

Systeminnovationen
für Mobilität und Energie
in der Metropole
Transformation der
Wärmeversorgung:
regenerativ,
vernetzt,
multivalent

V ruhrvalley
sime



Institut für Innovationsforschung
und -management (IFI)
Buscheyplatz 13
44801 Bochum



Systeminnovationen für Mobilität und Energie in der Metropole

Transformation der Wärmeversorgung: regenerativ, vernetzt, multivalent

Hintergrund: Orientierung für ein funktionsfähiges Energiesystem der Zukunft

Im Rahmen der FH-Impuls-Partnerschaft ruhrvalley wird in verschiedenen Technologie- und Anwendungsbereichen an neuen **Lösungen für die Energieversorgung und Mobilität von morgen** gearbeitet. Unser gemeinsames Ziel ist es dabei, dass die vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten nicht losgelöst voneinander entfaltet werden, sondern jeweils wie Puzzleteile ineinandergreifen. Dabei liegen – um im Bild zu bleiben – auch bereits eine ganze Reihe von Puzzleteilen für das regionale Energie- und Mobilitätssystem im Ruhrgebiet auf dem Tisch, die mitunter von unterschiedlichen Akteuren entwickelt, erprobt und stellenweise nachhaltig etabliert werden konnten. Damit die einzelnen Bestandteile des Gesamtsystems zueinander passen, bedarf es allerdings der Abstimmung, unter welchen Bedingungen sie funktionsfähig miteinander verbunden werden können.

Vor diesem Hintergrund wird immer wieder neu versucht, **das dafür notwendige Orientierungswissen bereitzustellen**. Sogenannte „Zukunftsforscher“ meinen, uns das Gesamtbild des Wünschbaren oder angeblich Wahrscheinlichen vollständig vor Augen führen zu können. Groß angelegte empirische Untersuchungen, wie zuletzt etwa die „dena-Leitstudie Integrierte Energiewende“ extrapolieren anhand normativ gesetzter Annahmen, wie sich die Anzahl und Beschaffenheit der Puzzleteile bis ins Jahr 2050 entwickeln wird, was das gesamte Puzzle kosten wird, welche Emissionen damit verbunden sein werden und so weiter. Auch wenn diese Analysen durchaus wichtige Er-

kenntnisse für Entscheidungen von Politik und Unternehmen liefern, bleibt auf der Sachzielebene zumeist unklar, wie die Energie- und Mobilitätswende konkret gestaltet werden kann. Weil Rahmenbedingungen lokal sehr unterschiedlich ausgestaltet sind, wurden vermehrt kleinräumige Initiativen gestartet, um in der Fläche brachliegende Transformationspotenziale zu aktivieren. Mit inkrementellen Innovationen sind die ambitionierten Klimaziele jedoch nicht erreichbar. Im ruhrvalley-Projekt „Systeminnovationen für Mobilität und Energie in der Metropole (SiME)“ verfolgen wir daher einen eigenen, explorativen Forschungs- und Gestaltungsansatz. Für mehrere Innovationsfelder werden in diesem Zusammenhang auf Basis eines klaren systemtheoretischen Bezugsrahmens Fallstudien mit wichtigen Akteuren des regionalen Innovationsgeschehens rekonstruiert, um entsprechende Gestaltungsimpulse zu geben.

In dieser Broschüre geht es um die **Transformation der Wärmeversorgung** hin zu multivalenten und vernetzten Systemen, die verstärkt aus regenerativen Energiequellen gespeist werden. Die Beschäftigung mit unserer zukünftigen Wärmeversorgung gelingt jenseits quantitativer Prognostik, indem wir Menschen, die bereits heute mutig neue Wege beschreiten, zu Wort kommen lassen. Ihre Erfahrungen und dezidierten Zukunftspläne, die wir Ihnen hier vorstellen wollen, bieten Impulse als Inspiration zur Suche nach womöglich überraschenden Anknüpfungspunkten für gemeinsame Innovationsaktivitäten im ruhrvalley.

Herausforderungen und Status quo der Wärmewende

Anders als die Stromwende, **kommt die Transformation der Wärmeversorgung kaum voran**. Stieg der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch von rund 2 % im Jahr 1990 auf 14 % im Jahr 2012 kontinuierlich an, stagniert er seitdem auf diesem Niveau. Dabei wird der Großteil erneuerbar erzeugter Wärme aus der Verbrennung fester Biomasse insbesondere der privaten Haushalte gewonnen (vgl. Abb. 1). Durch Umweltwärme, Solar- und Geothermie können bisher nur 2 % der benötigten Wärmenergie erzeugt werden. Erdgas (46 %) und Erdöl (15 %) sind weiterhin die dominierenden Energieträger.¹ Auch wenn aufgrund von Effizienzsteigerungen der für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme aufgewendete Anteil der Energie rückläufig ist, macht er auch heute immer noch knapp die Hälfte des Endenergieverbrauchs aus und ist damit der größte Verbrauchsbereich vor Strom und dem Verkehr.² Die meiste Wärmenergie verbrauchen die privaten Haushalte (44 %). Es folgt die Industrie (38 %), die anteilig vor allem Prozesswärme benötigt.³

Neben einer Intensivierung der Bemühungen zur weiteren Einsparung beim Wärmeverbrauch rücken vor diesem Hintergrund aktuell **andere Handlungsfelder zur Transformation der Wärmeversorgung** in den Vordergrund. Dazu zählt etwa die Dekarbonisierung der Prozesswärme, die sich gerade auf höheren Temperaturniveaus in vielen Anwendungsbereichen der energieintensiven Industrie nicht einfach elektrifizieren oder anderweitig substituieren lässt. Das Wärmesystem kann hier durch die direkte Nutzung von Gasen aus Power-to-Gas-Anlagen eine wichtige Rolle als Abnehmer und Speicher der Energie aus überschüssigem Wind- und Solarstrom einnehmen. Um weitere erneuerbare Erzeuger in das Wärmesystem integrieren zu können, müssen außerdem bestehende Fernwärmenetze weiterentwickelt, neue „LowEx“-Nahwärmenetze mit niedrigeren Vorlauftemperaturen aufgebaut und Groß- sowie Langzeitwärmespeicher installiert werden. Da Nutzungszeiten der entsprechenden Anlagentechnik eher in Dekaden bemessen werden, steht ein **äußerst langwieriger Umbauprozess** bevor.

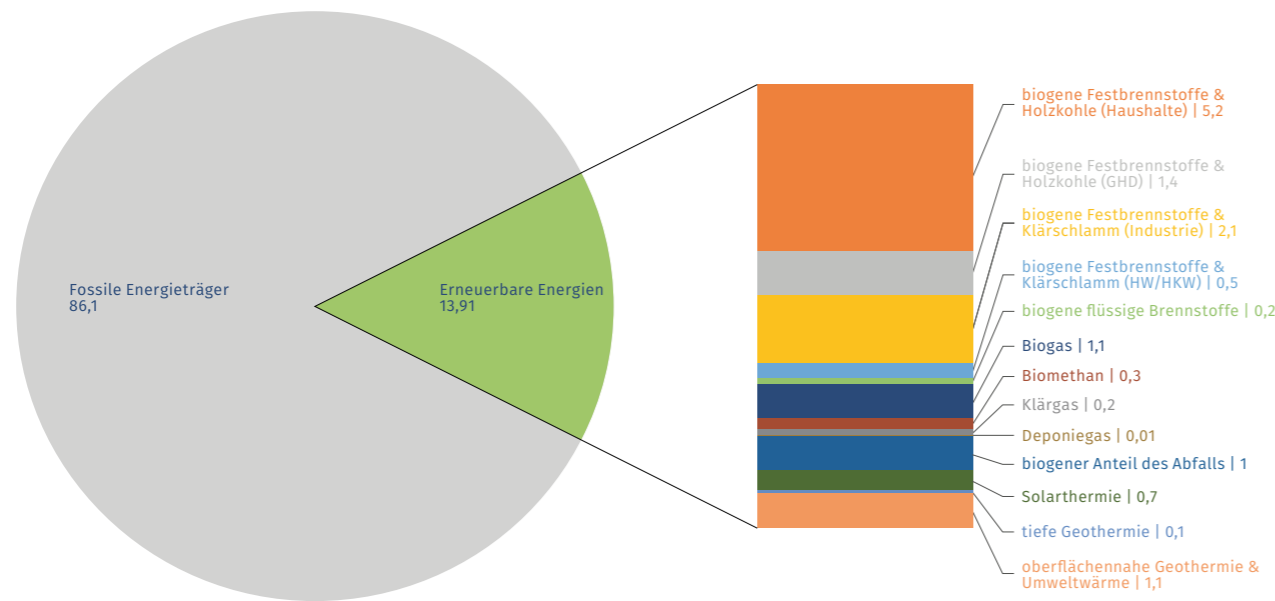


Abb. 1:

Anteile am Endenergieverbrauch für Wärme aus erneuerbaren Energien im Jahr 2018 in % (Insgesamt 170.876 GWh, Anteil ohne Strom für Wärme)⁴

Szenario-Studien: Orientierungshilfe ohne Gestaltungsanspruch für die Wärmewende?

In der laufenden Diskussion zur Gestaltung der Energiesysteme der Zukunft existieren **ganz unterschiedliche Positionen, Interessen und Einschätzungen**. Dabei werden hauptsächlich Entwicklungsszenarien diskutiert, die kaum auf die regional sehr unterschiedlichen Anbieter- und Nachfragestrukturen abstellen und meist einzelne Facetten des nationalen Gesamtsystems betonen. Erst langsam setzt sich die Erkenntnis durch, dass ein Großteil des Energiebedarfs und der Kosten auf den Wärmesektor entfallen. Zunächst wurden in diesem Kontext ganz überwiegend Studien zur Untersuchung der Auswirkung von Effizienzsteigerungsmaßnahmen (z.B. Dämmung der Gebäudehülle, effiziente Haus- und Heiztechnik, Verbrauchsminderungen) als wesentlicher Hebel für die Transformation des Wärmeversorgungssystems betrachtet. Eine Reihe von Studien zeigt allerdings auch, dass reine Effizienzmaßnahmen nicht zum Erreichen der anvisierten Ausbau- und Reduktionsziele führen werden.⁵ Folgerichtig wurden die Bemühungen intensiviert, einzelne technische Potenziale zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien zu analysieren. Dazu gehören vor allem Biomasse-, Solar- und Geothermie, Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) sowie die Elektrifizierung des Wärmesektors (Power-to-Heat), die als relevante Entwicklungstrends identifiziert wurden. Effizienter fossiler Wärmegewinnung aus Erdgas wird in den meisten Studien eine wichtige Brückenfunktion zur Absicherung der Versorgungssicherheit bei hohen Anteilen fluktuierender Energiequellen zugeschrieben.

Hinsichtlich der Deskriptoren **referenzieren die meisten Studien und Szenarien vor allem auf politisch und regulatorisch avisierte Zielzustände** (vgl. Abb. 2), die sie um gewünschte oder durch Variation von Modellvariablen wahrscheinliche Alternativszenarien ergänzen.⁶ Zu den nationalen Zielmarken zählen beispielsweise die Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 80 % bis 2050 (ggü. 1990), die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch um 18 % (bis 2020) bzw. 60 % (bis 2050), die Senkung des Primärenergieverbrauchs ggü. 2008 um 20 % bis zum Jahr 2020 bzw. 50 % bis 2050 und die Senkung des Wärmebedarfs im Gebäudebestand um 20 % bis 2020. Die energetische Gebäudesanierungsrate soll sich um 2 % pro Jahr erhöhen. Außerdem sieht das Energiekonzept der Bundesregierung eine Erhöhung des KWK-Anteils um 25 % bis 2020 vor.

	2020	2050
Treibhausgasemissionen		
Senkung ggü. 1990	-40%	-80%
Erneuerbare Energien		
Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	18%	60%
Anteil am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte	14%	-
Effizienz		
Senkung des Primärenergieverbrauchs ggü. 2008	-20%	-50%
Energetische Sanierungsrate pro Jahr		2%
Gebäudebestand		
Senkung des Primärenergiebedarfs	-	-80%
Wärmebedarf	-20%	-
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)		
Steigerung der Stromerzeugung aus KWK	25%	-

Dieser Marschrichtung folgend, fokussieren die diversen Szenario-Studien jeweils unterschiedliche Zielsetzungen, wie die Reduktion von klimaschädlichen CO₂-Emissionen⁸, den Ausbau von erneuerbaren Energien⁹ und die Minderung des Energieverbrauchs¹⁰. Weitere relevante Untersuchungsfelder sind Technologie-, Flexibilitäts- und Sektorkopplungspotenziale¹¹, Infrastruktur (v.a. Netzausbau)¹² sowie Transformationskosten¹³. Die Betrachtungszeiträume der Projektionen variieren entsprechend der Zielmarken zwischen 2030 und 2060. **Im Ergebnis kommen alle Studien zu der Schlussfolgerung, dass die bisherigen Maßnahmen zur Erreichung der genannten Ziele nicht ausreichen und erhebliche zusätzliche Bemühungen und Investitionen in einem relativ kurzen Zeitraum notwendig sein werden.**

Herrscht auf der einen Seite ein relativ breiter Konsens über die Defizite des Transformationsprozesses bis heute, weisen zentrale auf die zukünftige Entwicklung gerichtete Parameter mitunter **gewichtige Unterschiede** auf:

- **Entwicklung des Energieverbrauchs:** Zwar besteht Einigkeit darüber, dass der Energieverbrauch bis zum Jahr 2050 zurückgeht. Die Stärke unterscheidet sich allerdings in den betrachteten Studien deutlich, wobei der niedrigste Bedarf an Wärme und Kälte bei 500 TWh¹⁴ und der höchste bei 1.111 TWh¹⁵ liegt (Gesamtwärme- und Kältebedarf im Jahr 2016: 1.374 TWh¹⁶). Die Einsparpotenziale werden dabei weiterhin vor allem im Gebäudebereich gesehen. Um die CO₂-Reduktionsziele erreichen zu können, wird die Dämmung von Gebäuden als eine wesentliche Stellschraube betrachtet. Die Studien gehen von Senkungspotenzialen für Raumwärme und Warmwasser um bis zu 60 % aus.¹⁷ Bei der Prozesswärme, die überwiegend für die Industrie benötigt wird, reicht die Kreativität nur zur Prognose von wesentlich geringeren Einsparungen zwischen 20 %¹⁸ und 30 %¹⁹.
- **Zukünftiger Energiemix:** Für die Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele gehen die meisten Studien davon aus, dass der zukünftige Wärmebedarf hauptsächlich durch regenerative Energiequellen gedeckt werden muss. Dabei spielen Wärmepumpen (mit regenerativem Strom betrieben), Solarthermie und Wasserstoff bzw. Methan eine übergeordnete Rolle für

Abb. 2:

Zentrale energie- und klimapolitische Ziele der Bundesregierung mit Bezug zur Wärmewende⁷

private Haushalte und den GHD-Sektor. Der Industrie-Sektor wird nach Einschätzung der Studien auch zukünftig primär durch Erdgas und KWK-Wärme versorgt. Im zukünftigen Wärme- markt werden sowohl Stein- und Braunkohle wie auch Heiz- öl konstant an Bedeutung verlieren bzw. komplett ersetzt. Die vorliegenden Studien sind sich im Hinblick auf die Rolle von Erdgas allerdings uneinig. Eine Mehrzahl nimmt zwar an, dass die Energiequelle zur Absicherung der Residuallast im zukünftigen Energiemix zunächst noch an Bedeutung gewinnt. Allerdings wird von einigen Studien ein unterschiedlich hoher Grad der Konversion in Bioerdgas unterstellt. Es ergeben sich zudem ambivalente Einschätzungen über die Möglichkeit der Erreichung der CO₂-Reduktionsziele unter den aktuellen Rahmenbedingungen.²⁰

• **Kosten der Wärmewende:** An dieser Stelle gehen die Ergebnisse der Studien auseinander, sie unterscheiden sich deutlich in Bezug auf Abgrenzung, Definition und Darstellung der Kosten. Einige Szenarien betrachten allein die Differenzkosten eines zukünftigen Energiesystems, andere die Gesamtkosten des Transformationsprozesses und wieder andere berechnen allein den Investitionsbedarf für den Ausbau erneuerbarer Energien.²¹ Bei ausschließlicher Betrachtung der Differenzkosten, wird festgestellt, dass die Transition zu erneuerbarer Wärme keine erheblichen Mehrkosten verursacht.²² Bei Transformations- pfaden, in denen die Preise für fossile Energie relativ konstant bleiben, ergibt sich eine im Vergleich ungünstigere Kosten- relation für ein auf regenerativen Energien basierendes Wärmesystem.²³

• **Ausbau erneuerbarer Energien:** Obwohl in allen untersuchten Studien von einem Ausbau regenerativer Energien im Wärme- sektor ausgegangen wird, unterscheidet sich das Ausmaß des Zubaus stark. Die Entwicklungsszenarien kommen auf Zubau- Raten zwischen 15 % und 51 % an erneuerbarer Wärme (ohne EE-Strom).²⁴ Wird in den Studien die Wärmeerzeugung aus re- generativem Strom mit einbezogen, so erhöht sich der Anteil auf bis zu 100 % in der Endausbaustufe.²⁵ Der Anteil erneuer- barer Energien im Wärmesektor hängt stark von dem Verhältnis zwischen der angenommenen Auswirkung von Effizienzmaß- nahmen und dem Ausbau von EE-Wärme auf die Zielerreichung ab. Je nach Szenario beträgt das Verhältnis zwischen Ausbau erneuerbarer Wärme und Effizienzmaßnahmen im Extremfall 80 % (Effizienzmaßnahmen) zu 20 % (erneuerbare Energien).²⁶

• **Rolle von Energienetzen und Speichern:** Die zukünftige Bedeu- tung von Energienetzen für die Wärmeversorgung wird kon- trovers diskutiert. Der Ausbau hängt stark von dem gewählten Transformationspfad ab. Wird von einer Zunahme zentraler Wärmeversorgung durch z.B. Tiefengeothermie, Industrie- abwärme oder großen Solarthermie-Anlagen ausgegangen, so ist auch der Ausbau der Wärmenetze eine zentrale Stellgröße in den Szenarien. Andere Studien wiederum halten vor allem die großen Hochtemperatur-Fernwärmenetze für obsolet.

• **Bedeutung der KWK:** Laut den meisten Studien ist unklar, in- wie weit Kraft-Wärme-Kopplung eine entscheidende Rolle im zukünftigen Wärmesystem spielen wird. Das von der Bundes- regierung gesetzte Ziel, bis 2020 einen Anteil von 25 % zu er- zielen, wird in allen betrachteten Szenarien verfehlt. Es bleibt offen, wie die Steigerung des KWK-Anteils mit anderen Zielen, wie dem Ausbau von erneuerbaren Energien und der Reduktion von Treibhausgasen in Einklang gebracht werden kann. Einige Studien gehen von einer sinkenden Rolle der gekoppelten Energiebereitstellung aus. Andere verweisen darauf, dass, soweit erneuerbare Energien eingesetzt werden, KWK-Anlagen auch in Zukunft eine geeignete komplementäre Technologie- option darstellen.²⁷ Allerdings stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen bei zunehmenden Antei- len an Wärme aus Geothermie, Solarthermie und Biomasse. Die Elektrifizierung des Wärmemarktes könnte ebenfalls die Auslastung von KWK-Anlagen verringern und langfristig zu geringerer Wärmeproduktion aus KWK führen.

Der Vergleich der zentralen Parameter zeigt, dass **Annahmen und Einflussgrößen bei den betrachteten Szenarien in Bezug auf die Wärmeversorgung der Zukunft zum Teil stark variieren**, während zugleich die politischen Formalziele gesamtgesellschaftlich und in der Wissenschaft als Leitlinie weitgehend akzeptiert zu sein scheinen. Deutlich wird indes, dass trotz unterschiedlicher Ent- wicklungspfade der Blick auf die Umsetzungsbarrieren und Wider- stände sowie eine ganzheitliche Systemorientierung unter Be- rücksichtigung verschiedener Akteursperspektiven in Prognose- Modellen äußerst schwer fällt. Damit konturiert sich bereits der Auftrag für einen an der Gestaltung der regionalen Wärmeversor- gung interessierten explorativen empirischen Forschungsansatz.

Systemtheoretischer Bezugsrahmen: Deskription und Analyse von sozio-cyber-physischen Systeminnovationen

Insgesamt bleibt die breite Umsetzung von Systeminnovationen im Energiesektor bisher deutlich hinter den Erwartungen zurück. Die Gründe dafür sind vielschichtig, lassen sich jedoch in vielen Fällen darauf zurückführen, dass es nur unzureichend gelingt, die für die spätere Anwendung relevanten Rahmenbedingungen in ausreichendem Maße schon bei der Systemkonzeption und im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen. Hierzu zählen neben neuestem Wissen und entwickelten Technologien, die andern- orts bereits nutzbar zur Verfügung stehen, auch Marktbedingun- gen bzw. spezifische Wertschöpfungskonfigurationen am Markt, andere ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen, individuelle Nutzungsgewohnheiten der Anwender sowie der po- litische und regulatorische Rahmen.

Um einen ganzheitlichen Blick auf solche Innovationen zu er- möglichen, dabei aber die Komplexität auf ein beherrschbares Niveau zu reduzieren, wurde im SiME-Projekt ein systemtheo- retischer **Bezugsrahmen zur Deskription und Analyse** entwickelt (vgl. Abb. 3).

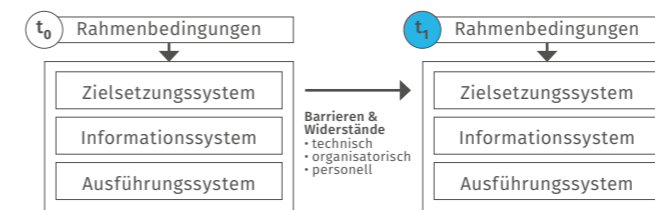


Abb. 3: Systemtheoretischer Bezugsrahmen (eigene Darstellung)

Der systemtheoretische Bezugsrahmen enthält zwei sich ergänzende Perspektiven:

Zunächst gilt es in der **Architektursicht** zum einen zu berück- sichtigen, dass zum Energiesystem der Metropole ganz ent- scheidend auch der Mensch als Nutzer gehört, also immer ein **soziotechnisches System** zu beschreiben ist. Zum anderen sorgt die Digitalisierung dafür, dass über das Internet vernetzte Sys- teme zunehmend (teil-)automatisiert als sogenannte **cyberphy- sische Systemverbünde** funktionieren. Diese Charakteristik bilden wir modellhaft ab, indem wir in Anlehnung an Günther Ropohls Allgemeine Technologie²⁸ das Gesamtsystem und seine Subsys- teme jeweils als Handlungssystem mit drei funktionalen Teil- systemen begreifen: (1) Im Zielsetzungssystem wird festgelegt, nach welchen Zielen sich das System verhält, welche Abhängig- keiten zwischen den Zielen bestehen und wie bei Zielkonflikten zu entscheiden ist. Das (2) Informationssystem vermittelt zwi- schen dem, was im Zielsetzungssystem als handlungsleitend be- stimmt wurde und dem (3) physikalischen System, das konkrete Handlungen ausführt. Mit diesem Ansatz lassen sich metropoli- tane Energiesysteme mit ihren funktionalen, strukturalen und hierarchischen Interdependenzen ganzheitlich erfassen.

Um den Gestaltungsanspruch des Ansatzes einzulösen, reicht es allerdings nicht aus, transformierte bzw. zu transformierende Systeme zu modellieren. Erst die **Prozesssicht** ermöglicht die Beschäftigung mit den – für Innovationsprozesse konstitutiven – Barrieren „auf dem Weg dorthin“ und den Möglichkeiten, mit diesen im Rahmen des Innovationsmanagements konstruktiv umzugehen.

Dieser Bezugsrahmen bildet die Struktur für die Beschreibung der empirischen Forschungsergebnisse im folgenden Abschnitt.

Fallstudienanalyse: Quo vadis Metropole Ruhr?

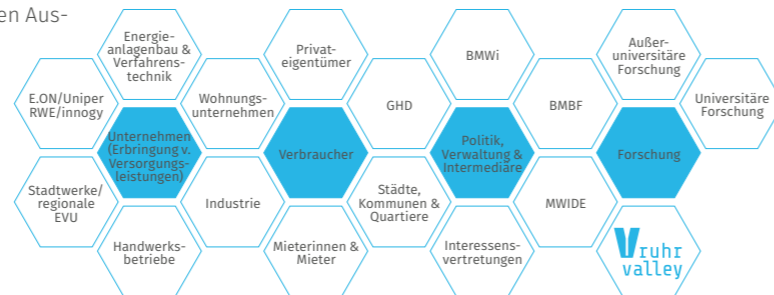
Die von Montan- und Großindustrie bestimmte Vergangenheit des Ruhrgebiets prägt auch wesentlich den Charakter des regionalen Wärmeversorgungssystems. Rund ein Viertel der Treibhausgase wird auch heute durch Großemittenten verursacht.²⁹ Im Zeitverlauf ist der Ausstoß von CO₂ in den vergangenen 30 Jahren in der Metropole Ruhr nur leicht zurückgegangen.³⁰ Der vorhandene Kraftwerkspark ist zu über 90 % auf den Einsatz von Steinkohle und daraus gewonnener Gase fokussiert. Insgesamt ist etwa 21 % der in Deutschland installierten fossilen Kraftwerkskapazität in der Region angesiedelt. Um die an wenigen Orten anfallende Wärme aus Kraftwerken und Industrieprozessen für die Region nutzbar zu machen, wird der Ballungsraum bereits seit 40 Jahren durch ein vergleichsweise stark ausgebautes Fernwärmenetz versorgt. Betrachtet man den Anteil an erneuerbaren Energien in der Region, zeigt sich mit knapp 6 % ein ausbaufähiges Ergebnis.³¹ Im Zuge der Erarbeitung eines regionalen Klimaschutzkonzeptes hat der Regionalverbund Ruhr (RVR) Zielsetzungen vorgestellt und zentrale Themen, wie die Senkung der CO₂-Emissionen um 40 % (2020) bzw. 80-95 % (2050), den umwelt- und sozialverträglichen Ausbau erneuerbarer Energien, die Förderung dezentraler Energieproduktion und den weiteren Ausbau der Fernwärmeinfrastruktur, adressiert.³²

Unklar bleibt, wie die Wärmewende konkret umgesetzt werden kann. Dazu wurden mehrere Fallstudien erstellt, in deren Fokus folgende Forschungsfragen standen:

- Wo steht die Region aus der Perspektive der relevanten Akteure bei der Transformation des Wärmeversorgungssystems?
- Welche zukünftigen Entwicklungen sind zu erwarten?
- Welche zentralen Barrieren und Widerstände sind zu überwinden, damit das gewünschte Entwicklungsszenario eintritt?
- Inwieweit findet die Transformation gekoppelt über Sektorengrenzen hinweg statt?
- Welche Bedeutung hat dabei insbesondere die Digitalisierung des Informationssystems?

Der Beantwortung dieser Fragen widmet sich die empirische Fallstudienanalyse. Durch ein selektives Sampling wurde dabei versucht, alle relevanten Perspektiven im Innovationssystem für die Wärmewende zu berücksichtigen (vgl. Abb. 4).

Abb. 4:
Vielfalt der Perspektiven
auf die Transformation
der Wärmeversorgung
in der Metropole Ruhr



Bisher kein gemeinsames Zielsystem für die Wärmeversorgung des Ruhrgebiets

Hinsichtlich des Standes der Entwicklung differieren die Einschätzungen der Befragten insgesamt nur unwesentlich. **Als maßgebliche Rahmenbedingung für die Transformation des Wärmeversorgungssystems werden überwiegend Faktoren genannt, die nicht regionalspezifisch sind.** Dazu zählt zuvorderst der Grundsatz zur Orientierung am Marktpreis bzw. an Renditeerwartungen für Investitionen in Anlagen und Netze zur Wärmeversorgung als zentrales Entscheidungskriterium. Abweichungen hiervon werden durch regulatorische Vorgaben (Heizkostenverordnung, Energieeinsparverordnung, Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz), politische Interventionen („Prestigeprojekte“) oder Fördermaßnahmen ausgelöst. Bezogen auf die Region wird vor allem auf die Historie mit dem Kohlebergbau und der Montanindustrie verwiesen, die auch die Wärmeversorgungsstrukturen mit ihrem überdurchschnittlich ausgebauten und aus zentralen Quellen gespeisten Fernwärmenetz bis heute prägt. Eingeführt als Reaktion auf die Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren, ist die Fernwärme auch aktuell aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors zur Einhaltung der Richtwerte in der Energieeinsparverordnung weiterhin attraktiv. Marktseitig wird eine erheb-

liche Verflechtung der Stadtwerke mit den regionalen Wärmeversorgern und großen Energieversorgungsunternehmen sowie Netzgesellschaften konstatiert. Auch aufgrund einer fehlenden politisch-administrativen Klammer mitentsprechender Planungskompetenz existiert aktuell **kein zwischen den Akteuren abgestimmtes Zielbild für die Wärmeversorgung des Ruhrgebiets.** Vielmehr wird sogar festgestellt, dass jenseits der Formalziele von Bund, Land und Kommunen, in denen etwa Quoten für den Anteil der Erneuerbaren oder die Reduzierung von Emissionen zu bestimmten Zeitpunkten festgesetzt werden, auf der Sachebene völlig unklar ist, welche systemtechnischen Pfade mit welcher Priorität verfolgt werden sollen. Auch wenn eine solche übergeordnete, regional abgestimmte Planung von den Befragten gewünscht wird, stellt sich das Quartier mit der notwendigen Gleichartigkeit der infrastrukturellen und sozialen Voraussetzungen als eigentlicher Gestaltungsraum für die Transformation der Wärmeversorgung heraus. Hierfür stehen beispielhaft die Erfahrungen im Zuge der „InnovationCity Ruhr | Modellstadt Bottrop“, deren konzeptueller Ansatz aktuell in zwanzig weiteren Modellquartieren des Ruhrgebiets ausgerollt wird.

Über die Bedeutung von klaren Zielen für die energetische Transformation: „InnovationCity Ruhr | Modellstadt Bottrop“

Die eindeutige Zielvorgabe war höchstwahrscheinlich mit ein Grund, warum die Bewerbung Bottrops vom Initiativkreis Ruhr im Wettbewerb „Blauer Himmel, grüne Stadt“ im Jahr 2010 erfolgreich war: **Reduktion der CO₂-Emissionen im Pilotgebiet mit knapp 70.000 Einwohnerinnen und Einwohnern bis zum Jahr 2020 um 50 %.** Dafür wurden verbrauchsseitig Gebäude energetisch modernisiert und erzeugerseitig viele Heizanlagen auf CO₂-arme Technologien umgestellt. Für die betroffenen Stadtteile Innenstadt, Battenbrock, Boy, Lehmkuhle, Ebel, Wehlheimer Mark und Teile von Weinheim bedeutete das, unausgeschöpfte Potenziale zu identifizieren und konsequent zu erschließen, wie Sebastian Bittrich, verantwortlich für Marketing & Kommunikation bei der InnovationCity Management GmbH, berichtet.

Herr Bittrich, welche Bedeutung hat nach Ihrer Erfahrung im Prozess der InnovationCity Ruhr | Modellstadt Bottrop die Formulierung von Zielen gehabt?

„Auch wenn natürlich die Fokussierung der Bemühungen nur auf die Reduktion des schädlichen Klimagases CO₂ für die Energiewende nicht ausreicht, so hat uns die Zielmarke „Halbierung der Emissionen bis 2020“ doch alle von Anfang an angespornt. Den vielen beteiligten Akteuren bietet solch ein klar definiertes Oberziel die Orientierung, die es braucht, um aus den unzähligen möglichen Maßnahmen diejenigen mit dem größten Erfolgsbeitrag auszuwählen. Auf halber Strecke ergab eine wissenschaftliche Zwischenevaluation im Jahr 2015, dass wir bereits bei einer Senkung der Emissionen von 38 % lagen. Das hat uns gezeigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind. Wir können unser Ziel erreichen, wenn wir weiter alle gemeinsam an einem Strang ziehen. Solche Rückkopplungen tragen dazu bei, dass die Motivation über so einen langen Zeitraum erhalten bleibt. Letztlich wurde dieses übergeordnete strategische Ziel jedoch im Zuge der Erstellung des „Masterplans klimagerechter Stadtumbau“ weiter operationalisiert und auch ergänzt.“

Welche Bereiche umfasst Ihr Zielsystem im Masterplan klimagerechter Stadtumbau?

„Konkret haben wir fünf Handlungsfelder beschrieben: Wohnen, Arbeiten, Energie, Mobilität und Stadt. Für das Thema der Wärmeenergiebereitstellung wurde dort zum Beispiel festgelegt, dass wir die bis dato nahezu flächendeckende Doppelschließung mit Erdgas und Fernwärme möglichst vermeiden wollen. Für die Stadt, die im Zuge der Planverfahren solche Infrastrukturen festlegt und auch die Energieversorger macht eine solche Zielvorgabe ein Umdenken erforderlich.“

Haben im Bereich der Wärmeversorgung auch andere Ziele zur Transformation beigetragen?

„Hohe Bedeutung hatte für uns das Projekt „100 KWK in Bottrop“. Hier haben wir uns zu Beginn festgelegt: Wir wollen 100 MikrokWK-Heizanlagen im Pilotgebiet in Ein- und kleineren Mehrfamilienhäusern unterbringen. Obwohl es ein eigentlich attraktives Angebot zu einem Projektbeitrag von rund 3.500 Euro für interessierte Eigentümer gab, hat uns das Erreichen dieser Zielmarke aufgrund der hohen technischen Komplexität und regulatorischen Anforderungen vor große Herausforderungen gestellt. Aber ein solches Projekt bietet auch viele Chancen und das macht die Ergebnisse so wertvoll.“



Sebastian Bittrich, InnovationCity Ruhr | Modellstadt Bottrop

Intelligente Informationssysteme in der Wärmeversorgung: Unterschätztes Potenzial?

Informationen zu Bestandsdaten über die eingesetzten Erzeugungsanlagen und die Netzinfrastruktur liegen bisher nicht regionalisiert, sondern nur verteilt auf kommunaler Ebene bzw. bei den Eigentümern und Energieversorgungsunternehmen vor. Ebenso werden Betriebsdaten bisher nicht ausgetauscht oder zusammengeführt, so dass z.B. in vielen Fällen unbekannt ist, wieviel Wärme aus welchen Kraftwerken ausgekoppelt wird oder welche thermische Leistung durch installierte Wärmepumpen erzielt wird. Eine Fernsteuerung von Anlagenparks wird an vielen Stellen z.B.

durch Stadtwerke für die kommunalen Liegenschaften oder durch Wohnungsgesellschaften erprobt. Im Hinblick auf den Datenschutz wird dabei hervorgehoben, dass zur Optimierung von Erzeugung und Verbrauch keine individualisierbare oder kurzzyklische Erfassung notwendig ist, sondern es zur Optimierung ausreicht, Daten sowohl zeitlich als auch über Wohneinheiten aggregiert bereitzustellen. Darüber hinaus werden bereits selbstlernende Informationssysteme von den Stadtwerken eingesetzt, um Wärmebedarfsprognosen zu erstellen.

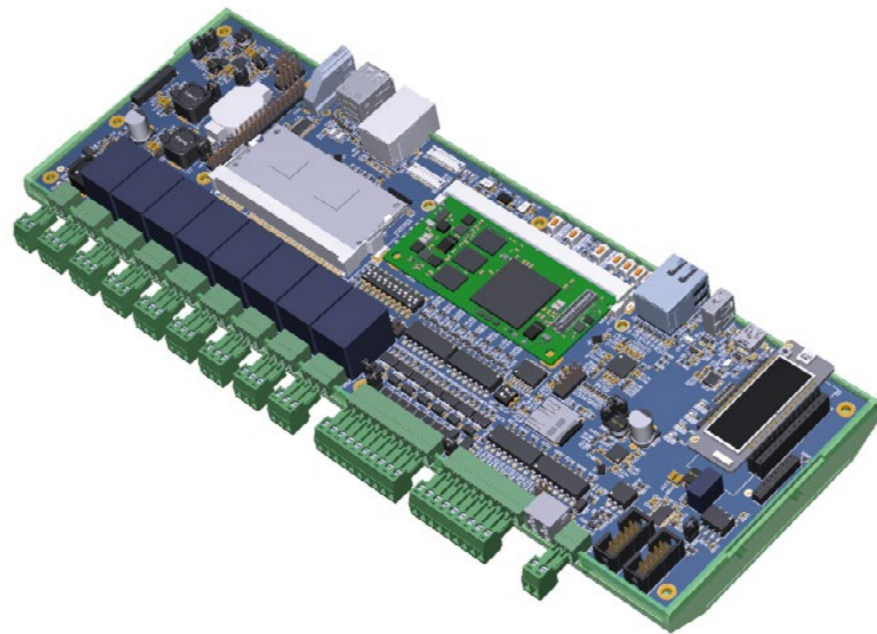


Abb. 5:
Smart Device Controller (SDC) zur Vernetzung von Wärmeerzeugern und -verbrauchern, ruhrvalley-Projekt „Smart Solar Geothermal Energy Grid Ruhr (GeoSmaGrid)“

Intelligente Steuerung von Heizanlagenparks in der Praxis: Digitales Gebäudemanagement und Erfahrungen mit dem „Feldtest 400“ bei VIVAWEST

Bereits im Jahr 2016 hat VIVAWEST 400 ausgewählte Gebäude aus ihrem Bestand mit insgesamt 120.000 Wohnungen ausgewählt und dort Technik zur zentralen Überwachung und Steuerung der technischen Gebäudeausstattung installiert. Im Rahmen des zunächst zweijährigen Projektes wurden die Funktionalitäten des Systems geprüft sowie definierte Dienste und Anwendungen getestet, erzählt Dr. Rainer Fuchs, Bereichsleiter Strategie der VIVAWEST.

Herr Dr. Fuchs, was hat Sie veranlasst, sich als Wohnungsunternehmen dem Thema Digitales Gebäudemanagement mit Schwerpunkt auf die Heizungstechnik zu widmen?

„Gerade im Heizungsbereich haben Sie aus verschiedenen Gründen in der Regel mit Ineffizienzen zu kämpfen. Die Heizungsräume in einem Mehrfamilienhaus sind auch für die Mieter zugänglich. Da kommt es gar nicht selten vor, dass irgendjemand zum Beispiel die Vorlauftemperaturen hochregelt. Aber auch fernab davon: Bis auf den jährlich erfassten Verbrauch wissen wir im Prinzip nichts darüber, wie die Anlage läuft, ob sie im Sinne der Lastkurve des Gebäudes arbeitet oder ob Energie verschwendet wird. Da ist es vor allem im Sinne unserer Mieter, dass wir dabei helfen, die Heizung nutzerorientiert und effizient durch unsere konzerneigenen Dienstleister zu steuern.“

Was waren die größten Herausforderungen bei Ihrem Feldtest mit 400 Gebäuden und wie haben Sie es geschafft, diese zu lösen?

„Zunächst mal macht es natürlich einen enormen Unterschied, ob Sie beim digitalen Gebäudemanagement über Neubauten reden, wo moderne Technik verbaut wird, die häufig bereits über eine Netzwerkschnittstelle verfügen, oder – wie in unserem Fall – ein solches System nachträglich für einen heterogenen Park von Bestandsanlagen implementiert wird. Für uns bedeutete das, alle Anlagen zunächst mal mit einem geeigneten Gateway, Controller und Steuerungsmodul auszurüsten. Für kleinere Anlagen unter 200 Kilowatt Leistung haben wir dazu ein eigenes Modul entwickelt, das wir sehr kostengünstig fertigen lassen. Größere Anlagen haben wir während des Feldversuchs noch mit einem professionellen, vergleichsweise teuren Steuerungsmodul betrieben. Für uns sind die Kosten ganz entscheidend, weil wir selbst investieren, die Kosten dafür aber nicht auf die Miete umlegen dürfen. Die Verbrauchs- und damit Heizkostenreduzierung, die aus dem effizienteren Betrieb resultiert, kommt vollständig dem Mieter zugute.“

Eine weitere Herausforderung war es, die Daten, die wir aus Wärmemengenzählern, Temperaturfühlern, Gaszählern, Füllstandanzeigern von Öltanks, Hebeanlagen usw. übertragen bekommen, im Konzern für verschiedene Zwecke nutzbar zu machen. Also: Welche Daten werden für das Facility Management oder das Property Management an welcher Stelle in unseren IT-Systemen benötigt.“

Welche neuen Möglichkeiten ergeben sich für VIVAWEST aus der Digitalisierung des Gebäudemanagements im Heizungsbereich?

„Ganz konkret können wir nun ganze Anlagenparks mit niedrigeren Temperaturen betreiben oder auch in der Nacht stark herunterfahren und somit ohne Komforteinbußen für den Mieter Energie einsparen. Das Optimieren der Heizkurven bekommen wir inzwischen selbst mit älteren Bestandsanlagen schon sehr gut hin. Nun lernen wir immer weiter aus den Lastprofilen: Wir erkennen auch, wann Pumpen oder Mischer ausfallen und können dann unser eigenes Handwerksunternehmen, wenn es gut läuft, bereits vorher herauschicken und diese Komponenten vor dem Ausfall austauschen lassen. Sollte dies aber doch mal passieren, registrieren wir das unmittelbar auf unserer Energiemanagementplattform. Der Mieter bemerkt den Ausfall der Heizung ja meist erst eine oder mehrere Stunden später, wenn es kalt wird. Wir möchten unseren Mietern, wenn sie ein Problem bei der Hotline melden, am liebsten immer gleich sagen können: Wir wissen bereits Bescheid. Der Techniker ist auf dem Weg zu Ihnen. Maschinelles Lernen wird uns künftig dabei helfen, Optimierungen noch viel stärker als heute automatisiert vornehmen zu lassen.“



Dr. Rainer Fuchs, VIVAWEST Wohnen GmbH

Technisch-physikalisches Ausführungssystem: Pilotprojekte mit Vorbildcharakter

Auch wenn die regionale Wärmeversorgung auf der Ebene des **Ausführungssystems** überwiegend aus der Verbrennung fossiler Primärenergieträger gespeist wird, stellen die Interviewten einen steigenden Anteil der Erzeugung aus Kraft-Wärme-gekoppelten Anlagen fest. Der KWK-Ausbau reicht dabei von kleinen und Kleinst-BHKW, die einzelne oder mehrere Wohneinheiten versorgen können, bis hin zu Großprojekten, die Abwärmepotenziale z.B. aus der Metallerzeugung erschließen. Als das wohl aktuell größte umgesetzte Projekt in der Abwärmenutzung gilt der Anschluss der Hertener Müllverbrennungsanlage der Abfallverbrennungsgesellschaft Ruhrgebiet mbH (AGR) an das Fernwärmenetz, in das seit Januar 2019 nun 115 Megawatt thermisch pro Jahr eingespeist werden.

Trotzdem bilden gerade hocheffiziente Anlagen, wie z.B. das Erdgas-KWK-GuD-Heizkraftwerk in Bochum-Hiltrop, im Moment das Rückgrat der Wärmeversorgung im Zuge des forcierten Kohleausstiegs. An diesem Beispiel lässt sich auch illustrieren, dass ein wirtschaftlich und energetisch effizienter Betrieb nur durch kom-

plementäre Wärmespeicher möglich ist, der in Bochum-Hiltrop eine Höhe von 27 Metern und einen Speicherumfang von 5.000 Kubikmetern umfasst.

Die Nutzung von Wärmepumpen erscheint den Befragten vor allem in einer gesamtsystemischen Betrachtung als sinnvoll, wenn sie mit nicht nutz- oder speicherbaren Überschüssen aus der regenerativen Stromerzeugung betrieben werden (Power-to-Heat) oder als bivalentes System mit Sonnen- oder Erdwärmekollektoren kombiniert werden, die unter optimalen Bedingungen eine vollständige oder zumindest überwiegend emissionsfreie Erzeugung erlaubt.

Auf der Netzebene erfolgt weiterhin ein Ausbau der Fern-, vor allem aber auch der Nahwärmenetze, die nicht selten im niedrigeren Temperaturbereich zwischen 20 und 45 Grad gefahren werden. Aufgrund des zu erwartenden Nachfragerückgangs wird in das Gasversorgungsnetz aktuell primär noch zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit investiert.



Innovative Nahwärmeversorgung für das Ruhrgebiet: Grubenwassernutzung im Bochumer Quartier „Robert Müser“

Obwohl die Zeche „Robert Müser“ in Bochum-Werne schon seit 1968 geschlossen ist, wird dort bis heute gefördert: Keine Steinkohle, sondern Grubenwasser. Damit sich das belastete Grubenwasser und das Trinkwasser nicht vermischen, pumpt die RAG AG allein am Schacht Arnold auf Robert Müser jährlich etwa 10 Mio. m³ davon an die Erdoberfläche. Weil das Wasser aus bis zu 570 Metern Tiefe stammt, hat es eine Temperatur von 20 Grad Celsius und eignet sich damit bereits, um auf dieser Basis ein sogenanntes LowEx-Nahwärmenetz aufzubauen, wie Dr. Frank Peper, Hauptabteilungsleiter Fernwärme, Wasser und Energieprojekte bei den Stadtwerken Bochum erklärt.

Herr Dr. Peper, was war das Ziel beim Projekt der Wärmenutzung des Grubenwassers auf Robert Müser?

„Ende 2018 hat zwar die letzte Zeche im Ruhrgebiet geschlossen. Die RAG AG muss jedoch weiterhin mit hohem Aufwand die Wasserhaltung für die ehemalige Bergbauinfrastruktur besorgen. Der Betrieb und die Unterhaltung dieses Systems kostet nicht nur sehr viel Geld, sondern erfordert auch einen nicht unerheblichen Energieeinsatz. Gleichzeitig geht der Trend im Bereich der Nah- und inzwischen auch der Fernwärmenetze aus Effizienzüberlegungen heraus inzwischen immer stärker hin zu einer Absenkung der Netztemperaturen. In diesem Fall reden wir über ein sogenanntes „Kaltes Netz“, das Wasser mit einer Temperatur von 20 Grad führt. Was hier in Bochum erprobt wurde, war auch ein Pilot, denn die insgesamt von der RAG AG gepumpte Menge an Grubenwasser beträgt in etwa das Neunfache der Kapazität auf Robert Müser.“

Welchen technischen Herausforderungen mussten Sie sich dabei stellen?

„Die technischen Herausforderungen lagen vor allem in zwei Bereichen. Zunächst mal hat uns die Verwendung des Grubenwassers vor einige Probleme gestellt, denn es enthält eine Menge Partikel und gelöste Substanzen, vor allem Salz, die zunächst herausgefiltert werden mussten. Die Ablagerungen auf den Filterelementen waren jedoch so stark, dass wir schon nach zwei Wochen die ersten Filterelemente austauschen mussten. Wir hatten einen Filter mit zu geringer Durchlässigkeit gewählt und mussten dies korrigieren. Da Wärmetauscher und Pumpen nicht für die Verwendung mit verunreinigtem Grubenwasser konzipiert sind, hatten wir diese beiden Komponenten vorsorglich doppelt als redundantes Teilsystem aufgebaut.“

Weil man mit 20 Grad Temperatur noch kein Gebäude beheizen und vor allem kein Warmwasser für die Brauchwassernutzung bereitstellen kann, mussten wir zudem insgesamt vier Heizzentralen aufbauen, die mit Wärmepumpentechnik für die Niedertemperaturkreise sowie einem Blockheizkraftwerk u.a. auch für die Stromversorgung der Wärmepumpen und zwei Spitzlastkesseln für die Hochtemperaturkreise ausgestattet wurden. Weil wir die Fahrweise der Anlagen zu jeder Zeit überwachen wollten, haben

wir diese auch gleich auf die Gebäudeleittechnik der Stadtwerke aufgeschaltet. Wir konnten so über die Zeit recht gut erkennen, dass die Gasabsorptionswärmepumpen im Vergleich zu den Elektrowärmepumpen wesentlich unempfindlicher gegenüber Temperaturschwankungen im Rücklauf sind und bereits sehr viel von der Wärmeenergie des Grubenwassers genutzt wurde. Wir haben dann noch die Fahrweise der Wärmepumpen zusammen mit dem Hersteller optimiert, nämlich so, dass diese nicht immer alle zugleich anspringen, sondern immer nur so viele, wie für den aktuellen Wärmebedarf auch benötigt werden. Die Anpassung der Regelungstechnik erhöht natürlich dann auch die Betriebszeit der Wärmepumpen auf längere Sicht. 2013 hatten wir bei einem Planwert von 500.000 kWh Wärmeenergie in der größten der vier Heizzentralen nur knapp 200.000 kWh tatsächlich erreicht. Durch die vorgenommenen Optimierungen konnten wir die Wärmeenergie im Jahr 2015 auf dann 400.000 kWh verbessern. Insgesamt haben wir das Ziel, den Brennstoffbedarf um 1.200 MWh und den Kohlendioxidstoß um 245 Tonnen pro Jahr zu reduzieren, durch einen nochmaligen Umbau der Gesamtanlage im Jahr 2016 erreicht.“



Dr. Frank Peper, Stadtwerke Bochum

Wie geht es weiter? Entwicklung der Rahmenbedingungen als größter Unsicherheitsfaktor

Die beispielhaft genannten aktuellen Pilotprojekte konturieren bereits **mögliche zukünftige Entwicklungspfade** für die regionale Wärmeversorgung. Durch den angestrebten Ausbau der erneuerbaren Erzeugung wird **marktseitig** mit einem temporär noch größeren Angebotsüberhang an Strom und Wärme gerechnet. Ob hier das Zulassen negativer Preise in unbeschränkter Höhe als alleiniger Steuerungsmechanismus und Anreiz zur Flexibilisierung des Systems ausreichen wird und die Energieversorgungsunternehmen dies neben den ohnehin notwendigen Investitionen wirtschaftlich leisten können, ist unklar. Zudem werden auch steigende Netzkosten durch die Weiterentwicklung der Wärmenetze auf den Verbrauchspreis umgelegt. Unter diesen Rahmenbedingungen wird sich auch die **Wertschöpfungskonfiguration** in der Versorgungskette wandeln. Angefangen bei einer zunehmenden Verschiebung hinsichtlich der Wertschöpfungstiefe von den großen Energieversorgungsunternehmen zu den dezentral agierenden Stadtwerken bzw. regionalen Versorgern, hinterfragen größere Verbraucher ihre eigene Rolle und werden im Extremfall selbst zum Energieversorger.

Hinsichtlich der **ökologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen** werden von den Interviewten keine grundlegenden Änderungen erwartet. Allerdings nehmen sie an, dass sich vor allem in einer Region wie dem Ruhrgebiet mit Voranschreiten der Energiewende durch die daraus zu erwartende Steigerung der Energiepreise die Frage nach der sozialen Verträglichkeit immer stärker stellen wird. Von den Befragten wurde zudem angeführt, dass der öffentliche Bereich mit der Versorgung seiner Liegenschaften seiner Vorbildfunktion deutlich stärker gerecht werden muss und auf diese Weise mit einer erheblichen Nachfragemacht auch den Marktsog für neue technische Lösungen verstärken könnte.

Neues technisches Wissen wird dabei vor allem im Bereich der Speichertechnologien erwartet. Dies betrifft zum einen größer dimensionierte Langzeitenergiespeicher zum Ausgleich saisonaler Schwankungen, als auch kleinere Kurzzeitspeicher zur Flexibilisierung bei untätigen Erzeugungs- und Verbrauchsschwankungen. Für das Ruhrgebiet sehen viele der Befragten hier ein besonderes saisonales Speicherpotenzial durch Nutzung der ehemaligen unterirdischen Bergbauinfrastruktur. Aufgrund einer stärkeren Diffusion von Wissen über alternative Erzeugungsmöglichkeiten und eine effizientere Wärmenutzung, wird insgesamt mit einem Rückgang des Bedarfs für Raumwärme und Warmwasser, nicht jedoch für die Prozesswärme im Sektor Industrie gerechnet.

Hinsichtlich der künftigen Änderungen **politisch-regulatorischer Rahmenbedingungen** ergibt sich kein einheitliches Bild. Auch wenn einerseits Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner z.T. mehr (z.B. Sanktionierung nicht genutzter industrieller Abwärme), z.T. aber auch weniger Regulierung/Förderung als zielführend erachten würden, so wird doch andererseits der Wunsch nach einer klaren politischen Linie z.B. im Hinblick auf die künftige Fernwärmeversorgung oder die Erschließung der Tiefengeothermie im Ruhrgebiet artikuliert. Effektive Steuerungsmechanismen werden hier in der Anpassung der Primärenergiefaktoren in der Energieeinsparverordnung und einer Förderung von Potenzialstudien, Grundlagenforschung, Masterplan-Prozessen sowie Be-zuschussung von Investitionen gesehen.



Was lange währt ... Der politische Prozess zur Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr (FWSRR)

Die Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr (FWSRR) ist ein europaweit einzigartiges Leuchtturmprojekt, das die bestehenden Fernwärmeschienen Ruhr (STEAG) und Niederrhein (EVO) miteinander verknüpfen und somit zukünftig den Weg für eine umweltfreundliche und sichere Wärmeversorgung für das Ruhrgebiet gewährleisten soll. Zu diesem Zweck wurde 2015 die Projektgesellschaft „Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr GmbH“ gegründet, an der die kommunalen Unternehmen STEAG Fernwärme GmbH (56,6 %), die Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH (25,1 %) sowie die Energieversorgung Oberhausen AG (18,3 %) beteiligt sind. Das Projekt genießt die Unterstützung der nordrhein-westfälischen Landesregierung und stellt einen zentralen Baustein des landesweiten Klimaschutzplanes dar. Einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen leistet das Projekt durch Effizienzsteigerungen, Erhöhung der KWK-Quote sowie der Einbindung weiterer industrieller und erneuerbarer Wärmequellen. Die FWSRR soll von der bestehenden Fernwärmeschiene Ruhr im Süden Bottrops bis zur Fernwärmeschiene Niederrhein im Duisburger Norden verlaufen (vgl. Abb. 5). Ein erster Entwurf sieht vor, rund 60 % des Leitungssystems oberirdisch und rund 40 % unterirdisch zu verlegen. Die Trasse wird weitestgehend über Grundstücke öffentlicher und gewerblicher Eigentümer führen.

Durch die neuen Fernwärmeschienen sollen jährlich rund 100.000 Tonnen CO₂ eingespart werden. Dafür ist ein Zubau von etwa 25 Kilometern Leitungsstrecke und etwa 200 Millionen Euro Investitionen geplant. Im Herbst 2016 konnte ein Meilenstein mit der Einreichung des Planfeststellungsantrags erreicht werden. Der geplante Baubeginn (Frühjahr 2017) konnte bislang jedoch nicht realisiert werden, da das Planfeststellungsverfahren noch nicht abgeschlossen ist. Offen bleibt einstweilen, ob es überhaupt zum Bau des Verbundnetzes kommt, da sich die ersten Akteure skeptisch zeigen. Über die Potenziale der FWSRR und die Schwierigkeiten, die sich im Rahmen des politischen Diskurses ergeben haben, hat uns Herr Udo Wichert, Aufsichtsratsvorsitzender der FWSRR GmbH, ehemaliger Sprecher der Geschäftsführung der STEAG Fernwärme GmbH und Altpräsident des Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK (AGFW), berichtet.

Herr Wichert, welche Vision haben Sie für die zukünftige Wärmeversorgung des Ruhrgebiets?

„Meine Vision für die Zukunft des Reviers war immer, und darauf habe ich einen Großteil meines Arbeitslebens in unterschiedlichen Verantwortungen verwandt, dass man die Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr baut, um von Duisburg-Walsum als Ankerpunkt bis nach Herne zum Standort der STEAG eine Verbindung zu haben, die die unterschiedlichen Wärmequellen aufnehmen kann. Diese große Lösung steht bislang noch aus.“

Welche Bedeutung würde die Fernwärmeschiene für die Region haben und welche technischen Potenziale sind damit verbunden?

„Die Verknüpfung der Fernwärmeschiene Ruhr der STEAG mit der Fernwärmeschiene Niederrhein, die der ehemalige EVO-Vorsitzende Herr Mathenia gebaut hat, ermöglicht es, Wärme sowohl von West nach Ost wie von Ost nach West, mit 180 Grad Celsius und 40 Bar in einem Röhrensystem mit DN800, wie auf einer Auto-

bahn hin- und herzuschieben. Dabei werden die Partner ihre Wärme auskoppeln und in ihre Citynetze einspeisen und dann in den dortigen Wärmemarkt pumpen. Am Niederrhein haben wir beispielsweise riesiges Potenzial in Duisburg bei thyssenkrupp Steel, weil dort industrielle Abwärme in einem Umfang von etwa 100 MW produziert wird. Allerdings finden sich vor Ort nicht genügend Abnehmer, die die Wärme verbrauchen können. Durch die FWSRR wäre es nun möglich, die am Niederrhein nicht verbrauchte Wärme durch die Schiene in das Ballungsgebiet Essen-Bottrop-Gelsenkirchen, das einen wesentlich höheren Bedarf aufweist, zu transportieren. Das heißt, das Abwärmepotenzial vom Niederrhein könnte über den Verbund der FWSRR wesentlich besser genutzt werden. Mit der Auskopplung der drei Müllheizkraftwerke, also in Essen-Karnap von RWE, in Herten von der AGR sowie in Oberhausen, plus die industrielle Abwärme aus Duisburg von thyssenkrupp Steel und Oberhausen und weiteren potenziellen Wärmelieferanten, hätte das neue System bei über 60 % der

Udo Wichert, Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr GmbH

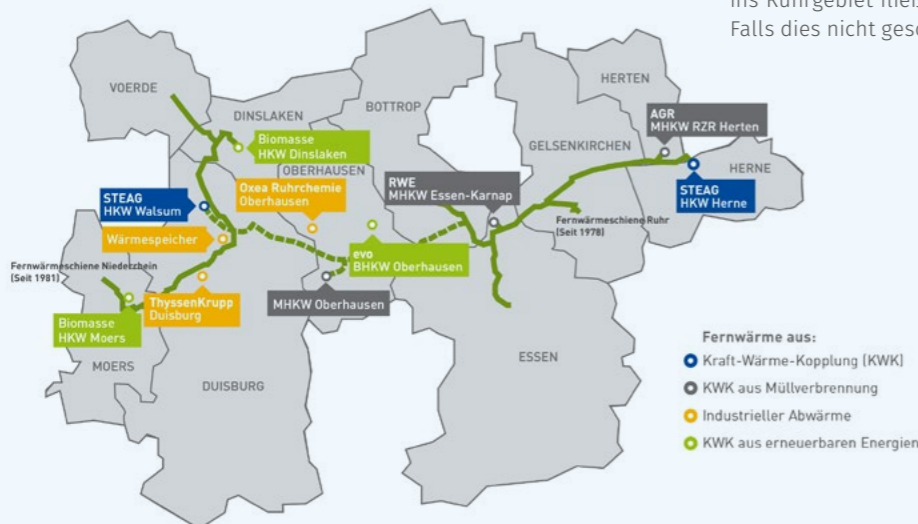


Wärme eine CO₂-Bilanz von Null CO₂-Emissionen. Damit wäre die Metropole Ruhr die absolute Nummer 1 in der EU, was den Ballungsraum und dessen CO₂-freie Wärmedarbietung angeht. Und zwar ohne die Konversion in grüne erneuerbare Energien. Die würde ich jetzt nämlich alle noch additiv dazu aufnehmen in ein solches System, und zwar auf den unterschiedlichen Stufen des Wärmetransports, nicht grüne Energie in eine große Schiene einspeisen, sondern auf der lokalen örtlichen Ebene in den Quartieren. Hier wird in Zukunft die technische Herausforderung liegen: Wie kann ich Wärme mit verschiedenen Temperaturniveaus so nutzen, dass das auch am Ende betriebswirtschaftlich ist?“

Was sind die entscheidenden Faktoren für die Realisierung des Großprojekts „Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr“ und was hemmt die Entwicklung?

„Die politische Ebene ist entscheidend, weil sie den Rahmen setzt. Meine These ist, und dafür habe ich Jahrzehnte geworben, bei der Energiepolitik muss man unterschiedliche Parameter berücksichtigen und man braucht einen Konsens unter den politischen Akteuren. Dies geht nicht nach dem Motto: „Rein in die Kartoffeln, raus aus den Kartoffeln“. Die Ruhrgebietsentwicklung wird dadurch gehemmt, dass man nicht in der Lage ist, was Sinnvolles und Richtiges rechtzeitig politisch umzusetzen, weil es gewisse Akteure in Berlin gibt, die erklären: „Ich brauche kein KWK, ich brauche nur grünen Strom und auch grüne Wärme“. „All electric society“ war und ist die politische Parole. Das zeigt auch den

politischen Grundkonflikt, um den es geht. Das ist für mich auch die zentrale politische Barriere und das zentrale politische Hindernis, denn alles andere ist Makulatur, wenn sich nämlich diese Kräfte politisch durchsetzen, hat das Ruhrgebiet eine Menge „stranded investments“. Da wäre möglicherweise die Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr, mit mehr als 100 Millionen staatlicher Subvention, nicht zurückzahlbar, plus die Investitionen, die die Gesellschafter zu tätigen hätten, das wären riesige „stranded investments“. Das wäre wissenschaftlich hoch interessant zu untersuchen, nur für die beteiligten Akteure wäre das bitter. Man kann die Geschichte der westdeutschen Energiepolitik seit den 60er Jahren am Beispiel der Fernwärme im Ruhrgebiet nachzeichnen. Denn die Fernwärmeschiene Ruhr, die Fernwärmeschiene Niederrhein und andere kleinere Systeme, zum Beispiel Veba VKR in Recklinghausen, Herne, Hertzen und Scholven in Gelsenkirchen, diese waren alle Ergebnisse der deutschen Energiepolitik der 70er und 80er Jahre. Nach der ersten Ölpreiskrise 1973 hat der deutsche Bundestag und die Bundesregierung unter Helmut Schmidt entschieden: „Weg vom Öl, wir nutzen heimische Kohle und machen daraus Strom und Wärme“. STEAG war damals das Unternehmen, das die Zeichen der Zeit erkannt und einen Plan in der Schublade hatte. Nämlich für die Fernwärmeschiene Ruhr und – anders als heutzutage – ist das erste Teilstück der Fernwärmeschiene Ruhr am 18. August 1978 eröffnet worden. Nur 5 Jahre nach der Ölpreiskrise war der Bau abgeschlossen. Allein ich habe mich die letzten 8 Jahre meines Geschäftslebens mit der Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr beschäftigt und bis heute keine Planfeststellung. Damals gab es auch keine Planfeststellung, davon ganz abgesehen. Aber daran sieht man eindrücklich, wie Entscheidungen fallen, oder auch nicht fallen und was das an Zeit braucht. Insgesamt fehlt es aber, wie an anderen Stellen auch, an einer gemeinsamen Vision für die energetische Zukunft des Reviers. Die Kohlekommission hat in ihrem Abschlussbericht auch die Beendigung der Steinkohle HKWs im Visier. Dies wird für das Ruhrgebiet eine große Herausforderung, denn die großen Fernwärmenetze im Revier sind im Brennstoff steinkohlenbasiert. Die Transformation der Fernwärme im Revier ist die größte Herausforderung. Es bedarf neuer GuDs wie in Herne und Gelsenkirchen Scholven. Aber auch die weitere Nutzung von industrieller Abwärme, Abfall HKWs sowie die erneuerbaren Energien sind erforderlich. Die dafür nötigen Mittel können die Fernwärmeunternehmen nicht allein aufbringen. Deshalb ist es richtig, von der Bundesregierung zu fordern, dass die Kohleausstiegsmittel auch ins Ruhrgebiet fließen und nicht nur in die Braunkohlenreviere. Falls dies nicht geschieht, hätte das fatale Auswirkungen.“



Abkürzungen:
HKW: Heizkraftwerk BHKW: Blockheizkraftwerk MHKW: Müllheizkraftwerk

Ansatzpunkte für die regenerative, vernetzte und multivalente Wärmeversorgung von morgen

Die historische Prägung der Energieversorgung im Ruhrgebiet stellt sicherlich eine ganz besondere Herausforderung im Zuge der Transformation der Wärmeversorgung dar. Ob die Energiewende in Deutschland wirtschaftlich, ökologisch nachhaltig und unter Gewährleistung der Versorgungssicherheit für Haushalte, Industrie und Gewerbe gelingt, hängt deshalb maßgeblich von der Konversion der Energiesysteme im Ruhrgebiet ab. Vorläufig konturieren sich für die Wärmeversorgung in der Metropole Ruhr dabei vor allem drei Handlungsfelder:

Erstens gilt es, die **vorhandene industrielle und ehemalige Bergbauinfrastruktur als Bestandteil zukünftiger Versorgungslösungen** mitzudenken. Der hohe Anteil an leitungsgebundener Wärmeverteilung ermöglicht prinzipiell einen räumlichen und zeitlichen Ausgleich von Wärmequellen, -senken und -nachfrage über einen Großteil der Region hinweg in einem technisch und wirtschaftlich optimierten System. Dadurch könnte das größte

Wärmenetz der vierten Generation in Europa entstehen. Der Bergbau hat mit seinen Kavernen ein riesiges Potenzial für den Einbau von Wärmegroßspeichern in direkter Nähe zu den Verbrauchern hinterlassen. Das würde den Boden bereiten, um saisonale Speicher sowie solar- und tiefengeothermische Erzeugungsanlagen in einem großtechnischen Maßstab wirtschaftlich betreiben zu können. Hierzu müssten die Netztemperaturen des Fernwärmenetzes schrittweise von Dampf auf Warmwasser abgesenkt bzw. müssten die Übertragungsnetze durch weitere Niedrigtemperatur-Sekundärnetze ergänzt werden. Offen bleibt dabei die Frage, wie eine wettbewerbsfähige Versorgung der energieintensiven Industrie im Ruhrgebiet mit Prozesswärme auch künftig sichergestellt wird. Dabei kann das Ruhrgebiet auf einen dichten Besatz mit mittelständischen Unternehmen aus der Thermoprozesstechnik verweisen, die zum Teil bereits heute mit energieeffizienten und ganz neuen Lösungen für die gasbasierte Brenntechnik oder induktive Erwärmung aufwarten.



Abb. 6:
Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr³³

Wärmewende durch Erdwärme? Tiefengeothermie als Chance für die Konversion der Fernwärme im Ruhrgebiet

Bislang spielt Tiefengeothermie noch eine untergeordnete Rolle im Wärmeversorgungssystem in Nordrhein-Westfalen. Dies könnte sich aber im Zuge des Kohleausstiegs in den kommenden Jahren ändern, so dass Erdwärme für die Deckung eines Großteils des Fernwärmebedarfs nutzbar gemacht werden könnte.³⁴ Im Gegenzug zur oberflächennahen Geothermie kann die tiefe Geothermie je nach Temperaturniveau des Thermalwassers für verschiedenste Anwendungsgebiete nutzbar gemacht werden (Gebäude, Lebensmittelproduktion, Stromerzeugung). Weitere Vorteile der tiefen Geothermie liegen zum einen darin, dass die Wärme aus dem Erdinneren zu jeder Tages- und Jahreszeit verfügbar ist und zum anderen so gut wie keine umweltschädlichen Emissionen ausgestoßen werden. Somit würde die Tiefengeothermie einen erheblichen Beitrag für die Wärmewende leisten. Erste Erfahrungen hat vor allem die Stadt München in Bezug auf die Nutzung geothermischer Potenziale erzielen können. Dort soll das städtische Fernwärmenetz bis 2030 auf regenerative Energien mit dem Schwerpunkt Geothermie umgestellt werden. Für die Metropolregion Ruhr untersucht das Internationale Geothermiezentrum (GZB) als eine Verbundforschungseinrichtung der Wirtschaft und Wissenschaft bereits seit über 15 Jahren die Potenziale der Geothermie am Standort Bochum. Das Forschungsprojekt „TRUDI“ (Tief-runter-unter-die-Ruhr) soll praktisch erproben, inwieweit die Erschließung der Tiefengeothermie im Ruhrgebiet möglich ist. Der Erdwärme-Experte und GZB-Direktor Prof. Dr. Rolf Bracke erklärt die Bedeutung der Tiefengeothermie für die gesamte Region und die zukünftige Fernwärmeversorgung.

Herr Prof. Dr. Bracke, was macht das Ruhrgebiet für die Tiefengeothermie interessant?

„Das Ruhrgebiet besitzt – anders als viele andere Regionen in Europa – ein riesiges Speicherpotenzial, wenn wir geschickt und gezielt die Bergbauinfrastruktur mitberücksichtigen. Das Grubenwasser kann wie ein großer Solarspeicher, nur ein paar Dimensionen größer, wirken. Das kann ein erheblicher Standortvorteil fürs Ruhrgebiet im Vergleich zu anderen großen Ballungsräumen wie Berlin, Hamburg oder Hannover werden.“

Welche Voraussetzungen müssen für eine breite Diffusion der Tiefengeothermie im Ruhrgebiet erfüllt werden?

„Für die Etablierung der Tiefengeothermie als grundlastfähiger Wärme- und Stromlieferant muss zum einen der Übergang in die vierte Generation der Wärmenetze stattfinden. Was heißt das? Wir befinden uns im Ruhrgebiet beim Übergang von der zweiten hin zur dritten Netzgeneration, das heißt der Einbindung vieler Quellen, die über die zentralen fossilen Erzeuger hinausgehen und dabei auch Wärmespeicher berücksichtigen. Und die vierte Generation ist dann die, mit der jetzt die Dänen und die Holländer bereits agieren. Das ist im Prinzip die Umstellung der monodirektionalen Hochtemperatur-Wärmeversorgung – also ich habe eine Quelle oder einen Einspeisepunkt und von da aus speise ich sternförmig oder baumförmig in die Verteilstrukturen ein – in Richtung Bidirektionalität. Das bedeutet, dass man weg

von großen zentralen Verteileinheiten, z.B. Kraftwerken, hin zu vielen dezentralen Einheiten geht. Dazu wird es notwendig sein, die Netztemperaturen abzusenken. Hochtemperaturdampfnetze mit 160 oder 170 Grad Celsius, wie sie durch die großen Kohlekraftwerke gespeist wurden, um die Städte zu versorgen, werden bei zunehmender Dezentralisierung keine Verwendung mehr finden, einfach, weil es keine großen zentralen Einspeisepunkte mehr geben wird. Mit Bidirektionalität und dezentraler Versorgung geht die Notwendigkeit der Speicherung einher. Das ist auch ein Merkmal der Netze der vierten Generation. Man wird Energie nicht nur erzeugen und entnehmen können, sondern benötigt Puffer, um diese Wärme zwischenspeichern. Das erfolgt zum einen im Netz selber, denn es hat eine gewisse Trägheit und kann als Speicher fungieren. Zum anderen kann die Pufferspeicherung in den Bergwerken bis in 1.000 Metern Tiefe erfolgen. Darüber hinaus ist die Erkundung des Untergrundes und damit Forschungsbohrungen von 4 bis 5 Kilometern eine notwendige Voraussetzung für die tiefengeothermische Energieversorgung. Das ist absolutes Neuland für das Ruhrgebiet, denn wie eine alte Bergmannsweisheit offenbart, ist es „Vor der Hacke duster“. Was man in den letzten 100 Jahren im Ruhrgebiet gemacht hat, ist, mit vielen hunderten Bohrungen bis auf gut tausend Meter Tiefe zu bohren, um die Kohlelagerstätten zu erkunden. Größere Tiefen waren wirtschaftlich nicht interessant, weil es dort keine kohleführende Gesteine gibt. Nun muss man also in Bereiche

vordringen, die in Nordrhein-Westfalen bisher nicht systematisch erkundet wurden. Zunächst einmal müssen wir also im Bereich unserer Ballungsräume eine Charakterisierung der Geosphäre unterhalb 1,5 Kilometern Tiefe vornehmen. Wenn wir anschließend entscheiden, unsere Fernwärmenetze nach Münchener Vorbild an die Tiefengeothermie in 4 bis 5 Kilometern anzuschließen, müssen wir auch gezielte geowissenschaftliche Untersuchungsprogramme für diese Tiefenlagen auflegen.“

Was, würden Sie sagen, sind die größten Schwierigkeiten dabei?

„Es gibt zwei große Herausforderungen: einerseits die Umsetzung der technischen Erkundungsprogramme und andererseits die geeigneten Finanzierungs- und Risikominimierungsinstrumente für die kommunalen Versorger. Die geowissenschaftliche Erkundung des Untergrunds ist, wie ich schon erläutert habe, eine Grundvoraussetzung. So etwas wurde bis in die 60er Jahre flächenhaft für die Kohle gemacht – nur eben nicht so tief. Die Aufstellung eines Gasheizwerks ist dagegen eine vergleichsweise einfache Übung. Aber den Untergrund kennenzulernen und zu erschließen und dann auch noch festzulegen, in welche Schichten man bohren kann, wie viel Tiefenwasser dort gefördert werden kann und welche Korrosions- und Skaling-Effekte möglicherweise mit diesen salzhaltigen Grundwässern zu erwarten sind, das sind ganz andere Dimensionen. Je nach Beschaffenheit des Thermalwassers aus dem Untergrund, kann es dazu kommen, dass technische Anlagen und Leitungen stark angegriffen werden, weil diese Wässer sehr salzhaltig sein können. Hinzu kommt die lange Vorlaufzeit, die solche Forschungsbohrungen und Pilotanlagen benötigen. Um derartige Pilotanlagen massenhaft für den Markt verfügbar zu machen, werden 10 bis 15 Jahre Vorlaufzeit benötigt. Und dann ist das Fündigkeits- und Finanzierungsrisiko für die Stadtwerke noch nicht abgedeckt! Hier wäre ein revolvierender Fonds hilfreich, der die Erkundungsbohrungen finanziert und in den die Energieversorger wieder zurückzahlen müssen, wenn eine Bohrung erfolgreich war. Das sind einfach sehr viele Dinge, die in den kommenden Jahren noch geklärt werden müssen.“

Welche zukünftigen Pläne hat das GZB?

„Für uns steht die Transformation der fossilen Fernwärmenetze nach dem Kohleausstieg im Vordergrund. In 18 Jahren gibt es keine fossile Wärmequelle mehr und die Netze müssen aus industrieller Abwärme und erneuerbaren Quellen versorgt werden. Mit unserem TRUDI-Experiment planen wir, innerhalb der nächsten 5 Jahre die Hochschule Bochum mit unseren tiefengeothermischen Systemen und größeren Wärmepumpensystemen komplett wärmeautark zu versorgen. Dazu sind zunächst Probebohrungen in 1.500 Metern Tiefe geplant. Darauf aufbauend sollen tiefergehende geophysikalische Untersuchungen der Gesteine bis in 5.000 Metern Tiefe erfolgen. Ganz praktisch bedeutet das, dass das natürliche Wasservorkommen genutzt und anschließend wieder zurück in den Untergrund gepumpt werden soll. Bei 1.500 Metern werden Temperaturen von 55 Grad Celsius und bei 5.000 Metern 170 Grad Celsius erwartet. Das Thermalwasser soll zudem im Sommer über industrielle Abwärme und solare Überschusswärme künstlich aufgeheizt werden. Im Winter wird die gespeicherte Wärme dann mit Großwärmepumpen in das Fernwärmenetz gespeist. Dann könnten wir in Zukunft den Hochschulcampus selbst versorgen und zugleich zeigen, wie die großen Versorgungsstrukturen umgestellt werden können.“



Prof. Dr. Rolf Bracke,
Internationales Geothermiezentrum Bochum

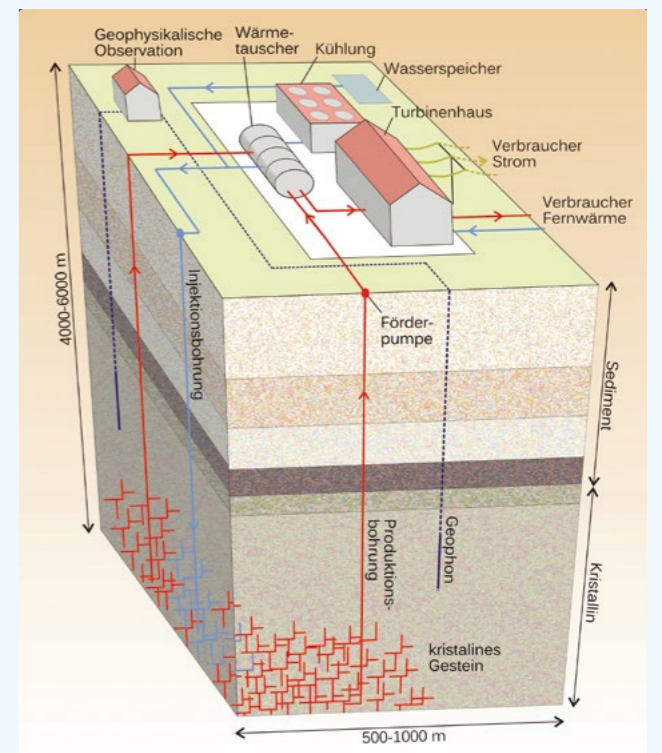


Abb. 7:
Prinzipische Skizze tiefengeothermische
Strom- und Wärmeerzeugung³⁵

Das zweite Handlungsfeld ist der **Bereich der privaten Haushalte**. Bedarf besteht hier vor allem bei den drei von vier Haushalten, die nicht in den eigenen vier Wänden, sondern zur Miete wohnen. Von den Mietwohnungen im Ruhrgebiet sind mehr als 90 % älter als zwanzig Jahre. Das markiert zugleich die zentrale Herausforderung: Energetische Sanierung und ein beschleunigter Ersatz veralteter Heiztechnik durch effizientere Systeme und ggf. Wärmegewinnung aus erneuerbaren Energien. Wie das Beispiel des intelligenten Gebäudemanagements bei der VIVAWEST gezeigt hat, muss eine Optimierung des Betriebs von Heizungsanlagen im Bestand nicht einzeln, Gebäude für Gebäude, erfolgen. Die Digitalisierung bietet größeren Wohnungsunternehmen die Möglichkeit, ganze Anlagenparks zentral zu steuern und die Betriebsdaten mit Umwelt- und Gebäudedaten zu kombinieren. Methoden des maschinellen Lernens bieten dabei das Potenzial, viele im Betriebsverlauf notwendige steuernde oder überwachende Eingriffe automatisiert vornehmen zu können oder die Daten auch anderweitig, z.B. als Grundlage für bessere Investitionspläne zu verwenden. Kostengünstige IoT-Controller und -Plattformen, wie sie auch im ruhrvalley-Projekt „Smart Solar Geothermal Energy Grid Ruhr“ entwickelt wurden, verbinden auch nachträglich beliebige Anlagen mit dem Internet und machen sie aus der Ferne steuerbar. Künftig wird es verstärkt darauf ankommen, wie auch kleinere kommunale Wohnungsunternehmen oder private Eigentümer von solchen Innovationen profitieren können. In diesem Bereich bestehen wirtschaftliche Chancen für neue Dienstleister, aber auch etablierte Handwerksbetriebe und kommunale Energieversorger, die solche Services und technischen Systemlösungen in geeigneten Geschäftsmodellen am Markt anbieten können. Für Experimente auf diesem Gebiet ist der Wohnungsmarkt im Ruhrgebiet dabei geradezu prädestiniert, wo nicht nur zwei der drei größten Wohnungsunternehmen in Deutschland ihren Stammsitz haben, sondern daneben mehr als 20 kommunale bzw. kommunalnahe Wohnungsgesellschaften.

Das dritte Handlungsfeld adressiert vor allem die **öffentliche Hand mit ihren verschiedenen Instrumenten einer nachfrageorientierten Innovationspolitik**. Anders als die direkte Förderung von Forschung und Entwicklung setzen derartige Maßnahmen bei der Markteinführung bzw. -durchdringung an. Land und Kommunen verfügen über eine große Zahl eigener Liegenschaften, die mit Wärme versorgt werden müssen. Seit dem Vergaberechtsmodernisierungsgesetz von 2009 ist eine Berücksichtigung sozialer, umweltbezogener oder innovativer Aspekte bei den Zuschlagskriterien ausdrücklich zulässig. Da die Vergabe jedoch in öffentlichen Einrichtungen selten strategisch ausgerichtet ist, verhindert in der Praxis schon der für ein solches Verfahren notwendige Mehraufwand und das zur Begründung notwendige Wissen zumeist eine auf innovativen Aspekten gründende Zuschlagsentscheidung. Gerade die Kommunen besitzen jenseits der Vergabe jedoch weitreichende Möglichkeiten, um die künftige Wärmeversorgung mitzugestalten. Über Beteiligungen sind sie eng mit den lokalen und regionalen Energieversorgungsunternehmen verbunden und bestimmen in deren Gremien die strategische Ausrichtung mit. Diese enge Verflechtung lässt sich zum Beispiel daran illustrieren, dass mehr als jedes zweite öffentliche Gebäude im Ruhrgebiet bereits mit Fernwärme versorgt wird. Kommunale Versorgungswirtschaft und Stadtentwicklungsplanung können darüber hinaus für konkrete Planungsgebiete den Einsatz erneuerbarer Energien, Maßnahmen zur effizienten Energienutzung und Wärmedämmung oder Zielwerte für CO₂-Minderungen festsetzen. Ihre Ermächtigung geht dabei unter bestimmten Voraussetzungen sogar bis zu einem Anschluss- und Benutzungszwang für die Fernwärme. Dabei mangelt es allerdings meist schon an einer soliden Informationsgrundlage auf Basis verteilt vorliegender und unterschiedlich strukturierter Daten. Die mit viel Beteiligungsaufwand erstellten kommunalen oder regionalen Klimaschutzkonzepte, Green-City-Pläne etc. erscheinen diesbezüglich meist als Ersatzhandlung zur proaktiven Stimulierung des Innovationsgeschehens hinsichtlich der eigenen Energieversorgung und -nutzung. Im Zuge des Rollouts des Ansatzes der InnovationCity Ruhr | Modellstadt Bottrop haben 18 Städte des Ruhrgebiets für ausgewählte Quartiere ein integriertes energetisches Konzept erhalten. Inwieweit es gelingt, die Vielzahl darin enthaltener, durchaus sinnvoller Maßnahmen auch wirklich umzusetzen, bleibt abzuwarten.

Vom Großverbraucher zum Großerzeuger: Die „unique Wärme GmbH & Co. KG“ als Beispiel für öffentliche Einrichtungen als „Prosumer“ im Wärmesystem

Die Ruhr-Universität Bochum (RUB) hat gemeinsam mit den Stadtwerken Bochum ein innovatives Energieversorgungskonzept entwickelt und ist seit Herbst 2018 Wärmelieferant für den gesamten Campus und den angrenzende Stadtteil Querenburg. Auf dem Gelände der Ruhr-Universität wird nun umweltfreundliche Wärme mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Die neue Kooperationsgesellschaft „unique Wärme GmbH & Co. KG“ versorgt rund 5.600 Beschäftigte und 43.000 Studierende auf dem Campus. Auch die Fernwärmeversorgung Universitäts-Wohnstadt Bochum GmbH (FUW), eine Beteiligungsgesellschaft der Stadtwerke, bezieht seit Herbst 2018 ihre Wärme für rund 4.800 Mietwohnungen, 760 Eigenheime sowie 115 weitere Kunden von der unique Wärme GmbH. Am Technischen Zentrum auf dem östlichen Gelände der RUB wurden zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) mit einer thermischen Leistung von zusammen 8,5 MW installiert. Der in den BHKW erzeugte Strom soll zur Deckung eines Teils des Strombedarfs der RUB genutzt werden. Die elektrische Leistung liegt in Summe bei 9 MW. Ergänzend wurden Erdgaskessel errichtet, die den größten Teil der nachgefragten thermischen Leistung – die sogenannte Residuallast – liefern und damit die Wärmeversorgung für das gesamte Versorgungsgebiet ganzjährig sicherstellen. Die Investitionskosten beliefen sich auf insgesamt 30 Millionen Euro. Die Gesellschafter trugen jeweils 50 % der Gesellschaftsanteile. Die Wärmeversorgung für den Bochumer Süden wird gegenüber der bisherigen Versorgungssituation effizienter und umweltfreundlicher. Durch die Investitionen können rund 26.000 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden. Frau Ina Schwarz, Geschäftsführerin der unique Wärme GmbH und Dezernentin für Bau und Liegenschaften an der Ruhr-Universität Bochum, gibt einen Einblick in die Entstehungszusammenhänge der Kooperationsgemeinschaft.

Frau Schwarz, wie kam es dazu, dass die Ruhr-Universität Bochum sich dazu entschlossen hat, Energieversorger zu werden?
„Die Ruhr-Universität Bochum wurde bisher vom Kraftwerk Wohlfahrtsstraße von RWE mit Fernwärme versorgt. Dieses Heizkraftwerk hat drei große Kunden bedient: das Opel-Werk, die Fernwärmeversorgung Universitäts-Wohnstadt Bochum GmbH und die Ruhr-Universität. Seit der Schließung des Opel-Werkes, welches den größten Kunden darstellte, war das Kraftwerk für RWE nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben. Schließlich wurden die Lieferverträge gekündigt, wobei die Kündigungsfristen sehr knapp bemessen waren.“

Und wie ist die Universität mit der Kündigung der Lieferverträge umgegangen?

„Es war von Anfang an klar, dass drei Jahre Kündigungsfrist sehr kurz sind. Die normale Vorgabe bezüglich Baumaßnahmen für die Universität ist, dass über den Bau- und Liegenschaftsbetrieb (BLB) gebaut wird, denn die Universitäten in Nordrhein-Westfalen sind Mieter und die Immobilien gehören dem BLB. Aufgrund der Dringlichkeit haben wir im September 2013 eine Abstimmung beim

BLB anberaunt und beschlossen, dass die Universität die Angelegenheit selbst in die Hand nimmt. Dann hatten wir das Zepter in der Hand und haben überlegt, machen wir Contracting mit einer Firma? Bauen wir selber? Oder machen wir etwas anderes? Da die Stadtwerke Bochum dasselbe Problem hatte, kamen sie in diesem Sommer auf uns zu und boten uns eine Zusammenarbeit an. Uns erschien es als eine gute Synergie. Da kam auch die Idee, ein eigenes Heizkraftwerk mit BHKWs und Kesseln zu bauen. Und das Schöne war, dass wir am Technischen Zentrum bereits einen Heizkraftwerksstandort hatten, den man gut erneuern konnte. Anfang 2014 habe ich das Go für die Kooperation mit den Stadtwerken erhalten. Es wurden kleine Kooperationsvereinbarungen geschlossen, eine gemeinsame Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben und eine Stelle für einen Planer ausgeschrieben. Parallel haben wir uns Gedanken gemacht, wie wir eine Firma gründen können und unter welchen Rahmenbedingungen die Zusammenarbeit vonstattengehen kann.“

Welche Faktoren haben dazu geführt, dass das Projekt trotz des Zeitdrucks erfolgreich umgesetzt werden konnte?



Ina Schwarz, Geschäftsführerin der unique Wärme GmbH

„Die Hochschulleitung hat die Hand über mich gehalten und gesagt: „Wenn du was brauchst, dann komm und ansonsten mach“. Dadurch hatte ich unglaubliche Unterstützung und ein Grundvertrauen. Den damaligen stellvertretenden Kanzler, der die Baufragen betreut hat, habe ich drei Mal die Woche getroffen, das heißt, der war immer inoffiziell informiert. Ich musste dann nicht so viel formal Bericht erstatten. Dass ich wusste, dass ich unterstützt werde und nicht für jeden einzelnen Schritt Rechenschaft ablegen muss, hat mir sehr geholfen und sehr viel Zeit gespart. Das hätte uns sonst das Genick gebrochen. Hinzu kam die Tatsache, dass sich die Anteile der neuen Gesellschaft zwischen den Kooperationspartnern paritätisch aufteilen ließen. Es passt wunderbar, weil wir im Prinzip beim Energiebedarf und -verbrauch bei 50/50 liegen, so dass sich die Stimmrechte auch gleichberechtigt aufteilen ließen. Das hat die Sache sehr erleichtert.“

Was waren die größten Herausforderungen bei der Realisierung des Projektes?

„Zuallererst war die Zeit ein limitierender Faktor. Die Kündigungsfrist war knapp und wir haben einen sehr starken Fokus auf wirtschaftliche Aspekte, Verträge und auf den technischen Teil gelegt. Zusätzlich ist das Hochschulrecht eine wesentliche Hürde für uns gewesen. Als öffentliche Einrichtung darf die Universität der freien Wirtschaft keine Konkurrenz machen. Das heißt, wir dürfen als Hochschule nicht einfach sagen: „Ich werde jetzt Energieversorger“. Zudem stellt sich die Frage, verdient die Hochschule damit Geld? Unser Personal hat einen anderen Zweck, eine andere Zielsetzung. Was aber erlaubt ist, ist Eigenversorgung. Als wir mit der Idee ans Land herangetreten sind und um eine Finanzierung gebeten haben, fragte das Land: „Was davon ist die Instandhaltungsaufgabe des BLB als Vermieter? Das bezahlen wir nicht. Und, was davon ist neu und wie kommt das zustande?“

Im Land NRW waren zu der Zeit schon viele Maßnahmen gefördert worden, so dass das Land auch nicht ad hoc sagen konnte: „Finanzieren wir!“. Wir hatten also erstmal keine Finanzierung. Wir mussten dann unseren Anteil als Gesellschafter selbst stemmen. Hinzu kamen ein paar typische Probleme, die sich in der Umsetzung von Bauprojekten ergeben: es sind zunächst keine gültigen Angebote eingegangen, dann mussten wir nochmal ausschreiben. Im Moment ist es in diesem Bereich wirklich schwierig Firmen am Markt zu finden, sei es im Stahlbau oder in anderen Branchen. Auf der technischen Seite gab es noch ein paar Herausforderungen in Bezug auf die Druckhaltung und Schlechtpunkte in den Fernwärmeleitungen. Die Stadtwerke haben zwei Netze, die bisher nicht groß verbunden waren, verbunden. Das ist eine kleine Leitung gewesen. Und wir mussten an unseren Leitungen gewisse Dinge verändern, damit sie diesem Druck, für den sie prinzipiell ausgelegt waren, auch standhalten können.“

Welche weiteren Pläne hat die unique GmbH für die Zukunft?

„Also sicherlich werden wir immer wieder darüber nachdenken, wie man die Fernwärme verbessern kann? Dass wir schauen, wie kann man ein bisschen grüner werden? Da sind wir auch an einem konkreten Fall dran. Natürlich muss die Geschichte aus der hochschulrechtlichen Perspektive noch geklärt werden, aber das werden wir lösen können. Und es gibt Überlegungen, wie der Primärenergiefaktor gesenkt werden könnte. Aber eben immer mit der Beschränkung: Wir werden es nicht als Modell auf ganz Deutschland übertragen können! Wir könnten höchstens andere Universitäten beraten, wie es geht.“

Und was würden Sie anderen Hochschulen raten, die ebenfalls mit dem Gedanken spielen, Energieversorger zu werden?

„Ich glaube, im Moment muss man wirklich darüber nachdenken, so volatil, wie die ganze Energiewirtschaft, die ganze Gesetzgebung ist, so schnell, wie sich das ändert, ist es ein hohes Risiko einen Vertrag mit einem einzelnen Anbieter, an den ich mich für 20 Jahre binde, zu schließen. Das erscheint mir nicht als die beste Lösung. Auf der anderen Seite sind mit einer derartigen Investition natürlich auch große Risiken verbunden. Und diese Risiken muss man gut begründen und abwägen. Es kommt viel mehr darauf an, die Veränderung nicht zu scheuen.“

Widerstand garantiert: Worauf sich progressive Innovatoren im Kontext der Wärmewende einstellen müssen

Der über den Energiebereich hinaus hohe Anteil gescheiterter Innovationsvorhaben macht deutlich: **In der Regel wird sowohl die Leistungs- und Überzeugungsfähigkeit von Neuerungen als auch die Innovationsfähigkeit und -bereitschaft der an Veränderungsprozessen Beteiligten überschätzt und Widerstände gegen Neuerungen übersehen.** Werden solche Barrieren nicht konstruktiv adaptiert, dann werden auch weiterhin Gasbrennwertkessel in Neubauten installiert, bleiben energetische Modernisierungsinvestitionen der Wohnungsunternehmen und Privateigentümer aus und können langfristig und großtechnisch angelegte Umbauprozesse des Wärmeversorgungssystems zu einer stärker regenerativen Erzeugung nicht mit Planungssicherheit angegangen werden. Die in den Fallstudien benannten Gründe lassen sich in die drei Kategorien technische, organisatorische und personelle Barrieren verdichten.

Die Welt der **technischen Lösungspotenziale** wird seitens der Entwickler als besonders barrierearm charakterisiert. Unbestreitbar stehen eine Vielzahl technischer Möglichkeiten für alternative Erzeugung oder effizientere Nutzung von Wärmeenergie am Markt bereit. Spricht man allerdings mit Nutzern über ihre Erfahrungen, sind z.B. Kleinst-BHKW aufgrund ihrer mechanischen Bauteile häufig noch reparaturanfällig oder braucht es einige Monate bis vor allem multivalente Systeme, z.B. aus Umweltwärmepumpen mit ergänzender solarthermischer Energiegewinnung, den erwarteten Jahresnutzungsgrad erreichen. Eine Ausnahme bildet hier der Anschluss an die Fernwärme, denn die Gebäudeübergabestationen sind technisch wenig anspruchsvoll und wartungsarm. Die Vielzahl unterschiedlich konzipierter Wärmeanlagentechnik zeigt, dass sich das technologische Leistungsvermögen von Alternativen zur Gasbrennwerttherme noch in einer frühen Entwicklungsphase befindet. Auch die nachträgliche Gebäudedämmung führt häufig nicht zum gewünschten Ergebnis, sondern hat nicht selten am Ende mehr gekostet, als durch Heizkosten eingespart werden kann. Blickt man über das aktuelle Marktangebot hinaus in den Bereich der vorkommerziellen Forschung und Entwicklung, wird erkennbar, dass es an wissenschaftlich-technischen Herausforderungen nicht mangelt. Für die tiefe Geothermie reichen diese Aufgaben bis in den Bereich geophysikalischer Grundlagenforschung hinein. Selbst auf informationstechnischem Gebiet, für das relativ kurze Innovationszyklen typisch sind, konnten Versprechen hinsichtlich einer breiten Vernetzung unterschiedlicher Anlagen im „Internet of Things“ nicht eingelöst werden. Zwischen dem prinzipiell technisch Möglichen und der tatsächlichen Umsetzung klafft weiterhin eine erkennbare Lücke. Hier bietet die Integration von Anwendern in die Entwicklungsprozesse noch Reserven, um zu besseren Lösungen zu gelangen.

Durch einen solchen Ansatz würde ein weiteres zentrales Problem adressiert: Gerade in der Einführungsphase von Innovationen hat eine neue Technologie meist nicht den Reifegrad, dass sie ohne den Aufbau neuer Kompetenzen nutzbar wäre. Die **personelle Barriere** zeigt sich für die Wärmewende besonders deutlich im Bereich des Handwerks. Auch wenn einige Betriebe die wirtschaft-

lichen Chancen durch einen Aufbau neuer Leistungsangebote rund um alternative Technologien erkannt haben, müssen Besitzer von BHKW, Solar-, Geothermie- und Umweltwärme-Anlagen für die Durchführung von Reparatur- und Wartungsarbeiten oft auf die Hersteller zurückgreifen. Einzige Alternative ist der teure Aufbau von eigenem Wissen über die Funktionsweise der Anlage und ihrer einzelnen Komponenten. Gerade multivalente Systeme erfordern Kompetenzen, die von der Ausbildung her eher durch Elektroniker für Gebäudetechnik als den klassischen Heizungsbauer erbracht werden könnten. Die Wärmewende erfordert deshalb Handwerksbetriebe ganz neuer Art, die mit solchen Anforderungen umzugehen wissen. Durch ihr über Jahre aufgebautes Vertrauensverhältnis zu Kunden wird ihnen als herstellerunabhängiger Berater bei der Auswahl neuer Heiztechnik vertraut. Damit nehmen sie eine Schlüsselposition in der notwendigen gesellschaftlichen Aufklärungsarbeit ein. Neben dem Handwerk muss dieses Wissen auch bei kleinen und mittleren Wohnungsunternehmen und in vielen Bereichen der Stadtwerke weiter aufgebaut werden.

Systeminnovationen im Bereich der öffentlichen Daseinsvorsorge sind häufig dadurch gekennzeichnet, dass sie durch deliberative Aushandlungsprozesse bestimmt werden. Wie soll die Kommunalpolitik entscheiden, wenn sich für ein Quartier der Aufbau eines Wärmenetzes als energetisch sinnvoll erweist, es für den städtischen Versorgungsbetrieb aber deutlich wirtschaftlicher wäre, das Gebiet mit Gas zu versorgen? Solche Grundkonflikte ereignen sich an vielen Stellen und sind Teil der **organisatorischen Barrieren** der Wärmewende. In Deutschland hat sich ein äußerst technokratisches Verfahren etabliert, um die Interessen von z.B. Anwohnern, Umweltschutz sowie städtischer und regionaler Entwicklungsplanung möglichst unabhängig von politischer Einflussnahme ausgewogen zu berücksichtigen. Im Ergebnis entstehen dadurch allerdings Fragen, wenn trotz anerkannter energetischer Sinnhaftigkeit und einer Investitionsbereitschaft seitens der Unternehmen bei Großprojekten am Ende acht Jahre Planfeststellungsverfahren zu einer reinen Bauzeit von nur zwei Jahren hinzukommen. An vielen Stellen fehlen zudem Anreize, sich stärker in den Prozess der Wärmewende einzubringen. Dies gilt zum Beispiel für Wohnungsunternehmen, die zwar energetische Sanierungsarbeiten zum Teil auf Nettokaltmieten umlegen können, bei denen aber der optimierte Betrieb der Heiztechnik allein den Mieterinnen und Mietern über geringere Nebenkosten zugutekommt. Entscheiden sie sich für ein BHKW zur Versorgung von Wohneinheiten, werden sie im Sinne der regulatorischen Bestimmungen selbst zum Energieversorger mit allen daran geknüpften Pflichten. Ähnlich komplex kann sich die Vertragsgestaltung für Industriebetriebe herausstellen, die entscheiden, ihre Abwärme in ein Wärmenetz einzuspeisen. **Insgesamt bräuchte es für das Ruhrgebiet deshalb einen zentral koordinierten Prozess, in dem die Möglichkeit gegeben wird, aus den bisherigen Erfolgen und Erfahrungen einzelner Projekte voneinander zu lernen und in dem sich sukzessive eine abgestimmte Roadmap für die Wärmewende der Region herauschälen könnte.**

- 1 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2017): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2016.
- 2 Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) am Umweltbundesamt (UBA) (2019): Erneuerbare Energien in Deutschland 2018 – Daten zur Entwicklung im Jahr 2018.
- 3 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2017): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2016.
- 4 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2017): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2016.
- 5 Hamburg Institut Research (HIR) (2015): Fernwärme 3.0. Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik.
- 6 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung; Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), Bundesanzeiger Verlag, 2009; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“.
- 7 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung; Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), Bundesanzeiger Verlag, 2009; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“.
- 8 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) / Fraunhofer IWES / Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE) (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global; Umweltbundesamt (UBA) (2014a): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050; Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. (BVEE): GROKO – II Szenarien der deutschen Energieversorgung auf der Basis des EEG-Gesetzesentwurfs – insbesondere Auswirkungen auf den Wärmesektor; Öko-Institut / Fraunhofer ISI (2014): Klimaschutzszenario 2050 , 2. Endbericht; Fraunhofer IWES / Fraunhofer IBP (2017): AGORA Wärmewende 2030.
- 9 Umweltbundesamt (UBA) (2014b): Der Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand; Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2016): Die neue Wärmewelt – Szenario für eine 100% erneuerbare Wärmeversorgung in Deutschland.
- 10 Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2015): Metaanalyse: Energiewende im Wärmesektor in Deutschland, Forschungsradar Energiewende; Prognos / EWI / GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose.
- 11 Shell/BDH (2013): Hauswärme-Studie. Klimaschutz im Wohnungssektor – wie heizen wir morgen? Fakten, Trends und Perspektiven für Heiztechniken bis 2030; Hamburg Institut Research (HIR) (2015): Fernwärme 3.0. Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie / Fraunhofer ISI / Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) (2017): Technologien für die Energiewende, Politikbericht.
- 12 Hamburg Institut Research (HIR) (2015): Fernwärme 3.0. Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik.
- 13 Fraunhofer IWES/ Fraunhofer IBP (2017): AGORA Wärmewende 2030; Fraunhofer ISE (2015): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050.
- 14 ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) (2010): Energiekonzept 2050. Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100 % erneuerbaren Energien.
- 15 Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. (BVEE) (2015): Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Eckdaten des Jahres 2014.
- 16 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2017): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2016.
- 17 Öko-Institut / Fraunhofer ISI (2014): Klimaschutzszenario 2050, 2. Endbericht.
- 18 Prognos / EWI / GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose.

- 19 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) / Fraunhofer IWES / Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE) (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.
- 20 Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2015): Metaanalyse: Energiewende im Wärmesektor in Deutschland, Forschungsradar Energiewende.
- 21 Umweltbundesamt (UBA) (2016): Metastudie nationale Energieszenarien und deutsche Energiepolitik.
- 22 Fraunhofer ISE (2015): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050.
- 23 ebd.
- 24 Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2015): Metaanalyse: Energiewende im Wärmesektor in Deutschland, Forschungsradar Energiewende.
- 25 Umweltbundesamt (UBA) (2014a): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050.
- 26 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) / Fraunhofer IWES / Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE) (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.
- 27 Prognos / EWI / GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose.
- 28 Ropohl, G. (2009) [1978] : Allgemeine Technologie, Eine Systemtheorie der Technik, 3. Überarbeitete Auflage, Universitätsverlag Karlsruhe.
- 29 Regionalverband Ruhr (RVR) (2017): Bericht zur Lage der Umwelt in der Metropole Ruhr 2017, Essen.
- 30 ebd.
- 31 ebd.
- 32 Regionalverband Ruhr (RVR) (2016): Regionales Klimaschutzkonzept zur „Erschließung der Erneuerbaren-Energien-Potenziale in der Metropole Ruhr“, Endbericht, Essen.
- 33 Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr GmbH (FWSRR) (2018): Schematische Karte zum Verlauf der FWSRR inkl. neu erschlossener Wärmequellen, Copyright © 2018 Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr GmbH.
- 34 Agemar, T. / Suchi, E. / & Moeck, I. (2018): Die Rolle der tiefen Geothermie bei der Wärmewende. Wie Deutschland 60 % erneuerbare Wärme bis 2050 schaffen könnte, Positionspapier, Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Leibniz.
- 35 Internationales Geothermiezentrum Bochum (GZB) (2019): Prinzipskizze tiefengeothermische Strom- und Wärmeerzeugung, Copyright © 2019 GeothermieZentrumBochum e.V.

BETEILIGTE WISSENSCHAFTLER/INNEN

Prof. Dr. Bernd Kriegesmann
Projektleiter

Minela Balic

Stefanie Bengfort

Torben Lippmann

Prof. Dr. Carsten Wolff

FÖRDERKENNZEICHEN

Fachhochschule Dortmund:
13FH0E11IA

Westfälische Hochschule: w
13FH0E12IA

GEFÖRDERT DURCH

Bundesministerium für Bildung und Forschung



PROJEKTPARTNER

Institut für Innovationsforschung und -management
Westfälische Hochschule | Koordinator



**Institut für die Digitalisierung von
Arbeits- und Lebenswelten**
Fachhochschule Dortmund

**Fachhochschule
Dortmund**

University of Applied Sciences and Arts

IDIAL Institute for the Digital Transformation
of Application and Living Domains

Smart Mechatronics GmbH



IMPRESSUM

HERAUSGEBER

© Institut für Innovationsforschung
und -management (ifi)
Zentrale wissenschaftliche Einrichtung
der Westfälischen Hochschule
Buscheyplatz 13
44801 Bochum
Prof. Dr. Bernd Kriegesmann

DESIGN UND REALISIERUNG

Art des Hauses
Agentur für Kommunikation und Design
Hörder-Semerteichstraße 175
44263 Dortmund

DRUCK

Druckerei Schneider GmbH
Am Luftschacht 6
45886 Gelsenkirchen

BILDNACHWEISE

Umschlag | Cover: © STEAG GmbH
Seite 07: © InnovationCity Ruhr | Modellstadt Bottrop
Seite 08: © Westfälische Hochschule
Seite 09: © VIVAWEST Wohnen GmbH
Seite 10: © STEAG GmbH
Seite 14: © Fernwärmeschiene Rhein-Ruhr GmbH
Seite 15: © GeothermieZentrum Bochum e.V.
Seite 17: © GeothermieZentrum Bochum e.V.
Seite 20: © RUB, Marquard