurden weitgehend an Fernwärmenetze angeschlossen und ließen die Zahl der Wärmenetze auf heute ca. 500 wachsen (Werner, 2017, S. 422, 425).

Zur Stromerzeugung wurden in den 1950er Jahren zahlreiche neue Dämme zur Gewinnung von Wasserkraft gebaut, aber schon nach kurzer Zeit wuchs der Widerstand gegen weitere Dammbauten und die schwedischen Energieversorger setzten wieder vermehrt auf Kohle- und Ölkraftwerke (Cruciani, 2016, S. 9). Zur Zeit der ersten Ölkrise 1973 basierte der schwedische Primärenergieverbrauch dann zu 72 % auf Erdöl, zu 13 % auf Wasserkraft sowie auf 9 % Biomasse, 4 % Kohle und 2 % Kernenergie (Cruciani, 2016, S. 9). Um der Importabhängigkeit bei Erdöl zu entgehen, begann Schweden eine Reihe von Atomkraftwerken zu errichten für die stattdessen Kernbrennstoff importiert wurde. Im Jahr 1986 war dann die Kernenergie die größte Primärenergiequelle in Schweden und der Erdölimport halbierte sich von 1970 bis 1990 (Cruciani, 2016, S. 9). Atomkraftwerke wurden in Schweden schon früh in Verbindung mit der Wärmeversorgung gebracht, wobei sich zunächst Elektroheizungen und danach die Wärmepumpentechnologie verbreitete (Sköldberg & Rydén, 2014, S. 22).

Als weitere Folge der Ölkrise wurde in den 1980er Jahren ein Öl-Substitutions-Programm aufgelegt, mit dem z.B. der Anschluss von ölgeheizten Gebäuden an Wärmenetze vorangetrieben wurde. Ab 1991 wurde auch die Errichtung von Biomasse-KWK-Anlagen gefördert (Werner, 2017, S. 425). Die großen Energiekonzerne boten Kommunen in dieser Zeit reduzierte Strompreise an, wenn dafür auf die Errichtung von Wärmenetzen verzichtet wurde (Gradin, 1984).

Anfang der 1990er Jahre geriet die schwedische Wirtschaft in eine Rezession, die zu einigen Neuorientierungen in der Energiepolitik führte. So wurden die Gas- und Strommärkte liberalisiert, eine CO₂-Steuer wurde eingeführt, Entwicklungen bei der Energieeffizienz und den Erneuerbaren Energien wurden angestoßen. Um die Strompreise besonders für die Industrie niedrig zu halten, wurden die Atomkraftwerke weiter betrieben (Cruciani, 2016, S. 10).

Die Rolle der Atomenergie spiegelt eine eher widersprüchliche und teils sprunghafte Entwicklung der schwedischen Energiepolitik wider. Nachdem ein Referendum im März 1980 für eine zeitliche Begrenzung der Nutzung der Kernkraft votierte, wurde nach dem Unfall von Tschernobyl im Jahr 1991 ein Atomausstieg bis 2010 beschlossen (Cruciani, 2016, S. 16). 1995 stellte dann eine Kommission fest, dass alternative Energiequellen bis 2010 nicht ausreichend zur Verfügung stehen würden, so dass 1997 alle zeitlichen Betriebsbeschränkungen wieder aufgehoben wurden (Cruciani, 2016, S. 17). Eine volkswirtschaftliche Analyse des später für seine Arbeiten zur „Integration des Klimawandels in die langfristige makroökonomische Analyse“ mit dem Ökonomie-Nobelpreis ausgezeichneten William D. Nordhaus (1995) gab zu bedenken, dass die Atomkraft preisgünstig und damit volkswirtschaftlich aufgrund vermiedener Importe positiv zu beurteilen wäre. Nordhaus folgert, dass ohne die Atomkraftwerke den schwedischen Klimaschutzverpflichtungen kaum nachzukommen wäre (Nordhaus,

1995, S. 4). Es verwundert, dass trotz der damals in Schweden schon existierenden CO₂-Steuer Nordhaus eine wesentliche Ausweitung der Nutzung von Windenergie, Biomasse oder Geothermie aufgrund von deren Kostennachteilen als hochspekulativ darstellt (Nordhaus, 1995, S. 96). Von den ehemals 12 schwedischen Atomkraftwerken wurden dann zwischen 1999 und 2017 vier der älteren Reaktoren stillgelegt, u.a. beide Reaktoren im nahen Malmö und Kopenhagen gelegenen Barsebäck. In 2009 ermöglichte die Mitte-Rechts Regierung den Neubau von Kernkraftwerken auf alten Standorten. Ein solcher Neubau wurde aufgrund einer 2014 von der rot-grünen Regierung für den Zeitraum 2015 bis 2017 eingeführten Steuer auf Nuklearabfälle allerdings nicht mehr für wirtschaftlich gehalten, worauf die Schließung einiger Reaktoren angekündigt wurde (Cruciani, 2016, S. 17). Dieselbe Koalition entschloss sich dann aber nicht, die Steuer 2016 zu verlängern, was die Verhältnisse wiederum änderte. Hintergrund war jetzt die Verbindung des Beschlusses mit der Zielsetzung, eine zu 100 % regenerative Stromerzeugung in 2040 anzustreben, dies aber nicht mit einem festen Datum für den Atomausstieg zu verbinden (Cruciani, 2016, S. 17). Die so eintretenden Steuerausfälle wurden durch die Erhöhung der Energiesteuern der privaten Haushalte ausgeglichen, ein Vorgehen, welches von fünf Parteien mit 74 % der Parlamentssitze unterstützt wurde (Cruciani, 2016, S. 17).

Eine neuere Entwicklung ist die Nutzung von Rechenzentren als Abwärmequelle für Wärmenetze. Die European Heat Pump Association (2017, S. 20f) beschreibt eine kleine Anlage dieser Art in Mäntsälä in Finnland, in der 3,6 MW Abwärme aus einem Rechenzentrum, die bei 40°C zur Verfügung stehen, mit einer Wärmepumpe auf die Netztemperatur von 85°C gepumpt werden. Die Jahresarbeitszahl wird mit 3,4 angegeben. In der dänischen Stadt Viborg entsteht gegenwärtig ein Apple Rechenzentrum, dessen 55 MW Abwärme mit Hilfe von Großwärmepumpen das gesamte Wärmenetz der Stadt versorgen soll (Clausen & Beucker, 2019). Wahlroos et al. (2017, S. 1228) sehen für solche Anwendungen auch Schweden aufgrund der großen Erfahrung in der Nutzung von Abwärme in Wärmenetzen (in 2014 ca. 8 % der Wärmemenge) als geeigneten Markt. Im Großraum Stockholm sind bereits drei kleine Rechenzentren mit zusammen 3 MW Wärmeleistung in Fernwärmenetze eingebunden, ein großes Projekt mit 21 MW ist in Arbeit (Wahlroos, Pärssinen, Rinne, Syri & Manner, 2018, S. 1757).

Zur Erschließung von kleinen und mittleren Abwärmequellen wurde in Stockholm durch den Wärmeversorger das Fortum „Open District Heating“ (www.opendistrictheating.com) aufgebaut. Das bedeutet, dass der Eigentümer des Netzes, Fortum Wärme, überschüssige Wärme von verschiedenen Drittunternehmen kauft und an seine Kunden weitergibt. Die Hauptquellen für die Abwärme sind Rechenzentren und Supermärkte (Nordic Council of Ministers, 2017, S. 36).

Mit Blick auf Wärmenetze ist festzuhalten, dass die schwedische Regierung zu keiner Zeit eine eigene Fernwärmepolitik beschlossen hat. Stattdessen waren Fernwärmenetze für verschiedene Akteure ein Mittel zur Erreichung verschiedener gesellschaftlicher Ziele, wie z.B. einer effizienten Wärmeversorgung, einer höheren Versorgungssicherheit durch Ölsubstitution und der Eindämmung des Klimawandels (Werner, 2017, S. 425). Da Fernwärmenetze in Schweden wie fast überall unterirdisch verlegt und damit unsichtbar sind und die meisten Mieter über Verträge mit Warmmiete verfügen (also keinen Kontakt zum Wärmeversorger haben), spielen Wärmenetze in der öffentlichen Debatte kaum eine Rolle (Werner, 2017, S. 425).

3 Der Einsatz von politischen Steuerungsinstrumenten

In Schweden wurde zwar schon 1991 eine CO₂-Steuer eingeführt, die aber nicht Teil einer konsistenten umweltpolitischen Strategie war. Energiepolitische Ziele wurden erst 2009 gesetzt. Auch das oben aufgeführte Beispiel eines Hin-und-her um die Kernenergienutzung lässt den Eindruck einer eher fraktalen und wenig systematischen Energiepolitik aufkommen.

3.1 Ziele

Die in 1991 eingeführte CO₂-Steuer zielte zwar auf eine Erhöhung der Energieeffizienz und die Verlagerung des Verbrauchs auf emissionsfreie Energieträger ab, aber zu diesem Zeitpunkt wurden noch keine nationalen Ziele für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien gesetzt.

Schweden war zwar eines der ersten Länder, das 1998 bzw. 2002 das internationale Kyoto-Protokoll zum Klimawandel unterzeichnet und ratifiziert hat. Mit Blick auf die Tatsache, dass das Kyoto-Protokoll für die Verpflichtungsperiode 2008 – 2012 für Schweden allerdings nur die Steigerung des Ausstoßes von Treibhausgasen auf maximal +4 % begrenzte (Shishlov, Morel & Bellassen, 2016), war dieses Ziel nicht schwer zu erreichen. Anzumerken ist allerdings, dass Schweden tatsächlich eine Reduktion von 18,2 % erreichte, das Ziel also deutlich übererfüllte (Shishlov et al., 2016).

Erst im Jahr 2009 formulierte die regierende Mitte-Rechts Allianz eine Reihe nationaler Zielsetzungen für die Energieversorgung und den Klimaschutz (Cruciani, 2016, S. 14): 50 % erneuerbare Energien bis 2020, 10 % erneuerbare Energien im Verkehrssektor bis 2020, die nationale Fahrzeugflotte soll bis 2030 frei von fossilen Brennstoffen sein, eine 20%ige Verbesserung der Energieeffizienz bis 2020, bis 2050 wird Schweden keine Nettoemissionen von Treibhausgasen mehr haben. Die seit 2014 regierende Koalition aus Sozialdemokraten und Grünen ließ diese Ziele unverändert (Cruciani, 2016, S. 14). Der aktuelle Energie- und Klimaplan der schwedischen Regierung führt folgende zentrale Ziele an (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 3):

- Klimaneutralität 2045 und anschließend negative CO₂-Emissionen,
- ein 50 % Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch 2020,
- 100 % erneuerbare Stromerzeugung bis 2040¹,
- Schwedens Energieverbrauch soll um 50 % effizienter sein als 2005.

3.2 Förderung von Forschung und Innovation

Das erste Energieprogramm von 1975 leitete in Schweden eine Phase von F&E- und Demonstrationsprojekten mit Fokus auf Biomasse und Wind ein (Ericsson, Huttunen, Nilsson & Svenningsson, 2004).

¹ Es wird explizit darauf hingewiesen, dass dies ein Ziel ist und damit keine Frist für das Verbot der Kernenergie impliziert oder bedeutet, dass die Schließung von Kernkraftwerken durch politische Entscheidungen vorgezogen wäre.

Die Biomasseforschung erreichte in den 1980er Jahren einen Anteil von 10 bis 20 % am schwedischen Forschungssetat und lag damit vier bis fünf Mal höher als im EU-Durchschnitt (Ericsson et al., 2004). Die Forschung umfasste die Wertschöpfungskette von forstwirtschaftlichen Fragen bis zum Ascherecycling. Ein großer Teil des Forschungsaufwandes konzentrierte sich auf komplexe Technologien wie Ethanolproduktion aus Lignocellulose oder enzymatische Hydrolyse zur Gasherstellung aus Biomasse (Ericsson et al., 2004).

Der eigentliche Erfolg der Biomassenutzung wurde aber durch die breite Anwendung von Low-Tech erreicht, also der Verbrennung von Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Die Diffusion von Biomasse-KWK wurde seit 1991 durch Investitionszuschüsse gefördert, die 1997 gesenkt wurden. Wie alle Brennstoffe hat Biomasse als Energieträger den Vorteil der Speicherbarkeit, so dass die Kraftwerke dem Bedarf an Wärme oder Strom nachgefahren werden können.

Von 2002 bis 2006 wurde ein Forschungsprogramm zu Wärmenetzen in wenig verdichteten Gebieten gefördert. Auch die Abwägung zwischen Investitionen in Energieeffizienz der Gebäude alternativ zu Investitionen in nachhaltige Wärmequellen war Gegenstand einiger Forschungsarbeiten (Werner, 2017, S. 426).

Die Schwedische Energieagentur gewährt weiter Förderungen für die Markteinführung von energiebezogenen Innovationen in Form eines Zuschusses, der bei wirtschaftlichem Erfolg zurückgezahlt werden muss (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 21). Besonders die Unterstützung der Beschaffung neuer, effizienterer Technologien wie auch neuer Produkte, Systeme und Prozesse wird als ein Instrument zur Förderung der Verbreitung am Markt gesehen. Sogenannte Beschaffungsgruppen sind für die schwedische Regierung ein Ansatz, der den gesamten Entscheidungsprozess von der Machbarkeitsstudie und der Bildung einer Einkäufergruppe über die Anforderungsspezifikation bis hin zur Verbreitung und Weiterentwicklung energieeffizienterer Technologien umfasst (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 21). Die Idee ist folgende:

- Man bringt mögliche Kunden in öffentlich geförderten Beschaffungsgruppen miteinander in Kontakt.
- Die Marktmacht der Kundengruppe macht es für die Lieferanten attraktiv, in F&E zu investieren und ihnen bessere Produkte anzubieten, als am Markt eigentlich verfügbar.
- Einzelkunden testen innovative Lösungen und reduzieren so das Risiko für die anderen Mitglieder der Beschaffungsgruppe.
- Gleichzeitig können kooperativ niedrigere Preise verhandelt werden.

Das Instrument wird in Bereichen wie Heizung und Regelung, Lüftung und Beleuchtung eingesetzt. Die Schwedische Energieagentur koordiniert die Beschaffungsgruppen für Wohnungen (BeBo), gewerbliche und institutionelle Gebäude (BeLok), kleine Häuser (BeSmå), öffentliche Einrichtungen, die Gebäude mieten (HyLok) sowie die Lebensmitteldistribution (BeLivs) (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 21).

Das Ziel der Technologiebeschaffungsgruppen besteht darin, Akteure mit dem Ziel zusammenzubringen (z.B. Vermieter von Gewerbeflächen), ihre Beschaffungskompetenz durch gemeinsames Handeln

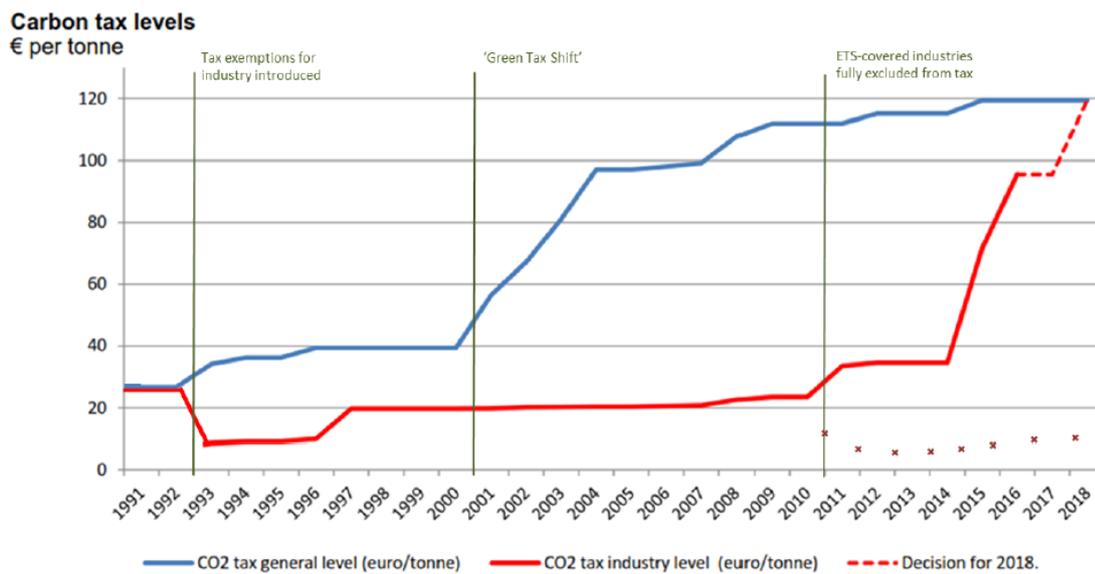
zu erhöhen. So soll die Diffusion neuer Produkte gefördert und der Energieverbrauch für Heizung und Strom in Mehrfamilienhäusern gesenkt werden (Haugbølle & Vogelius, 2016). Da die Mieter in Schweden "Warmmieten" zahlen, d.h. Heizwärme und Warmwasser im Mietpreis enthalten sind, liegen Anreize für Energieeffizienz vor allem beim Vermieter. Derzeit wird das Projekt "Rekorderlig renovering" durchgeführt, bei dem es darum geht, Methoden zur Tiefensanierung zu finden, die zu einer 50%igen Reduzierung des Energieverbrauchs für Gebäude führen sollten. Dies wurde jedoch nicht durchgängig erreicht wurde (Haugbølle & Vogelius, 2016, S. 25).

Aktuell ist die schwedische Energieagentur für die Förderung von Forschung zu neuen und erneuerbaren Energietechnologien, intelligenten Netzen sowie zu Fahrzeugen und Kraftstoffen der Zukunft zuständig (Swedish Energy Agency, 2019b). Sie unterstützt auch die Geschäftsentwicklung, die die Vermarktung von energiebezogenen Innovationen ermöglicht, und stellt sicher, dass vielversprechende Cleantech-Lösungen exportiert werden können (Swedish Energy Agency, 2019b).

3.3 Ordnungsrechtliche und ökonomische Instrumente

Für die Transformation der schwedischen Wärmeversorgung waren insbesondere ökonomische Instrumente wie die 1991 eingeführte CO₂-Steuer zentral. Schon 1924 und 1937 waren erste Steuern auf Benzin und Diesel eingeführt worden, ab 1950 wurde auch Heizöl besteuert (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 17). Im Laufe der Jahre wurde diese Steuer auf eine Reihe von Energieformen für Wärmeversorgung und Treibstoffe ausgeweitet und variierte in der Höhe abhängig von Energieform und Nutzung (Cruciani, 2016, S. 12). In einer ökologischen Steuerreform 1991 wurden während der Wirtschaftskrise 1991 die Steuern auf Arbeit und Einkommen gesenkt und neben der CO₂-Steuer eine Reihe weiterer Umweltsteuern z.B. auf die Emission von SO_x und NO_x eingeführt (Cruciani, 2016, S. 12). Schon 1993 wurden niedrigere Steuersätze für eine Reihe von energieintensiven Sektoren eingeführt. Bis in die Gegenwart hinein wurde die CO₂-Steuer kontinuierlich weiterentwickelt und auch für kommerzielle Energieverbraucher ab 2014 deutlich erhöht (Vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Entwicklung der schwedischen CO₂-Steuer 1991 bis 2018



Quelle: Ackva & Hoppe (2018, S. 5), ab 2008 zeigt die rote Linie Unternehmen, die nicht vom EU-Emissionshandel betroffen sind

Nachdem der Stromverbrauch durch Elektroheizungen 1987 seinen höchsten Stand erreichte, konnte er durch die Verbreitung von Wärmepumpen bis 2015 um ca. 35 % gesenkt werden (Jonasson, 2018, S. 4). Durch die große Zahl von 1,7 Millionen in Schweden installierten Wärmepumpen wird die Effizienz (Jahresarbeitszahl) der Geräte eine bedeutende Variable für den Stromverbrauch. Fortschritte werden von der EU-Ökodesignrichtlinie (EU-Verordnung 2281/2016/EU) erwartet, die neben Effizianzorderungen auch die Frage umweltverträglicher Kältemittel aufgreift (Sköldberg & Rydén, 2014, S. 36). Höhere Jahresarbeitszahlen können auch mit größeren Heizkörpern oder Flächenheizungen erreicht werden. Das Investitionsverhalten der privaten Immobilienbesitzer wird hier nicht über das Ordnungsrecht gesteuert, sondern es wird auf die Wirkung steigender Strompreise gehofft (Sköldberg & Rydén, 2014, S. 36).

Fernwärme in Schweden gilt als natürliches Monopol und die Marktteilnehmer werden durch das Fernwärmegesetz geregelt (Nordic Council of Ministers, 2017, S. 36). Jedes Fernwärmeunternehmen muss daher sicherstellen, dass Informationen über die Preise für Fernwärme und für einen Anschluss an die Fernwärme für Kunden und die Öffentlichkeit leicht zugänglich sind. Die Energiemarktinspektion überwacht dies. Kunden können sich beim Fernwärmeamt beschweren (Nordic Council of Ministers, 2017, S. 36).

3.4 Auswirkungen auf den Wärmepreis

Der Vergleich der Preise, die Haushalte für Wärme zu zahlen haben, ist nicht einfach durchzuführen. Zwar existieren die im folgenden Abschnitt aufgeführten Preisvergleiche für Wärmeträger, die jedoch

nur wenig Aussagekraft haben. Während z.B. in Deutschland ca. jede zweite Wohnung mit Erdgas beheizt wird und der Erdgaspreis damit Bedeutung hat (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2015, S. 15), sind es in Schweden gerade einmal 1,8 % der Wohnungen.

In der Zeit zwischen 2007 und 2018 schwankte der Erdgaspreis für Haushalte inklusive aller Steuern und Abgaben in Schweden zwischen 11,3 Cent/kWh und 12,2 Cent/kWh und lag im zweiten Halbjahr 2018 bei 12,2 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. Gegenwärtig liegt der Preis in Schweden also 6 Cent/kWh höher als in Deutschland, was neben höheren Steuern und Abgaben auch auf einen 3 Cent/kWh höheren Einkaufspreis für Erdgas zurückzuführen ist (Eurostat, 2019). Ein Vergleich der Heizölpreise liegt für das Jahr 2014 vor. In Deutschland betrug er ca. 75 Cent/l, in Schweden ca. 1,22 €/l². Insoweit liegt die Vermutung nahe, dass Heizen in Schweden deutlich teurer sein müsste als in Deutschland. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Der Abgabepreis für Wärme lag in den schwedischen Fernwärmenetzen 2013 zwischen 6 und 10 Cent/kWh, in etwa der Hälfte der Netze unterhalb von 8 Cent/kWh (Sköldberg & Rydén, 2014, S. 43). Das Nordic Council of Ministers dokumentiert für das Jahr 2016 einen Mittelwert von ca. 7 Cent/kWh und eine Spreizung zwischen 5 und 8 Cent/kWh (Nordic Council of Ministers, 2017, S. 76). Während dieser Preis im direkten Kostenvergleich im europäischen Vergleich eher hoch ist (Energiforsk – Swedish Energy Research Centre, 2016, S. 20), stellt sich dies komplett anders dar, wenn das durchschnittliche Verbraucherpreisniveau als Korrekturfaktor einbezogen wird (Nordic Council of Ministers, 2017, S. 78). Gemessen an den Verbraucherpreisen (und damit letztlich am Einkommen) gehören die schwedischen Fernwärmepreise zu den günstigsten Europas.

Insbesondere die Biomassenutzung für Fernwärme wirkt kostendämpfend. Schon seit 1991 sind Forstressourcen wie Äste, Baumspitzen oder Unterholz, die in der Holz- und Papierindustrie nicht verwendbar sind, als Energieträger aufgrund der CO₂-Steuer kostengünstiger als Kohle (Ericsson, Huttunen, Nilsson & Svenningsson, 2004). Ihr Marktpreis liegt deutlich niedriger als der für Holzpellets (Ericsson et al., 2004).

3.5 Wohnen, Gas- und Wärmenetze als staatliche Dienstleistung

Bis 1990 befanden sich fast 100 % aller ca. 500 Wärmenetze in öffentlichem Eigentum. In Folge der Liberalisierung der Energiemärkte stiegen ab 1990 große Energieversorger in den Markt ein, wodurch der Anteil von Netzen in öffentlichem Eigentum bis 2004 auf ca. 60 % sank (Werner, 2017, S. 426).

Aufgrund von Vorschriften für öffentliche Unternehmen waren die öffentlichen Wärmeversorgungsunternehmen bis 1990 sämtlich gemeinnützig (Kooij et al., 2018, S. 58). Diese Vorschrift wurde im Zuge der Marktliberalisierung 1996 aufgehoben (Werner, 2017, S. 426). In Stockholm und Uppsala

² Vgl. <http://www.energycomment.de/heizoelpreise-in-europa/> vom 27.6.2019.

kam es durch die Betreiber privatisierter Wärmenetze in 2001 und 2004 zu drastischen Preiserhöhungen, was eine Debatte um Preisregulierungen auslöste und letztlich zum Beschluss eines Gesetzes zur Fernwärmeversorgung in 2008 führte, welches im Wesentlichen Transparenzregeln aufstellte (Werner, 2017, S. 426).

Auch zahlreiche Mietwohnungen in Schweden befinden sich im Besitz von Kommunen oder von kommunalen Unternehmen. Mietverträge enthalten meist eine Warmmiete, so dass das Interesse an sparsamem Energieverbrauch bei schwedischen Vermietern deutlich größer ist als bei deutschen Vermietern und das Investor-Nutzer-Dilemma kaum eine Rolle spielt. Die Tatsache, dass viele Kommunen sowohl Eigentum am lokalen Wärmeversorger wie auch an den versorgten Wohnungen halten führt aber dennoch dazu, dass mit Blick auf die reichlich vorhandenen und preiswerten Ressourcen an Biomasse das Interesse an der Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude teilweise gering ist. Denn die Wärmeversorger haben ihrerseits kein Interesse daran, dass der Wärmeabsatz zurückgeht.

Erdgasnetze spielen für die Energieversorgung in Schweden kaum eine Rolle. Das Erdgasnetz umfasst nur 600 km und erreicht ausschließlich die Regionen zwischen Malmö und Göteborg (Swedegas, 2019), was erklärt, dass nur 1,8 % der Wärmeversorgung auf Erdgas basiert. Zum Vergleich: das deutsche Erdgasnetz ist 530.000 km lang (FNB Gas - die Fernleitungsnetzbetreiber, 2019). In der ersten Phase der Planung der Nord Stream Erdgaspipeline war auch eine Überlandroute durch Schweden erwogen worden, woran Schweden allerdings kein Interesse hatte, um nicht unnötige Konkurrenz bei der Wärmeversorgung zu bekommen.

3.6 Information und Kommunikation

Die schwedische Energieagentur sammelt und verbreitet Fakten, Wissen und Analysen zur Energieversorgung und -nutzung in der schwedischen Gesellschaft (Swedish Energy Agency, 2019b). Die Agentur unterstützt die Wirtschaft bei der Steigerung der Energieeffizienz.

Die Schwedische Energieagentur fördert auch kommunale Energie- und Klimaberatungsstellen finanziell, die es in fast allen schwedischen Gemeinden gibt. Diese informieren und beraten zu Energieeffizienzmaßnahmen, Energieverbrauch und allen auf Klimaschutz bezogenen Fragen in Gebäuden und Haushalten (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 20). Durch 15 regionale Energiebüros wird die Arbeit der lokalen Energie- und Klimaberater koordiniert. Die Büros arbeiten regional mit Unternehmen, Landkreisen, Kommunen und anderen zusammen (Swedish Ministry of Environment and Energy, 2019, S. 20).

3.7 Controlling, Berichterstattung und Management der Transformation

Die offizielle Energiestatistik und die Verwaltung von Instrumenten wie dem Elektrizitätszertifikatssystem und dem EU-Emissionshandelssystem liegen in der Verantwortung der schwedischen Energieagentur (Swedish Energy Agency, 2019b).

Bisher entsteht jedoch nicht der Eindruck, dass wie z.B. im Fallbeispiel Kopenhagen (Clausen, Warncke & Schramm, 2019) der politische Prozess kontinuierlich aus der Entwicklung lernt, neue Ziele setzt und korrigierend eingreift. So wurden z.B. erst spät überhaupt Ziele für den Klimaschutz definiert (vgl. Abschnitt 3.1) und auch im Kontext der Einführung einer CO₂-Steuer konnten eindeutige Ziele und Strategien nicht identifiziert werden.

4 Erkenntnisse zur Governance der Transformation

4.1 Der Gegenstand der Transformation

Der Gegenstand der Transformation ist die Wärmeversorgung des Gebäudebestands in Schweden. Das ursprüngliche Ziel des Prozesses war, die hohe Importabhängigkeit des Landes von fossilen Energien zu reduzieren. Heute wird für 2045 die Klimaneutralität angestrebt.

Der **Gegenstand der Transformation** ist die Wärmeversorgung von Wohn- wie auch Nichtwohngebäuden.

Das **Kosten-Nutzen-Verhältnis** der Wärmeversorgung ist für das Gros der Kunden gut. Der Preis für Fernwärme bewegt sich - unter Berücksichtigung des hohen Niveaus der Konsumentenpreise – im unteren Bereich des Wärmepreises anderer EU-Staaten. Die etwa 3 % der Gebäude, die immer noch mit Erdgas oder Heizöl heizen, haben jedoch hohe Kosten in Kauf zu nehmen. Volkswirtschaftlich betrachtet ist die Systeminnovation im Wärmesektor auch für den schwedischen Staat positiv, denn es sank die Importabhängigkeit des schwedischen Energiesystems, wodurch die Importkosten für Erdgas und Öl gesenkt wurden.

Weiter sind eine hohe **Kompatibilität mit Verhaltensroutinen** sowie **Vertrauen in die Innovation** von Bedeutung für Akzeptanz und Verbreitung. Verhaltensroutinen mussten im Rahmen der Transformation kaum geändert werden. Der Wandel von den früher weit verbreiteten Ölheizungen hin zu den heute dominierenden Heizungen auf Basis von Fernwärme oder Wärmepumpe erforderte keine Anpassung in der Bedienung oder im Verhalten. Da die Techniken mit vergleichbaren, automatisierten Steuerungen und Funktionen einhergehen, ist über das Einstellen der Temperatur und das gelegentliche Rufen des Wartungsdienstes keine aktive Bedienung notwendig. Selbst die Entscheidung und Durchführung im Rahmen einer Neuinvestition in eine Heizungsanlage bleibt den schwedischen Mietern im Regelfall erspart, weil dies aufgrund der verbreiteten Warmmieten-Verträge zu den Aufgaben des Vermieters gehört³. Über **Unsicherheiten** in Bezug auf einzelne Heizungstechnologien im Veränderungsprozess liegen keine Informationen vor.

4.2 Pfadabhängigkeiten

Die **Pfadabhängigkeiten**, die die Nutzung von Ölheizungen bzw. die Nutzung von Kohle und Erdöl zum Betrieb von (Heiz-)Kraftwerken stabilisierten, wurden erst mit Energiesteuern und seit 1991 durch eine progressive CO₂-Steuer überwunden. In der gegenwärtigen Energiewirtschaft von Schweden manifestieren sich zwei neue Pfade, die als Folge der (teilweise) natürlich vorhandenen Energieressourcen interpretiert werden können. Dies ist zum einen der Pfad der Biomassenutzung, zum anderen die Nutzung von elektrischem Strom zum Heizen.

³ Schweden gehört mit einem Anteil von 64,1% Wohnungseigentümern genau wie Deutschland mit 51,4 % zu den europäischen Ländern mit einem eher hohen Anteil an Mietern (EUROSTAT, 2019).

Die Nutzung der in den schwedischen Wäldern reichlich vorhandenen Holzressourcen wurde über die hohen Steuern auf fossile Wettbewerbsenergien eingeleitet und hat sich durch den Bau zahlreicher Anlagen der Biomasse-KWK fest etabliert. Auch die in der schwedischen Stromversorgung aufgrund der Dominanz von Atom- und Wasserkraft reichlich vorhandene Grundlast, scheint einen neuen Pfad begründet zu haben. Mit Beginn des Betriebs der Atomkraftwerke in den 1970er Jahren begann sich die Elektroheizung zu etablieren, die seit einigen Jahren durch Heizungen mit Wärmepumpen abgelöst wird. Heute hat Schweden die weltweit höchste Dichte von Wärmepumpen (Jonasson, 2018, S. 3), auch zahlreiche Großwärmepumpen sind in Verwaltungsgebäuden, Krankenhäusern und auch im Einzelhandel im Einsatz (Jonasson, 2018, S. 9ff).

Sowohl der Pfad der Biomassenutzung wie auch der Pfad der Nutzung von Strom zu Heizzwecken hat sich durch die Investition in zahlreiche Anlagen (Biomasse-KWK, Biomasseheizungen für Einzelhäuser, Wärmepumpen) manifestiert und stabilisiert. Die gegenwärtige Wärmeversorgung von Schweden dürfte damit vergleichsweise unanfällig gegen Veränderungen – wie z.B. Knappheiten oder Preissteigerungen - auf den internationalen Energiemärkten sein.

Die **Kosten des Umbaus** des schwedischen 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, stabiler politischer und ökonomischer Rahmenbedingungen für viele private und unternehmerische Akteure oft als rentable Investitionen darstellten. Aufgrund der Tatsache, dass sich der Umbauprozess über Jahrzehnte hinzog, 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 empfundene Techniken (z.B. Wärmnetze, Wärmepumpen) 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 Schweden 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

Bis 1990 hatten die Kommunen mit den von ihnen aufgebauten KWK-Kraftwerken und Wärmernetzen eine wesentliche Position in der schwedischen Wärmeversorgung, genauso wie die Hersteller von Ölheizungen, mit denen die Mehrzahl der Einfamilienhäuser ausgerüstet war. Große Energieversorger leisteten zudem Widerstand gegen den Aufbau von Wärmernetzen.

Durch die in den 1990er Jahren erfolgende Liberalisierung des Strom- und Wärmemarktes gelangten ca. 40 % der Wärmernetze in das Eigentum von Energiekonzernen, die z.B. in Stockholm und Uppsala ihre neue Verfügungsgewalt zu drastischen Preiserhöhungen nutzten. Kleine Anbieter, Kooperativen oder Bioenergiedörfer führen in Schweden bisher nur ein Nischendasein (Kooij et al., 2018, S. 58). Die starke Präsenz großer Unternehmen in der Wärmeversorgung führte auf Basis der Grundannahme, Wärme sei ein natürliches Monopol, zu grundlegenden Transparenzregeln für den Wärmesektor, die im Fernwärmegesetz geregelt wurden.

Das seit 40 Jahren chaotische Hin und Her um den Atomausstieg wirft ein Schlaglicht auf wesentliche Differenzen zwischen den energiepolitischen Interessen einzelner Gruppen in der schwedischen Energiepolitik. Der langsame Aufbau von Windkraftkapazitäten könnte dabei ein Zeichen dafür sein, dass der Weiterbetrieb der Atomkraftwerke u.a. durch die Verzögerung der Erschließung neuer Stromerzeugungsmethoden abgesichert wird. Ähnliche Positionen spiegeln sich in dem politischen Ziel einer regenerativen Stromversorgung in 2040, die unverständlicher Weise unabhängig vom Weiterbetrieb der Atomkraftwerke als Ziel definiert wird.

5 Fazit

Die Systeminnovation Wärmeversorgung in Schweden 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 die große Mehrzahl der Einfamilienhäuser (Wärmepumpen und Biomasseheizungen), die nicht effizient an Wärmenetze angeschlossen werden können. Die Förderung der Diffusion nachhaltiger Lösungen basierte seit Beginn in den 1980er Jahren immer auch darauf, den neuen Lösungen durch lenkende Steuern und Abgaben auf fossile Lösungen zur Wirtschaftlichkeit zu verhelfen.

Dadurch konnten staatliche Subventionen begrenzt werden. Reichlich vorhandene Biomasse aus Wäldern, wie auch das große Angebot an Strom aus Wasser- und Atomkraft, stabilisierten eine Wärmeversorgung auf Basis der beiden dominierenden Energieträger Biomasse und Strom.

Tabelle 1: Maßnahmen zur Entwicklung der Wärmeversorgung in Schweden

Förderung der Entstehung von Innovationen und Nischen	Destabilisierung und Rückbau nicht-nachhaltiger Systeme
<p>C1: Forschung und Entwicklung, Wissen</p> <p>Intensive Forschung zur Nutzung von Bioenergie fand zwar statt, der Schwerpunkt der Bioenergienutzung entwickelte sich aber in anderen (low-tech) Technologien der Biomasseverbrennung.</p>	<p>D1: Ordnungsrecht, Steuern und Abgaben</p> <p>Die CO₂-Steuer stellte das zentrale Instrument dar, um Biomasse und Wärmepumpen gegenüber Ölheizungen und Erdölkraftwerken konkurrenzfähig zu machen und letztere weitgehend aus dem Markt zu drängen.</p>
<p>C2: Pilotanwendungen und Pilotmärkte</p> <p>Insbesondere der Markteintritt von Biomasse-KWK wurde gefördert. Intensiv genutzt wurde das Instrument der Beschaffungsgruppen zur Beschleunigung der Diffusion von Effizienztechnologien rund um die Bau- und Wohnungswirtschaft.</p>	<p>D2: Grundsätzlich neue Regeln</p> <p>Die sich aus dem Gemeinderecht ergebende implizite Regel der Gemeinnützigkeit der Wärmeversorgung wurde im Zuge der Liberalisierung des Wärme-marktes abgeschafft.</p>
<p>C3: Kosten-Nutzen Verhältnis</p> <p>Ein günstiges Kosten-Nutzen Verhältnis für Wärme aus Biomasse sowie Wärmegewinnung aus Abwärme und Umgebungswärme durch strombetriebene Wärmepumpen wurde durch die CO₂-Steuer sichergestellt.</p>	<p>D3: Reduzierung von Subventionen und F&E</p> <p>Über Subventionen zu fossiler Energie und Atomkraft liegen keine Informationen vor. 2011 betonte die Wirtschaftsministerin, dass der Bau neuer Atomkraftwerke strikt ohne Subventionierung erfolgen und sich allein aus dem Stromverkauf finanzieren müsse (Radio Sweden, 2011).</p>
<p>C4: Gründungsförderung</p> <p>Es liegen keine Informationen vor.</p>	<p>D4: Veränderungen in Netzwerkstrukturen</p> <p>Es liegen keine Informationen vor.</p>
<p>C5: Finanzierung</p> <p>Die Finanzierung des Wandels erfolgte über begrenzte Forschungsmittel, Zuschüsse für den Bau erster Biomasse-KWK-Kraftwerke, die Förderung von</p>	

Beschaffungsgruppen sowie über Marktkräfte, durch die rentable Investitionsmittel für den Aufbau neuer Wärmeversorgungsstrukturen auf Basis von Biomasse und Wärmepumpen freigesetzt wurden.	
C6: Legitimität und Unterstützung Das Referendum über den Atomausstieg von 1980 verschaffte diesem Legitimität, führte aber nie zu Konsequenzen. Die Legitimität der meisten anderen Maßnahmen basiert auf wechselnden, teils aber sehr großen parlamentarischen Mehrheiten.	
C7: Ziele und Einfluss auf Orientierungen Klare Zielsetzungen für Umweltschutz in der Energiewirtschaft sowie Klimaschutz erfolgten erst 2009.	
C8: Erbringung staatlicher Dienstleistungen Zahlreiche schwedische Kommunen bauten in den 1960er bis 1980er Jahren öffentliche Strom- und Wärmeversorgungsstrukturen auf, Als Folge der Marktliberalisierung wurden ca. 40 % dieser Netze später privatisiert.	

Die Entwicklung der Wärmeversorgung in Schweden 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 konkurrenzfähig sind und so ein **gutes Kosten-Nutzen Verhältnis** aufweisen. Zum anderen ist 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.

Im Gegensatz zum Fall der dänischen Wärmeversorgung, deren Erfolg nicht zuletzt auf ein gutes **Management der Transformation** zurückgeführt wurde (Clausen & Beucker, 2019), ist ein solcher Zusammenhang in Schweden kaum zu erkennen. Vielmehr gab es zunächst eine weniger klare Zielsetzung, geforscht wurde an Technologien, die hinterher kaum Anwendung fanden, und das in Dänemark erfolgreiche Prinzip der Gemeinnützigkeit von Wärmenetzbetreibern wurde zugunsten der Liberalisierung des Marktes abgeschafft. Dennoch erzielte Schweden beeindruckende Fortschritte bei der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Im Kern lassen sie sich auf den frühen Zeitpunkt der Einführung der CO₂-Steuer sowie auf ihre Höhe zurückführen. Das Schlüsselement CO₂-Steuer wurde durch eine kluge Förderung der Diffusion ausgewählter Schlüsseltechnologien durch Förde-

rung von Pilotanwendungen sowie durch das international wenig übliche Instrument der Beschaffungsgruppen begleitet. Weitere Instrumente zur Destabilisierung des fossilen Energiesystems wurden nicht eingesetzt.

Eine **Übertragbarkeit** der schwedischen Erfahrungen ist in Bezug auf folgende Punkte gegeben. 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 Deutschland in Gang kommende Debatte um einen CO₂-Preis anschlussfähig. Abhängig von der Gestaltung des Systems von Steuern und Abgaben würde dadurch eine Reihe von Wärmequellen auch in Deutschland wirtschaftlich nutzbar. Hierzu gehören:

- die Nutzung industrieller Abwärme mit niedrigem Temperaturniveau über Großwärmepumpen nach schwedischem Vorbild,
- die Nutzung großer Solarthermieranlagen, die sich in Schweden allerdings bisher nicht durchsetzen konnte,
- die effektive Erschließung nachhaltiger Biomassepotenziale wie z.B. Stroh oder Waldrestholz, die in Deutschland aber schon in großem Umfang genutzt werden.

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 Konkurrenzfähigkeit, sondern teilweise auch vom Vorhandensein von Fernwärmenetzen ab. Sowohl das System von Steuern und Abgaben wie auch eine gut ausgebauten Infrastruktur der Fernwärmenetze werden so als Voraussetzungen der Verbreiterung der Basis an nutzbaren Wärmequellen erkennbar.

6 Quellen

- Ackva, J. & Hoppe, J. (2018). *The Carbon Tax in Sweden. Fact sheet*. Berlin. Zugriff am 25.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.euki.de/wp-content/uploads/2018/11/fact-sheet-carbontaxe.pdf>
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2015). *Wie heizt Deutschland? BDEW-Studie zum Heizungsmarkt*. Berlin. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-Broschuere-Wie-heizt-Deutschland-2015.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>
- Clausen, J. & Beucker, S. (2019). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Wärmeversorgung Dänemark*. Berlin: Borderstep Institut. Zugriff am 20.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/06/W%C3%A4rmeversorgung-Daenemark-Go-19-6-2019.pdf>
- Clausen, J. & Fichter, K. (2019). The diffusion of environmental product and service innovations: Driving and inhibiting factors. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 64–95. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.003>
- Clausen, J., Warnecke, N. & Schramm, S. (2019). *Verbreitung radikaler Systeminnovationen. Fallbeispiel Fahrradstadt Kopenhagen*. Berlin. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2019/06/Fahrradstadt-Kopenhagen-Go20-06-2019-1.pdf>
- Cruciani, M. (2016). *The energy transition in Sweden*. Paris. Zugriff am 27.6.2019. Verfügbar unter: https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/etude_suede_gd_ok-db2_complet.pdf
- Energiforsk – Swedish Energy Research Centre. (2016). *European District Heating Price Series*. Stockholm. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21926/european-district-heating-price-series-energiforskrapport-2016-316.pdf>
- Ericsson, K., Huttunen, S., Nilsson, L. J. & Svenningsson, P. (2004). Bioenergy policy and market development in Finland and Sweden. *Energy Policy*, 32(15), 1707–1721. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00161-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00161-7)
- European Heat Pump Association. (2017). *Large Scale Heat Pumps in Europe*. Brüssel. Zugriff am 28.6.2019. Verfügbar unter: https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03._Media/03.02_Studies_and_reports/Large_heat_pumps_in_Europe_MDN_II_final4_small.pdf
- 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=nrp_pc_202&lang=en
- EUROSTAT. (2019, Juli 16). Distribution of population by tenure status, type of household and income group - EU-SILC survey. Zugriff am 15.8.2019. Verfügbar unter: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Fichter, K. & Clausen, J. (2013). *Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen*. Marburg: Metropolis.

- FNB Gas - die Fernleitungsnetzbetreiber. (2019). Zahlen und Fakten. Zugriff am 3.7.2019. Verfügbar unter: <https://www.fnb-gas.de/de/fernleitungsnetze-/zahlen-und-fakten/zahlen-und-fakten.html>
- Gradin, R. (1984). *Vattenfall during 75 years (Vattenfall under 75 år)*. Stockholm: Swedish State Power Board.
- Haugbølle, K. & Vogelius, P. (2016). *Evaluating BeBo – the Swedish procurement group for housing*. Aalborg. Zugriff am 10.7.2018. Verfügbar unter: <https://sbi.dk/Assets/Evaluating-BeBo-the-Swedish-procurement-group-for-housing/SBi-2016-32n.pdf>
- Jonasson, P. (2018, Mai 22). The heta pump. A swedish success story! To be continued. Gehalten auf der Nordic Clean Energy Week, Malmö. Zugriff am 28.6.2019. Verfügbar unter: <https://heat-pumpingtechnologies.org/publications/the-heat-pump-a-swedish-success-story-to-be-continued/>
- Kooij, H.-J., Oteman, M., Veenman, S., Sperling, K., Magnusson, D., Palm, J. et al. (2018). Between grassroots and treetops: Community power and institutional dependence in the renewable energy sector in Denmark, Sweden and the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 37, 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.019>
- Nordhaus, W. D. (1995). *The Swedish Dilemma - Nuclear Energy v. the Environment*. Yale. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:27054353
- Nordic Council of Ministers. (2017). *Nordic heating and cooling. Nordic approach to EU's Heating and Cooling Strategy*. Kopenhagen. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1098961/FULLTEXT01.pdf>
- Radio Sweden. (2011, Juni 19). Unclear on state subsidies for nuclear power. Radio Sweden.
- Shishlov, I., Morel, R. & Bellassen, V. (2016). Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period. *Climate Policy*, 16(6), 768–782. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1164658>
- Sköldberg, H. & Rydén, B. (2014). *The heating market in Sweden - an overall view*. Lund und Halmstad. Zugriff am 26.6.2019. Verfügbar unter: http://www.varmemarknad.se/pdf/The_heating_market_in_Sweden_141030.pdf
- Swedegas. (2019). Gas grid fact file. Zugriff am 3.7.2019. Verfügbar unter: https://www.swedegas.com/Gas_grid/gas_grid
- Swedish Energy Agency. (2019a). *Energy in Sweden Facts and Figures 2019*. Stockholm. Zugriff am 25.6.2019. Verfügbar unter: <http://www.energimyndigheten.se/en/facts-and-figures/statistics/>
- Swedish Energy Agency. (2019b). Swedish Energy Agency - About us. Zugriff am 2.7.2019. Verfügbar unter: <http://www.energimyndigheten.se/en/about-us/>
- Swedish Ministry of Environment and Energy. (2019). *Sweden's draft integrated national energy and climate plan*. Stockholm. Zugriff am 27.6.2019. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/sweden_draftnecp.pdf
- Wahlroos, M., Pärssinen, M., Manner, J. & Syri, S. (2017). Utilizing data center waste heat in district heating – Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks. *Energy*, 140, 1228–1238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.078>

- Wahlroos, M., Pärssinen, M., Rinne, S., Syri, S. & Manner, J. (2018). Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1749–1764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.058>
- Werner, S. (2017). District heating and cooling in Sweden. *Energy*, 126, 419–429. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.052>
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: design and methods* (5. Auflage). Los Angeles: SAGE.