

Vertiefungsstudie

Wärmenetze und Langzeitwärmespeicher als Schlüsseltechnologien der nachhaltigen Wärmeversorgung

Entwicklungspotenziale und Handlungsoptionen

Vertiefungsstudie im Rahmen des Vorhabens „Diffusionspfade“ im Rahmen der BMBF Bekanntmachung „Innovationspolitische Handlungsfelder für die nachhaltige Entwicklung“ im Rahmen der Innovations- und Technikanalyse

Dr. Jens Clausen

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
Clayallee 323
D-14169 Berlin
www.borderstep.de

Berlin, 2013

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Low-Exergy Technologien zur Wärmeversorgung | 5 |
| 3 | Technologiebeschreibung | 8 |
| | 3.1 Wärmenetze | 8 |
| | 3.2 Langzeitwärmespeicher | 8 |
| 4 | Analyse des Diffusionssystems Wärmenetze | 10 |
| | 4.1 Einflussfaktoren auf die Diffusion von Wärmenetzen | 11 |
| | 4.2 Rolle der Pioniere des Wandels | 16 |
| | 4.3 Pfadtyp | 16 |
| | 4.4 Chronik und Schlüsselereignisse | 17 |
| | 4.5 Umwelteffekte | 18 |
| 5 | Entwicklung von Szenarien mit dem Zeithorizont 2030/2050: | 19 |
| | 5.1 Nationale Energieversorgungsszenarien | 19 |
| | 5.2 Abschätzung des Marktes für Wärmenetze bis 2050 | 22 |
| | 5.3 Exkurs Langzeitwärmespeicher..... | 26 |
| 6 | Handlungsstrategien Wärmeversorgung | 30 |
| | 6.1 Fazit zur Sektorentwicklung | 30 |
| | 6.2 Interventionsoptionen | 33 |
| 7 | Literatur | 35 |

1 Einleitung

Ziel dieser Vertiefungsstudie ist es, die ökologischen und ökonomischen Potenziale von zwei Produkten mit hoher Relevanz für die Energiewende herauszuarbeiten, ihre Diffusionssysteme zu bewerten sowie mit Blick auf die bestehenden Interventionsoptionen Handlungsstrategien für Politik, Unternehmen und Intermediäre zu entwickeln.

Zur Auswahl stehen die im Projekt bearbeiteten Produktfelder mit hoher Relevanz für die Energiewende, d.h. mit hohen Potenzialen für Energieeinsparung oder den Einsatz von erneuerbarer Energien:

- Energieeffiziente Elektrogeräte und Beleuchtung,
- Bau- und Heiztechnik,
- Regenerative Energieanlagen,
- Low-Exergy Energiesysteme sowie
- Mobilität.

Mit Blick auf den in der Beschreibung des Clusters „Komplexe Produkte mit unklarem oder langfristigem Nutzen“ (Fichter & Clausen 2012) insgesamt deutlich werdenden Handlungsbedarf wurde das Produktfeld Low-Exergy Energiesysteme, ausgewählt, da hier weder eine durch starke Anbieter getragene Eigendynamik die Diffusion fördert, wie sie z.B. für IT-Innovationen charakteristisch ist, noch eine deutliche staatliche Förderung präsent ist, wie sie z.B. die Erzeugung regenerativen Stroms in Gang gesetzt hat.

Für das ausgewählte Produktfeld werden anschließend vertiefende Analysen erarbeitet, die folgende Arbeitsschritte umfassen:

- (1) *Technologiebeschreibung*: Darstellung der ausgewählten Innovationen, deren Diffusion vertieft betrachtet werden soll.
- (2) *Analyse des Diffusionssystems*: Unter Rückgriff auf das von Fichter und Clausen (2012) entwickelte Modell des Diffusionssystems sowie die empirischen Erkenntnisse wird eine Beschreibung des Diffusionssystems der zwei ausgewählten Produkte vorgenommen. Diese umfasst:
 - Die Darstellung der zentralen Einflussfaktoren auf die Diffusion der ausgewählten Technologien,
 - Eine vertiefte Betrachtung der Pioniere und ihrer besonderen Rolle als Schlüsselakteure, insbesondere im Kontext von Grundlageninnovationen,
 - Pfadtypen und ihre Charakteristika zeigen die Unterschiedlichkeit von Diffusionsprozessen und die unterschiedliche Interventionsoptionen bzw. –bedarfe,
 - Schlüsselereignisse als spezifische und bedeutsame Einflusskraft,
 - Umwelteffekte der Diffusion, die auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden müssen und ein Monitoring benötigen, um zu sehen, ob die Innovation schlussendlich auch zum gewünschten Erfolg führt.

- (3) *Entwicklung von Szenarien mit dem Zeithorizont 2050:* Es werden Entwicklungsszenarien erarbeitet, die die Umweltentlastungs- und Nachhaltigkeitspotenziale sowie die ökonomischen Potenziale mit dem Zieljahr 2050 beschreiben.
- (4) *Ableitung von Handlungsstrategien zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen:* Unter Rückgriff auf mögliche Instrumente der Diffusionsförderung sowie der Förderung eines nachhaltigen Konsums bzw. einer nachhaltigen Produktion werden Handlungsstrategien erarbeitet.

2 Low-Exergy Technologien zur Wärmeversorgung

Zu den Low-Exergy Technologien, also denjenigen Technologien, die aus Energiepotenzialen mit niedrigem Niveau an Exergy wie z.B. Abwärme Nutzenergie gewinnen, zählen wir die

- Industrielle Abwärme, Abwärme aus KWK, Bioenergiedörfer und BHKW, Solarthermie, Tiefe Geothermie und Wärmepumpen als Wärmequellen,
- Langzeitwärmespeicher, Wärmenetze und Mobile Wärme als Wärmeverteilungstechnologien sowie
- Absorptionskältemaschinen, Geothermisches und Hydrothermales Kühlen als Low-Ex Kühltechnologien.

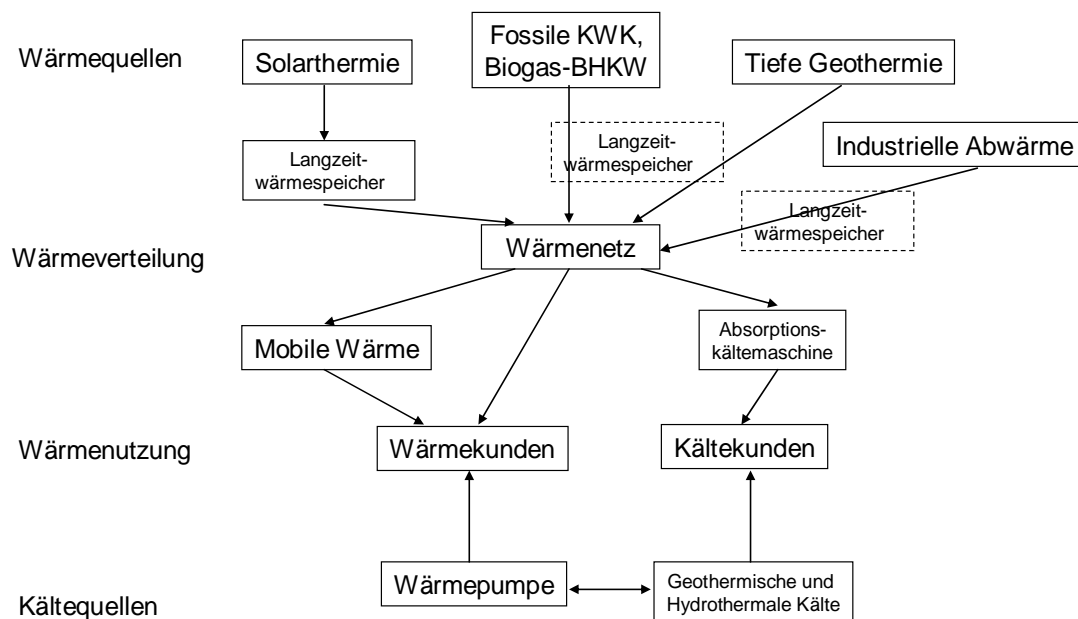
Die Analyse der Diffusion nur einzelner Low-Exergy Technologien ist insoweit unbefriedigend, als die Technologien ihre volle Wirksamkeit erst in einer sinnvollen Kombination erreichen. So rechnet z.B. das Basisszenario A der BMU Leitstudie zum Ausbau der erneuerbaren Energien Deutschland (DLR et al. 2011, 62) damit, dass schon in 2015 1,3 TWh/a an solarer Nahwärme in Netzen verteilt werden, also Wärme, die primär im Sommer gewonnen werden kann, die aber in Herbst und Winter erst gebraucht wird. Es ist leicht vorstellbar, dass dies ohne marktreife Langzeitwärmespeicher nicht gelingen kann. Für Langzeitwärmespeicher haben wir jedoch in 2012 keinen einzigen deutschen Anbieter identifizieren können. Eine Reihe weiterer spezifischer Diffusionshemmnisse finden wir bei anderen Technologien:

- Der weitere Kapazitätsausbau der ländlichen Biogaserzeugung ist zumindest unsicher, da das Problem der Flächenkonkurrenz von Energie-, Nahrungs- und Futterpflanzen den Diskurs immer stärker bestimmt. Zudem gewinnt die Debatte um Windmethan an Fahrt, da dies mit einem deutlich höheren Flächenertrag gewonnen werden kann als Biomethan. Der weitere Pfadverlauf ist kaum abschätzbar.
- Die tiefe Geothermie ist nach wie vor in jedem Anwendungsfall mit Fündigkeitsrisiken verbunden und weit von der Serienreife entfernt.
- Die Zahl der Wärmenetze soll in der Vorstellung der Bundesregierung (DLR et al. 2011 und 2012) deutlich steigen. Die Finanzierung von Wärmenetzen ist jedoch nur sehr langfristig rentabel, bietet daher erhebliche Schwierigkeiten und erfordert vermutlich neue Geschäftsmodelle.
- Die Mobile Wärme ist zwar eine relativ einfache Idee, befindet sich aber erst am Anfang der Demonstrationsphase.
- Absorptions- und andere wärmegetriebene Kältemaschinen wären zwar in vielen Anwendungsbereichen zur sommerlichen Kühlung hilfreich und könnten die Auslastung der Wärmenetze erhöhen, sind aber im Regelfall erst bei mehreren tausend Betriebsstunden jährlich und bei Nutzung quasi kostenloser Wärme rentabel, was wiederum andere Geschäftsmodelle der Netzbetreiber erfordert.
- Geothermisches und hydrothermales Kühlen stößt in der Diffusion auf die organisationale Pfadabhängigkeit, das die Mehrzahl der Kältetechnikunternehmen die Kälteversorgung aus Erfah-

nung generell über Kompressionskälteanlagen löst und die Zusammenarbeit mit Genehmigungsbehörden und eine Partnerschaft mit Geologen und Bohrunternehmen erst aufgebaut werden müsste.

Ein zukünftiges System der integrierten Versorgung mit Wärme und Kälte aus Low-Exergy Quellen stellt daher eine Vernetzung diverser neuer bzw. noch wenig verbreiteter Technologien dar und ist in der Entwicklung mit vielen Unsicherheiten verbunden.

Abbildung 1: Ein System der integrierten Versorgung mit Wärme und Kälte aus Low-Exergy Quellen



Quelle: Eigene.

Eine Reihe von Potenzialen der Effizienz der Wärme- und Kälteversorgung könnte mit diesem System nur erschlossen werden, wenn die oben angesprochenen Diffusionshemmnisse abgebaut werden. Im Folgenden fokussiert diese Vertiefungsstudie aber auf zwei Wärmetechnologien: Wärmenetze und Langzeitwärmespeicher. Beiden Technologien kommt eine Schlüsselrolle bei der zukünftigen Wärmeversorgung zu. Diese begründet sich wie folgt:

Wärmenetze ermöglichen die Verteilung und Nutzung von Wärme, die nicht dezentral in Einzelhäusern erzeugt werden kann. Zu den Wärmeströmen, die nur mit Netzen genutzt werden können, gehören beispielhaft:

- Abwärme aus industriellen Quellen oder Rechenzentren,
- Wärme aus der Verbrennung von Waldrestholz, dessen Verbrennung in kleinen Öfen nicht erlaubt ist,

- Wärme aus tiefen geothermischen Bohrungen, deren Leistung für die Versorgung vieler Gebäude ausreicht,
- Wärme aus Solarkollektorfeldern,
- Wärme aus mittlerer und großer KWK.

Langzeitwärmespeicher bieten die Möglichkeit, nicht nur räumlich, sondern zeitlich verschoben Wärme zu nutzen. Grundsätzlich verbessern sie damit die Möglichkeit:

- Abwärme aus ganzjährig betriebenen industriellen Quellen oder Rechenzentren, soweit sie im Sommer anfällt, zumindest anteilig im Herbst und Winter zu nutzen,
- Wärme aus Solarkollektorfeldern, die grundsätzlich im Sommer anfällt, zumindest anteilig im Herbst und Winter zu nutzen,
- Wärme aus mittlerer und großer KWK die ganzjährig betrieben werden soll, soweit sie im Sommer anfällt, zumindest anteilig im Herbst und Winter zu nutzen.

3 Technologiebeschreibung

3.1 Wärmenetze

Über Wärmenetze erfolgt die Wärmelieferung zur Versorgung von Gebäuden mit Heizung und Warmwasser. Es kommen unterschiedliche Wärmequellen (BHKW, Solar, Abwärme, Geothermie) zur Anwendung.

Der Transport der thermischen Energie erfolgt in einem wärme gedämmten Rohrsystem, das überwiegend erdverlegt ist. Als technische Komponenten sind darüber hinaus sogenannte Hausübergabestationen erforderlich, in denen die Wärme in einem Wärmetauscher auf ein separates Hausnetz übertragen und auch der Wärmeverbrauch erfasst wird. Weiter benötigt es eine Steuer- und Regeltechnik für das Wärmenetz.

Als Wärmeträger wird fast immer warmes Wasser eingesetzt. Dampfnetze sind ausgesprochen selten. Die Temperatur in den Netzen wird im Winter oft auf eine Vorlauftemperatur von ca. 110°C eingestellt, im Sommer oft niedriger, da die Wärmeabnahme dann geringer ist. Erste innovative Netze arbeiten als „kalte Wärmenetze“ mit Vorlauftemperaturen von 30°C bis 40°C, womit nur moderne Gebäude mit Flächenheizung direkt beheizt werden können. In anderen Gebäuden ist zur Nutzung dieser Wärme eine Wärmepumpe erforderlich, die allerdings aufgrund der günstigen Vorlauftemperatur eine günstige Arbeitszahl aufweist.

Eine wesentliche Eigenschaft der netzgebundenen Wärmeversorgung ist die Flexibilität und Zukunftsoffenheit hinsichtlich der Wahl der Energieträger. Die Nachrüstung verbesserter Technologien und vor allem die Umrüstung auf zukünftige, neue Technologien (zum Beispiel Brennstoffzellen oder Nutzung regenerativer Energiequellen) sind in einer zentralen Anlage einfacher möglich als in einer Vielzahl von Einzelheizungen (AGFW 2000).

Wärmenetze bilden damit eine wichtige Basisinfrastruktur, um die Wärmeversorgung von Gebäuden von hochexergetischen Quellen wie Gas, Öl oder Pellets auf niederexergetische Quellen wie Abwärme, Solarwärme oder tiefegeothermische Wärme umzustellen. Ohne Wärmenetze können diese Potenziale nicht in vollem Umfang erschlossen werden.

3.2 Langzeitwärmespeicher

Langzeitspeicher sind eine völlig neue Technologie ohne funktionell gleichwertigen Vorläufer und können z.B. saisonale Wärmespeicher in der Niedrigenergie-Solarthermie sein. Die wichtigsten Typen sind: Heißwasser-Wärmespeicher (gedämmte Behälter mit Wasser), Kies/Wasser-Wärmespeicher (gedämmte Behälter mit Kies/Wasser-Gemisch), Erdsonden-Wärmespeicher (Boden in bis zu 100 m Tiefe wird erwärmt) und Aquifer-Wärmespeicher (Grundwasser und Erde werden erwärmt - funktioniert nur mit stehendem Grundwasser).

Abbildung 2: Langzeitwärmespeicher der ersten Generation in Hamburg Bramfeld



Quelle: Schlosser 2010.

Der Klimaschutzbeitrag hängt von der eingesparten Primärenergie ab, d.h. letztlich vom (Langzeit-) Wirkungsgrad des Speichers. Hier herrscht noch Unsicherheit. Schlosser (2010) schätzte den Wirkungsgrad im Falle des – mittlerweile sanierten - Speichers in Hamburg Bramfeld auf kaum mehr als 15 % bis 20 % und den Speicherverlust auf über 80 %. Marstal Fjernvarme (2005) berichtet über einen Speicherwirkungsgrad von um die 50 %, einen solaren Deckungsgrad von 30 % des Gesamtsystems zur Versorgung einer Kommune mit 2.400 Einwohnern und Fernwärmekosten unter Einschluss der Speicherkosten von ca. 4,5 Cent/kWh. Auch Nußbicker-Lux (2009) berichtet im Falle eines Bohrlochspeichers (Projekt Neckarsulm) über einen Speicherwirkungsgrad von knapp 50 %.

Abbildung 3: Kollektorfeld und Langzeitwärmespeicher (rechts unten) im dänischen Marstal



Quelle: Google Maps 2011.

4 Analyse des Diffusionssystems Wärmenetze

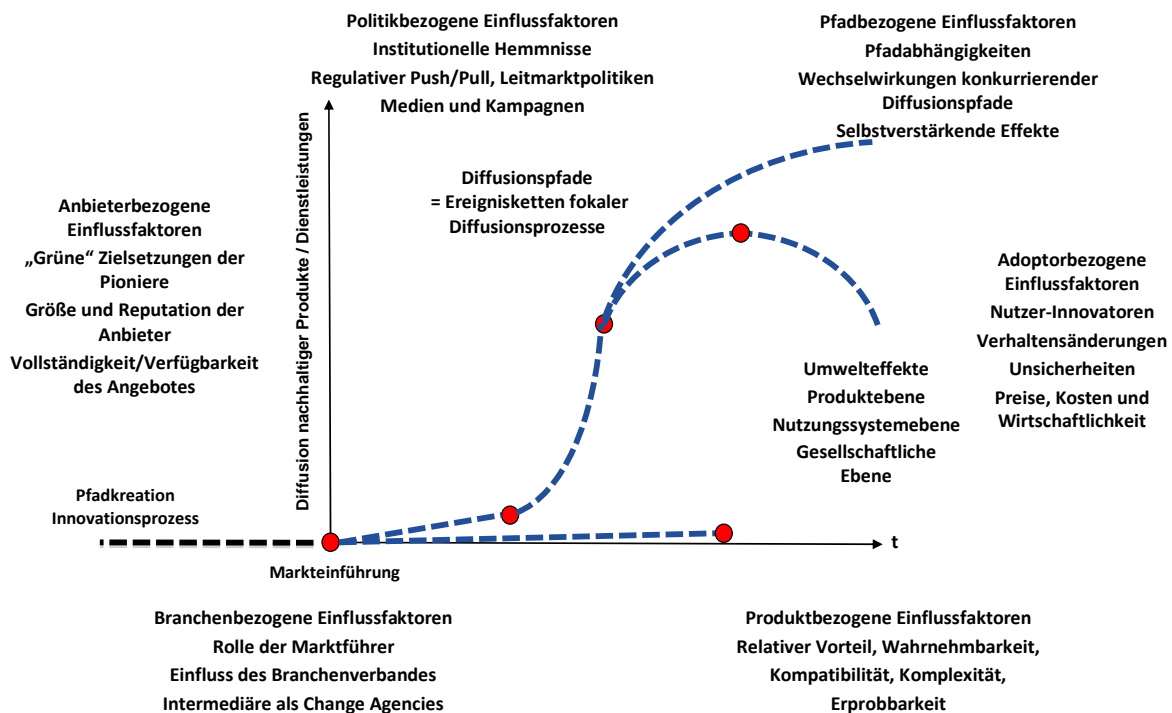
Die Entwicklung von Märkten als Folge der Diffusion von Technologien ist ein komplexer und dynamischer Prozess. Die neoklassische Vorstellung der Ökonomie, die Märkte und Marktakteure quasi als direkte Reaktion auf die Artikulation von Bedarfen entstehen sieht, ist unpraktikabel und unterkomplex. Genauso greift der Ansatz der Konsumforschung, die Frage der Diffusion primär auf Wünsche und Werthaltungen des Adoptors (Kunden), Produkteigenschaften sowie ggf. noch Regulierungen zurückzuführen, zu kurz. Fichter und Clausen (2012) beschreiben den Diffusionsprozess als abhängig von 6 Einflussphären:

- (1) Produktbezogene Einflüsse,
- (2) Adoptorbezogene Einflüsse,
- (3) Anbieterbezogene Einflüsse,
- (4) Branchenbezogene Einflüsse,
- (5) Politikbezogene Einflüsse,
- (6) Pfadbezogene Einflüsse.

Hinzu kommen bestimmte Schlüsselereignisse, wie z.B. Marktein- oder Austritte großer Unternehmen, der Beschluss über Regulierungen oder Förderungen u.a.m.

Je nach der Innovation, die sich im Markt verbreiten soll, können dabei solche Prozesse stark von Produkt und Adoptor getrieben werden, stark mit Anbieter und Branche zusammenhängen oder stark durch Regulierungen getrieben werden. In bestimmten Fällen wird die Diffusion durch Pfadefekte verlangsamt oder beschleunigt, wenn z.B. eine technische Infrastruktur nur aufwendig und langsam veränderbar ist.

Abbildung 4: Modell zur Untersuchung von Diffusionspfaden von Nachhaltigkeitsinnovationen



Quelle: Clausen & Fichter 2012.

4.1 Einflussfaktoren auf die Diffusion von Wärmenetzen

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick über die Faktoren, die die Diffusion von Wärmenetzen nach dem vorliegenden Informationsstand beeinflussen. Sie ist dabei gegenüber der Erhebung im empirischen Teil der Projektes weiter entwickelt, da im Kontext der Vertiefungsstudie weitere Erkenntnisse eingeflossen sind:

| Produktbezogene Faktoren | Fakten |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Relativer Vorteil der Innovation: Welchen funktionellen oder ökonomischen Vorteil hat die Innovation im Vergleich zum Vorgängerprodukt? | Für Endkunden entfällt bei (hoffentlich) gleicher Versorgungssicherheit die Notwendigkeit, eigene Wärmeerzeuger zu betreiben und betriebsbereit zu halten sowie warten zu lassen. Manche Versorger sprechen deshalb von höherem Komfort, was auch in Befragungen deutlich wird (Clausen et al. 2012). |
| 2. Wahrnehmbarkeit: Ist die Nutzung der Innovation durch Dritte wahrnehmbar, ohne das durch besondere Informationsanstrengungen auf sie hingewiesen wird? | Wärmenetze sind nicht optisch wahrnehmbar. |
| 3. Kompatibilität: Ist die Innovation an ihr Umfeld technisch, institutionell und kulturell anschlussfähig? | Bei „warmen“ Wärmenetzen mit Temperaturen von 70°C oder mehr gut kompatibel mit üblichen Wärmeverteilungssystemen (Heizkörpern) im Haus. Weniger kompatibel sind sie, wenn über „kalte“ Fernwärmenetze nur Temperaturen verteilt werden, die Flächenheizungen verlangen (z.B. 35°C). |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Komplexität: Ist die Innovation für den Adopter komplex und bedarf es besonderen Fachwissens zum Verständnis? | Netzstruktur und Funktionalität sind komplex. Für den Adopter ist dies jedoch unwesentlich, da er für den Netzbetrieb nicht verantwortlich ist. |
| 5. Erprobbarkeit: Kann die Innovation ohne großen Aufwand durch Anwender erprobt werden? | Nicht erprobbar. |

| Adopterbezogene Faktoren | Fakten |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6. Nutzer-Innovatoren: Lassen sich im <u>Innovationsprozess</u> bzw. bei der Markteinführung Innovatoren auf der Anwenderseite identifizieren? Wenn ja, wer sind diese und um welche Art von Innovatoren handelt es sich? Gibt es Hinweise, dass Nutzer-Innovatoren gezielt in den Herstellerinnovationsprozess integriert wurden? | <p>Insbesondere in Neubaugebieten entwickelt sich Nahwärme zunehmend zum Standard, da der Heizenergiebedarf für ein Einzelhaus nicht mehr ausreicht, um eine fossile Feuerstätte auszulasten.</p> <p>Durch ein hohes Maß an kooperativer Selbstverwaltung von Nahwärmenetzen erscheint auch eine Kontrolle der Netze durch die Anwender möglich und damit die Nutzintegration bei der Gestaltung der Netze als vergleichsweise sicher. Dies wird z.B. durch die Gründung vieler Bioenergie-dörfer als Genossenschaft oder Energiegenossenschaften zur Nutzung anderer Energiequellen deutlich.</p> |
| 7. Notwendigkeit von Verhaltensänderung: Verlangt die Anwendung der Innovation beim Adopter eine Verhaltensänderung? | Beim Anwender sind keine wesentlichen Verhaltensänderungen erforderlich. Es entfällt allerdings die Notwendigkeit, jährlich Schornsteinfeger oder Thermenwartung zu beauftragen. |
| 8. Unsicherheiten bei Adoptoren: Inwieweit gab oder gibt es unter den Adoptoren Unsicherheiten bezüglich der Innovation? | Die zukünftige Abhängigkeit der Wärmeversorgung von einem Wärmenetzbetreiber wird selbst dann als Unsicherheit empfunden, wenn vorher die Abhängigkeit von einem Gasnetzbetreiber bestand. |
| 9. Preise, Kosten, Wirtschaftlichkeit: Inwieweit fördern oder hemmen Preis-, Kosten- oder Wirtschaftlichkeitsaspekte die Adoption? | Die Frage der Netzkosten ist zumindest eine wirtschaftliche Unwägbarkeit. Diese sind abhängig von der raumplanerischen Struktur des möglichen Nahwärmeversorgungsgebietes sowie von der gewählten Netztechnologie. Die realen Kosten für Netze und Hausstationen schwanken zzt. noch sehr stark. Die stark wachsende Zahl von kleineren Netzen weist in vielen Fällen aber auf eine mögliche Wirtschaftlichkeit zumindest dann hin, wenn ein Anspruch auf Förderung besteht. |

| Anbieterbezogene Faktoren | Fakten |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10. „Grüne“ Zielsetzungen der Pioniere: Zeichnen sich die Pionieranbieter der Innovation durch ökologische Zielsetzungen und Überzeugungen aus? | Zu den Pionieren gehören die Initiatoren von Bioenergie-dörfern mit Wärmenetzen sowie von städtischen Energiegenossenschaften, die Netze errichten. Bei diesen sind ökologische Zielsetzungen durchaus gegeben. |
| 11. Größe und Reputation der Anbieter: Existieren bereits Anbieter der Innovation, die über einen hohen Bekanntheitsgrad und hohe Reputation verfügen? | Es gibt bisher keine großen und sichtbaren Anbieter, die ortsunabhängig Wärmenetze für regenerative Wärmequellen aktiv bewerben, bauen und betreiben würden. Entsprechend aktive Akteure existieren allerdings rund um die (meist fossile) KWK-Technologie und in einzelnen Fällen auch mit Fokus auf klassische Heizwerke. |
| 12. Vollständigkeit und Verfügbarkeit der Servi- | Nahwärmenetze können überall geplant und realisiert |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ceangebote: Wird die Innovation mit einem vollständigen Servicepaket angeboten und ist sie für den Kundenkreis einfach verfügbar? | werden. Es existiert jedoch kein vollständiges Servicepaket. Vielmehr muss um jede Projektidee herum eine eigene Institution in Gestalt einer Betriebsgesellschaft oder – genossenschaft geschaffen werden. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| Branchenbezogene Faktoren | Fakten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 13. Rolle des Branchenverbandes: Existiert zum Zeitpunkt der Markteinführung ein Branchenverband, verfügt er über politischen Einfluss und setzt er diesen für die Förderung der Innovation ein? | Der „Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.“, früher „Arbeitsgemeinschaft Fernwärmenetze“ (AGFW) wurde 1971 gegründet. Er umfasst etwa 440 Betreiber, Planer und „Hersteller“ von Netzen, stark vertreten sind hier Fernwärmenetzbetreiber. Der Verband unterstützt den Zubau neuer Netze kaum, er betreibt eher Lobbypolitik für die existierenden Netzbetreiber. Im Bundesverband Fernwärmeleitungen (BFW) sind 13 Hersteller von Komponenten zusammengeschlossen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14. Rolle der Marktführer: Wer waren die Marktführer in der Branche, in dem die Innovation eingeführt wurde und fördern oder hemmen sie die Diffusion? | Sieht man als Marktführer die Energieversorger, so betreiben diese seit vielen Jahren die Fern- und meist auch die Nahwärmenetze (Clausen 2005). Da sie meist gleichzeitig Gasversorger sind (a.a.O.), ergibt sich bei Vorhandensein eines Gasanschlusses ein Interessenkonflikt der Versorger. Sie treiben den Netzzu- oder -ausbau allerdings nicht wesentlich voran. So hat sich die dem AGFW gemeldete Trassenlänge seit 1999 nur um 10 % erhöht. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <caption>Trassenlänge in km (1999-2010)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Trassenlänge in km</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1999</td><td>17.840</td></tr> <tr><td>2000</td><td>18.324</td></tr> <tr><td>2001</td><td>17.966</td></tr> <tr><td>2002</td><td>18.448</td></tr> <tr><td>2003</td><td>18.762</td></tr> <tr><td>2004</td><td>18.588</td></tr> <tr><td>2005</td><td>18.690</td></tr> <tr><td>2006</td><td>18.888</td></tr> <tr><td>2007</td><td>18.438</td></tr> <tr><td>2008</td><td>18.451</td></tr> <tr><td>2009</td><td>19.538</td></tr> <tr><td>2010</td><td>19.359</td></tr> </tbody> </table> <p>AGFW 2011</p> | Jahr | Trassenlänge in km | 1999 | 17.840 | 2000 | 18.324 | 2001 | 17.966 | 2002 | 18.448 | 2003 | 18.762 | 2004 | 18.588 | 2005 | 18.690 | 2006 | 18.888 | 2007 | 18.438 | 2008 | 18.451 | 2009 | 19.538 | 2010 | 19.359 |
| Jahr | Trassenlänge in km | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1999 | 17.840 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 18.324 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2001 | 17.966 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2002 | 18.448 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2003 | 18.762 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2004 | 18.588 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2005 | 18.690 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2006 | 18.888 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2007 | 18.438 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2008 | 18.451 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2009 | 19.538 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2010 | 19.359 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15. Intermediäre als Change Agencies: Inwieweit haben Marktintermediäre (z.B. Handelsunternehmen) und Politikintermediäre (z.B. Energie-, Effizienz-, Klimaschutzagenturen) bis dato den Diffusionsverlauf beschleunigt oder gebremst? | Agenturen, die die Verbreitung von Wärmenetze fördern, sind nicht bekannt. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Politische Faktoren | Fakten |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16. Institutionelle Hemmnisse: Inwieweit haben gesetzliche oder behördliche Regelungen die Verbreitung der Innovation bis dato gehemmt? | Abgesehen von der vor 2008 gänzlich fehlenden Förderung stellen Grundstücks- und Wegerechte ein institutionelles Hemmnis dar. |
| 17. Staatliche Push- und Pull-Aktivitäten: Inwieweit wurde die Innovation durch regionale, nationale oder EU-weite Vorschriften (Push) oder | Deutlich gefördert wurde der Ausbau der großen Wärmenetze in den 1970er und 80er Jahren. Eine wirksame Förderung für neue, KWK-basierte Netze wurde erst wieder |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Förderaktivitäten (Pull) in ihrer Verbreitung beschleunigt? Spielen dabei explizite Umwelt- oder Nachhaltigkeitszielsetzungen eine Rolle? | durch das novellierte KWK-Gesetz aus 2008 erreicht. Netze auf regenerativer Basis werden nach den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ auf Basis des 2009 beschlossenen EEWärmeG gefördert. Netze auf Basis von Abwärme oder Netze mit gemischten Quellen wurden bis 2012 nicht gefördert, die Förderung von Abwärmenetzen wird aber in 2012 als Sonderfall in das KWKG aufgenommen. |
| 18. Leitmarktpolitiken: Ist die Innovation Teil einer gezielten Leitmarktpolitik auf regionaler, nationaler oder EU-Ebene? Spielen dabei explizite Umwelt- oder Nachhaltigkeitszielsetzungen eine Rolle? | Keine. |
| 19. Medien und Kampagnen: Inwieweit haben Medien (Presse, Rundfunk etc.) und Kampagnen von NGOs den Diffusionsverlauf beschleunigt oder gebremst? | Wenig überregionale Presse- und Medienresonanz. Ein Wärmenetz ist kein iPhone. |

| Pfadbezogene Faktoren | Fakten |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20. Pfadabhängigkeiten: Inwieweit haben technologische oder wirtschaftliche Pfadabhängigkeiten die bisherige Diffusionsgeschwindigkeit gebremst? | Es scheint ein deutliches Lock-In der Netzstrukturen zu geben. So verhindert ein vorhandenes Gasnetz den wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes und vice versa. |
| 21. Preisentwicklung: Wie hat sich der (inflationsbereinigte) Preis im Verlauf des Diffusionsprozesses entwickelt? | Die Netzkosten sinken durch neue, flexible Rohrtechnologien. Auch die Preisentwicklung bei Hausübergabestationen führt zu günstigeren Kosten. |
| 22. Selbstverstärkende Effekte: Sind im sozialen System des Diffusionsprozesses selbstverstärkende Effekte wie z.B. Nachahmungseffekte aufgrund von Vorbildern/ Prominenten/ Meinungsführern oder kritische Masse-Phänomene zu beobachten? | Beteiligen sich an einem konkreten lokalen Netz bereits viele Anlieger, so kann u.U. ein selbstverstärkender Effekt dann einsetzen, wenn durch die bereits gezeichnete Zahl von Verträgen niedrige Kosten absehbar werden. Ein projektübergreifender selbstverstärkender Effekt ist im Bereich der Bioenergiedörfer zu beobachten. |

Fokussiert auf die in der Faktorenanalyse herausgearbeiteten sieben neuen Faktoren lässt sich die Diffusionsdynamik von Wärmenetzen wie folgt erklären:

| Faktor | Ausprägung |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Marktmacht etablierter Anbieter | Etwa 230 Fernwärmenetzbetreiber unterhalten meist lokale, mittlere und große Netze und werden durch die AGFW vertreten. Ihre Aktivität fokussiert auf KWK-Netze, manchmal auf Basis von Bioenergie, während in die Primärenergiequellen tiefe Geothermie und Solarkollektorfelder sowie in die Nutzung vorhandener Abwärme nicht oder nur in geringem Ausmaß investiert wird. |
| Politischer Push & Pull | Große Netze wurden in den 1970er und 80er Jahren stark gefördert. Durch das KWK-G und das EEWärmeG ist seit 2008 eine gewisse Dynamik im Zubau sehr kleiner Netze entstanden. |

| | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Einfluss der Pioniere | Gerade die kleinen Netze rund um Biogasanlagen, besonders in den Bioenergiedörfern, werden von grünen Pionieren anteilig in Genossenschaften organisiert. Einige intrinsisch motivierte Betreiber errichten erste geothermische Netze. |
| Kaufanreiz | Für den Endkunden ist die Aussicht auf langfristig stabile Wärmekosten und Unabhängigkeit von Schwankungen der Gas- oder Ölpreise wichtig. |
| Vereinbarkeit mit Routinen | Das Verhalten der Endkunden muss sich nicht ändern. |
| Preis und Wirtschaftlichkeit | Die Kostenstruktur von Wärmenetzen mit ihren hohen Anteilen an Abschreibungen auf Investitionen und niedrigen Primärenergiekosten führt zu Finanzierungsproblemen der Anfangsinvestitionen. |
| Durchschaubarkeit der Innovation | Ein Wärmenetz ist aus Sicht des Endkunden nicht sehr komplex, Unsicherheiten bestehen manchmal aber hinsichtlich der Versorgungssicherheit. |

Während also die Zahl der Netze, die durch fossile KWK oder Bioenergie gespeist werden langsam steigt, sind die Entwicklung rund um die Low-Exergy Energiequellen Geothermie, Solar und Abwärme noch zu langsam, um die anspruchsvollen Ziele der Bundesregierung zu erreichen. Durch zusätzliche Anstrengungen sollte nicht nur der Netzausbau an sich, sondern besonders die Erschließung von Low-Exergy-Wärmequellen in Gang gesetzt werden.

Marktmacht etablierter Anbieter

Etwa 230 Fernwärmenetzbetreiber unterhalten meist lokale, mittlere und große Netze und werden durch die AGFW vertreten. Ihre Aktivität fokussiert auf KWK-Netze, manchmal auf Basis von Bioenergie, während in die Primärenergiequellen tiefe Geothermie und Solarkollektorfelder sowie in die Nutzung vorhandener Abwärme nicht oder nur in geringem Ausmaß investiert wird.

Politischer Push & Pull

Große Netze wurden in den 1970er und 80er Jahren stark gefördert. Durch das KWK-G und das EE-WärmeG ist seit 2008 eine gewisse Dynamik im Zubau sehr kleiner Netze entstanden.

Einfluss der Pioniere

Gerade die kleinen Netze rund um Biogasanlagen, besonders in den Bioenergiedörfern, werden von grünen Pionieren anteilig in Genossenschaften organisiert. Einige intrinsisch motivierte Betreiber errichten erste geothermische Netze.

Kaufanreiz

Für den Endkunden ist die Aussicht auf langfristig stabile Wärmekosten und Unabhängigkeit von Schwankungen der Gas- oder Ölpreise wichtig.

Vereinbarkeit mit Routinen

Das Verhalten der Endkunden muss sich nicht ändern.

Preis und Wirtschaftlichkeit

Die Kostenstruktur von Wärmenetzen mit ihren hohen Anteilen an Abschreibungen auf Investitionen und niedrigen Primärenergiekosten führt zu Finanzierungsproblemen der Anfangsinvestitionen.

Durchschaubarkeit der Innovation

Ein Wärmenetz ist aus Sicht des Endkunden nicht sehr komplex, Unsicherheiten bestehen manchmal aber hinsichtlich der Versorgungssicherheit.

4.2 Rolle der Pioniere des Wandels

Im Bereich der ländlichen Regionen lassen sich als Pioniere sowohl die Bioenergiedörfer identifizieren, von denen die Website www.wege-zum-bioenergiedorf.de im Mai 2012 schon 99 ausweist (BMELV 2012). Einige davon finden sich in der Liste der 41 Nahwärmegenossenschaften wieder, die Degenhart schon Mitte 2010 zusammengestellt hat. In Städten sind Zahlen über Genossenschaften oder andere Organisationsformen, die gemeinsam ein BHKW betreiben und die Wärme verteilen nicht bekannt.

Ob es zweckmäßig ist, auch die Contracting-Gesellschaften einiger Stadtwerke oder anderer Energieversorger dazuzurechnen, ist zu bezweifeln. Mit dem Unternehmen Fernwärme Nord GmbH in Bremerhaven ist zumindest ein Unternehmen bekannt, dessen Unternehmenszweck auf den Betrieb von kleinen und mittleren Wärmenetzen gerichtet ist und das insoweit zu den Pionieren zu rechnen ist.

Sowohl mit den Nahwärmegenossenschaften und Bioenergiedörfern als auch mit den überregional aktiven Contractingunternehmen im Wärmebereich etablieren sich neue Geschäftsmodelle, die eine Basis für die Erschließung des im Folgenden skizzierten Marktes bilden könnten. In einer Befragung von Contractingunternehmen der Stadtwerke finden IZES et al. (2011: 33f) jedoch, dass Wärme- oder Energieliefer-Contractingverträge aktuell stets Einzelfälle bleiben und Wärmelieferung auch erst bei Objekten oberhalb 1.000 m² interessant wird. Mit Blick auf die Theorie des organizational Imprinting (Clausen 2004, 92ff) ist also zu bedenken, dass bei den Spin-Offs der etablierten Stadtwerke wirklich neue Geschäftsmodelle möglicherweise nur schwer etabliert werden können.

4.3 Pfadtyp

Sowohl Wärmenetze als auch Langzeitwärmespeicher wurden dem Diffusionspfad der „komplexen Produkte mit unklarem oder langfristigen Nutzen“ zugeordnet (Fichter & Clausen 2012). Dieser verläuft langsam und in seiner Innovationsphase spielen unkonventionell Akteure eine Rolle, einige Produkte existieren aber nicht als marktreifes Angebot sondern nur als „Idee zum Nachmachen“, so z.B. Langzeitwärmespeicher. So fehlt ihnen nicht nur das Renommee, sondern auch die Lernkurve, die in der kontinuierlichen Herstellung durch erfahrene Unternehmen erzielt wird.

Zwar engagieren sich staatliche Förderer im Diffusionsprozess, aber aufgrund der unklaren Akteurslage und dem schwachen Lobbying fällt die Unterstützung vergleichsweise schwach und wenig wirksam aus. Dies ist insoweit bedauerlich, als zu diesem Diffusionspfad einige Grundlageninnovationen gehören, die eine gute Re-Innovationsbasis und erhebliche Umweltentlastungspotenziale bieten.

Ein weiteres Problem zumindest einiger Innovationen aus diesem Cluster ist die Komplexität und Kompatibilität. Dies ist nicht nur in der Gegenwart hinsichtlich der Anschlussfähigkeit an gegenwärtige Technologien und Strukturen ein Problem. Noch gravierender scheint zu sein, dass für einige nur sehr langfristig rentierliche Investitionsgüter die Anschlussfähigkeit an zukünftige Randbedingungen von kritischer Relevanz ist. So machen Solarkollektorfelder in Verbindung mit Nahwärmenetzen und Langzeitwärmespeichern nur dann Sinn, wenn alle drei technologischen Komponenten und die notwendigen Infrastrukturen gemeinsam existieren. Ohne klare Zukunftsperspektive und langfristige politische Pläne und Sicherheiten stagniert dagegen die Weiterentwicklung der Innovationen, aber auch die Entstehung wirtschaftlich starker Anbieter kommt nicht voran.

Die Tatsache, dass im Laufe der Diffusion auch die wirtschaftlichen Randbedingungen problematisch sind und Wirtschaftlichkeit nur schwer erzielbar ist, ist ein weiterer hemmender Faktor.

Nach langer Wartezeit kommt für einige dieser Innovationen vielleicht der Durchbruch. Nahwärmenetze könnten den Durchbruch schaffen, wenn durch eine verschärfte Klimaschutzpolitik und steigende Energiepreise höhere Netzpreise finanzierbar werden. Die Zukunft der Langzeitwärmespeicher hängt u.a. davon ab, dass BMU und BMWi erkennen, dass die wesentlichen Wärmeversorgungsvarianten beider Ministerien die Langzeitwärmespeicherung benötigen: auf BMU-Seite für solare, geothermische und KWK-Wärme, auf BMWi Seite für die großen geplanten Mengen der KWK-Wärme aus CCS-Kohle-Kraftwerken. Auf dieser Basis könnte die politische Sicherheit geschaffen werden, die ein groß angelegtes Marktentwicklungsprogramm möglich macht.

4.4 Chronik und Schlüsselereignisse

Folgende Ereignisse kennzeichnen die Entwicklung der Wärmenetze, einige davon haben in jüngster Zeit den Diffusionsverlauf maßgeblich beeinflusst:

- Erste Fernheizungsanlage in New York 1876 (AGFW 2008),
- Erste Fernheizungsanlagen zur Versorgung von Krankenanstalten 1880 in Deutschland (AGFW 2008),
- Gründung des Verbandes der deutschen Elektrizitätswirtschaft (VDEW) mit einem Sonderausschuss Heizkraftwirtschaft 1951, deutliche Steigerung des Fernwärmeabsatzes von 10 PJ in 1950 über 40 PJ in 1960 auf 110 PJ in 1970 (AGFW 2008),
- 1971 Gründung des AGFW durch 47 Gründungsmitglieder, der neben Elektrizitätswerken auch reine Fernwärmeversorger und Komponentenhersteller umfasste (AGFW 2008),
- Im Anschluss an die Ölkrise wurde eine Studie erarbeitet, die große Potenziale aufzeigte. Durch die Förderprogramme ZIP 1 (730 Mio. DM) und ZIP 2 (1200 Mio. DM) wurden in den 1970er und 1980er Jahren ca. 5,4 Mrd. DM Investitionen in Fernwärmenetze angestoßen (AGFW 2008).
- In 2002 umfasst der AGFW 230 Fernwärmeversorgungsunternehmen und ebenso viele Industrieunternehmen (AGFW 2008).
- Beschluss der AGFW-Mitglieder in 2008 über die vollständige Unabhängigkeit vom neu gegründeten Bundesverband der Energiewirtschaft als Nachfolger des VDEW (AGFW 2008).

- Förderung des Ausbaus von Wärmenetzen durch das KWK-Gesetz von 2008, wenn eine Wärmeinspeisung auf KWK von mindestens 60 % nachgewiesen wird.
- Nach den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ ist die Förderung von Nahwärmenetzen zur Umsetzung des „Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG)“ seit 2009 möglich.
- Die Novelle des KWKG macht aber 2012 auch die Förderung von Netzen mit der Wärmequelle „Industrielle und andere Abwärme“ möglich.

Als Schlüsselereignisse mit konkreten Auswirkungen auf die aktuelle Entwicklung sind neben dem KWKG von 2008 (und seiner Novelle von 2012) und dem EEWärmeG von 2009 auch die Erklärung der Unabhängigkeit des AGFW vom BDEW durch die AGFW-Mitglieder in 2008 zu sehen.

4.5 Umwelteffekte

Wärmenetze ermöglichen es, die Wärmeversorgung von Gebäuden von hochexergetischen Quellen wie Strom, Gas, Öl oder Pellets auf niederexergetische Quellen wie Abwärme aus industrieller Produktion, solare oder geothermische Wärme oder KWK umzustellen. Ein umweltentlastender Effekt wird dabei aber nur dann erreicht, wenn die Umweltbelastungen aus dem Bau der Anlage sowie aus den Leitungsverlusten kleiner sind als der Gewinn, der z.B. durch die gemeinsame Erzeugung von Strom und Wärme in einem BHKW erzielt wird. Deutlicher ist der Effekt u.U. dann, wenn das Wärmenetz mit Wärme betrieben wird, die sonst ungenutzt bliebe, wie dies z.B. bei industrieller Abwärme, Abwärme aus Grubenwasser oder großen Rechenzentren der Fall wäre.

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

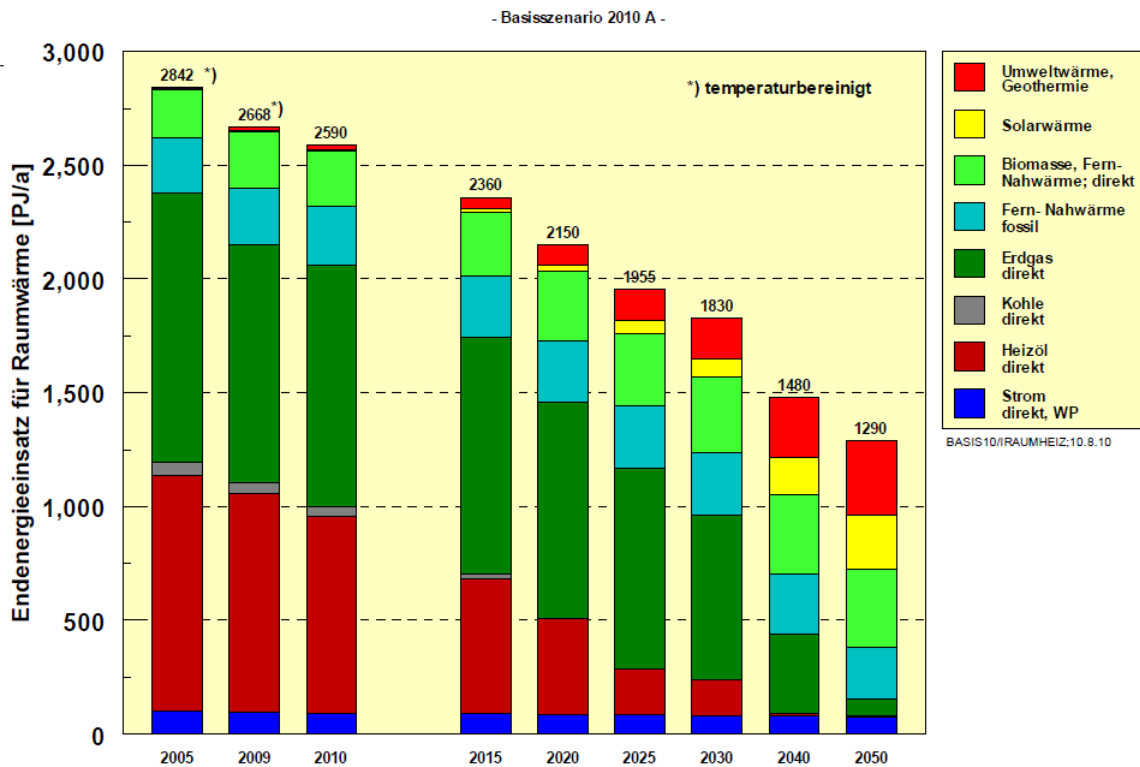
Umwelteffekte könnten allerdings durch Reboundeffekte konterkariert werden. Würde z.B. in durch Abwärme gespeisten Wärmenetzen die Wärme kostenlos abgegeben, könnten die Bewohner der Wohnungen zur Verschwendung von Wärme z.B. durch winterliches Lüften ermutigt werden. Auch könnte der Ausbau von Netzen „ins Blaue hinein“, also ohne das genügend Kunden gewonnen werden, zu hohen Netzverlusten bei geringem Wärmeumsatz führen.

5 Entwicklung von Szenarien mit dem Zeithorizont 2030/2050:

5.1 Nationale Energieversorgungsszenarien

Nach dem Statistischen Bundesamt (Destatis 2011) werden in Deutschland gegenwärtig knapp 4,8 Millionen Wohneinheiten mit Fernwärme versorgt, was etwa 13 % des Bestandes entspricht. Nach der Leitstudie des Bundesumweltministeriums zur Versorgung mit erneuerbaren Energien sollen Wärmenetze bis 2050 aber zur dominierenden Wärmeversorgung von Gebäuden werden (DLR et al. 2011 und 2012). Auch der Anteil der auf Basis fossilen Energieträger erzeugten Wärme, der über Netze verteilt werden soll, wird bei etwa 70 % liegen. (vgl. Abbildung 5, Anteil „Fern- und Nahwärme fossil“). Die Zahl der über Wärmenetze zu versorgenden Wohneinheiten wird dementsprechend bis 2050 auf ca. 68 % steigen müssen. Wie dieser Ausbau letztlich vonstatten gehen soll bleibt aber auch nach der Lektüre des 200seitigen Berichtes von Fishedick et al. (2006) zu „Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze“ offen. Insbesondere offen bleibt die Frage des ökonomischen Modells, welches den Betrieb der Netze rentabel darstellt.

Abbildung 5: Endenergieeinsatz für Raumwärme im Basisszenario 2010 A einschließlich Stromeinsatz für Wärme

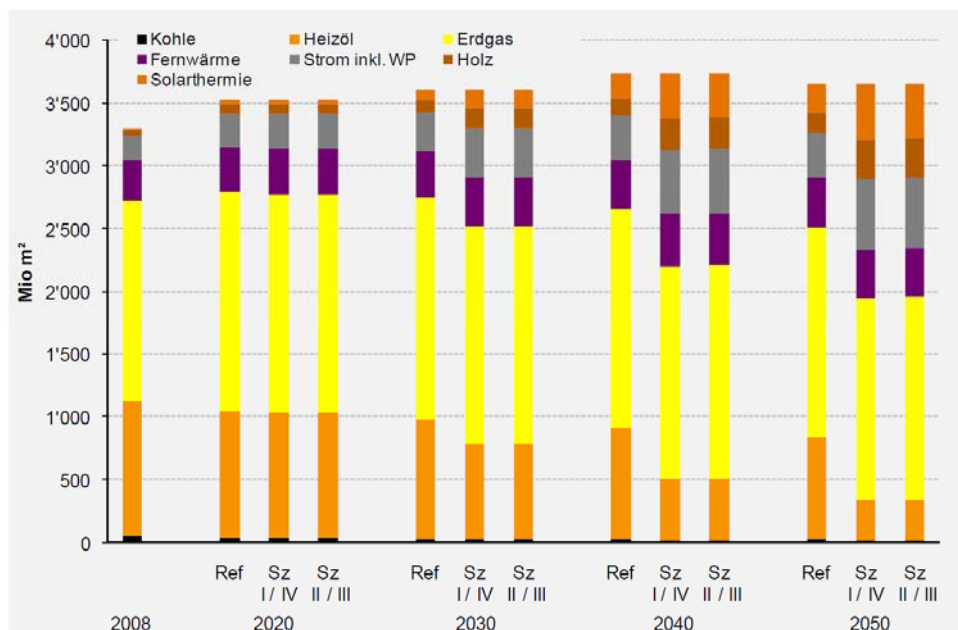


Quelle: DLR et al. 2011, 61.

Es sei an dieser Stelle nicht unerwähnt, dass in den Szenarien zum Energiekonzept der Bundesregierung (Prognos et al. 2010, 34f) sogar von einer deutlichen Abnahme der Wärmelieferungen durch Fernwärmenetze ausgegangen wird. Zusätzliche Wärmenetze werden in den Überlegungen dieser Szenarien überhaupt nicht erwähnt. Es bleibt dabei das Geheimnis der Autoren, wie jährlich 200 TWh KWK-Wärme (Prognos et al. 2010, 112) – davon 150 TWh aus CCS-Steinkohlekraftwerken - verteilt werden sollen, ohne dabei deutlich mehr Wärmenetze zu nutzen. Es läuft darauf hinaus, dass die Verteilung dieser Wärmemenge nur über Netze sichergestellt werden kann, die etwa 55 % des Gebäudebestandes versorgen. Letztlich liegen also die zunächst so verschieden erscheinenden Szenarien von BMU und Bundesregierung in ihrer Bedeutung für die Entwicklung von Wärmenetzen gar nicht so weit auseinander. Nach Prognos et al. (2010) wären bis 2050 etwa 55 % des Raumwärmebedarfs über Wärmenetze zu decken, nach BMU (DLR et al. 2010) etwa 68 %.

Während das BMU von 70 % regenerativer Wärme zur Raumheizung ausgeht, den größten Anteil stellt dabei die Bioenergie, gefolgt von Geothermie und Solarwärme, sehen die Szenarien der Bundesregierung nur einen Regenerativanteil von je nach Szenario 22 % bis 37 % vor – ausgeteilt auf strombetriebene Wärmepumpen, Solarthermie und Holz.

Abbildung 6: Bewohnte Wohnfläche nach den in Heizanlagen eingesetzten Energieträgern



Quelle: Prognos et al. 2010.

Das gigantische Potenzial an industrieller und anderer Abwärme bleibt dabei in beiden Szenarien unberücksichtigt. Pehnt et al. (2010) errechnen ein Abwärmepotenzial von ca. 90 TWh/a bei einer Temperatur über 140°C und ca. 50 % davon bei Temperaturen zwischen 60°C und 140°C, dessen Nutzung weitgehend unbekannt ist. Auf dieser Zahl baut auch der Endbericht zur Energieeffizienz der nationalen Klimaschutzinitiative (IFEU 2011) auf. Zusammen mit der Information des AGFW (2011), dass in ihren Netzen nur etwa 1 TWh/a industrielle Abwärme eingespeist wird, ergibt sich die drin-

gende Vermutung, dass dies Wärmepotenzial von zusammen ca. 135 TWh/a, das immerhin etwa 46 % des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs der privaten Haushalte in 2050 ausmacht (Prognos et al. 2010, 63, Zielszenario I und IV) weitgehend ungenutzt ist. Berechnungen des IZES ermitteln sogar über 200 TWh/a an theoretisch möglichen Abwärmepotenzialen aus dem produzierenden Gewerbe (Groß & Tänzer 2010).

Inwieweit sind nun diese Szenarien wichtig für die Frage, ob und wann Wärmenetze und Langzeitwärmespeicher benötigt werden? Hierzu seien kurz die verschiedenen Heiztechnologien durchdacht:

Tabelle 1: Technologien zur Wohnraumheizung und ihr Bezug zu Wärmenetzen und Langzeitwärmespeichern

| Heiztechnologien | Bezug zu Wärmenetzen | Bezug zu Langzeitwärmespeichern |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wärmepumpe (flache Geothermie) | Kein Wärmenetz erforderlich. | Kein Langzeitwärmespeicher erforderlich. |
| Ofenheizung mit Scheitholz | Kein Wärmenetz erforderlich. | Kein Langzeitwärmespeicher erforderlich. |
| Mittlere und tiefe Geothermie | Tiefe Geothermie gewinnt grundsätzlich Wärmemengen, die in Netzen verteilt werden müssen. | Ist ein Langzeitwärmespeicher vorhanden, kann die Spitzenleistung der geothermischen Wärmequelle niedriger ausgelegt werden. |
| Solarwärme | Solare Wärme aus Kollektorfeldern kann als Nahwärme verteilt werden. | Da solare Nahwärme zum größten Teil im Sommer gewonnen wird, kann ein solares Wärmenetz nur mit Langzeitwärmespeicher einen Deckungsgrad von über ca. 15 % erreichen. |
| Biomasse, Erdgas und Heizöl | Soll Biomasse, Erdgas oder Heizöl effizient in einer größeren KWK-Anlage verbrannt werden, ist ein Wärmenetz zur Verteilung der Wärme erforderlich. | Ist ein Langzeitwärmespeicher vorhanden, kann auch die im Sommer anfallende Wärme aus der KWK gespeichert und ins Wärmenetz eingespeist werden. Mit Blick auf die Windkraftüberschüsse im Winter dürfte es eher unrealistisch sein, die KWK nur im Winter zu betreiben. |
| Kohle CCS | Falls Kohle-Großkraftwerke mit CCS überhaupt je gebaut werden sollten, wird eine Wärmenutzung nur über Netze möglich sein. | Ist ein Langzeitwärmespeicher vorhanden, kann auch die im Sommer anfallende Wärme aus der CCS-KWK gespeichert und ins Wärmenetz eingespeist werden. Mit Blick auf die Windkraftüberschüsse im Winter dürfte es darüber hinaus unrealistisch sein, die CCS-KWK nur im Winter zu betreiben. |
| Industrielle Abwärme, Wärme aus Grubenwasser | Kann im Regelfall nur über Wärmenetze verteilt werden | Ist ein Langzeitwärmespeicher vorhanden, kann auch die im Sommer anfallende Abwärme gespeichert und ins Wärmenetz eingespeist werden. |

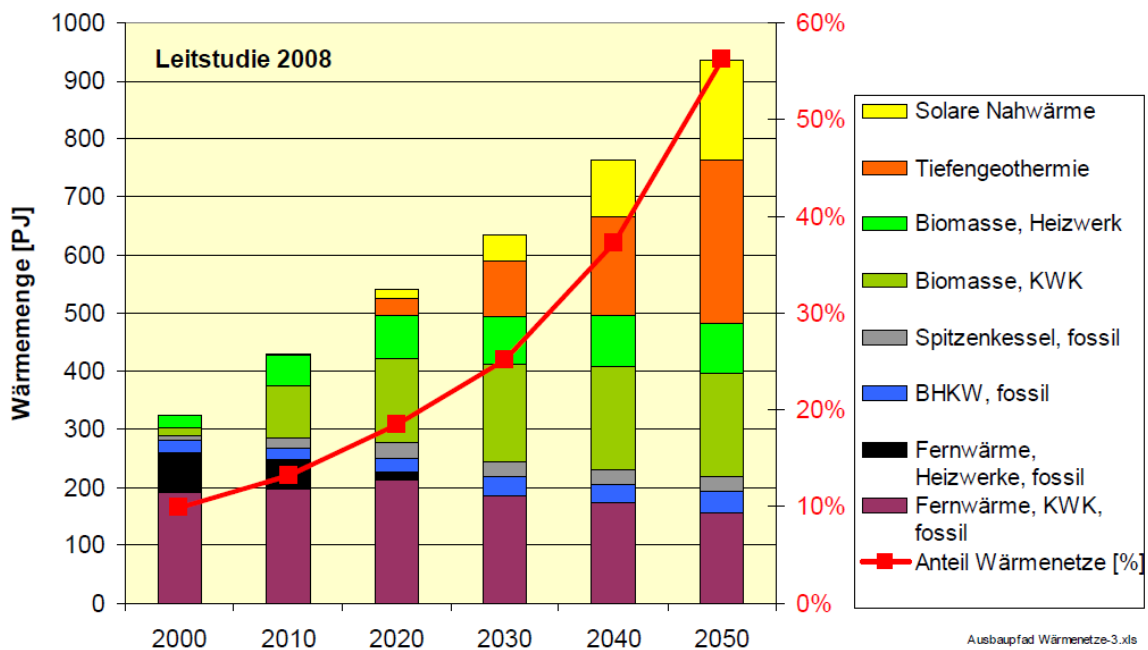
Der Blick auf die erwähnten zwei Szenarien (DLR et al. 2011; Prognos et al. 2010) macht deutlich, dass besonders die Notwendigkeit und Menge von Speichern von den in den Szenarien favorisierten Energieträgern und Wandlungstechnologien abhängt. Besonders bei solarthermischen Systemen, im Kontext ganzjähriger KWK wie auch zur Nutzung ganzjährig verfügbarer Abwärmepotenziale würde eine gute Wärmespeichertechnologie den Gesamtwirkungsgrad der Wärmeversorgung deutlich positiv beeinflussen.

5.2 Abschätzung des Marktes für Wärmenetze bis 2050

Schon für das Jahr 2020 erwartete das BMU in der „Roadmap Energiepolitik“: „Ein Viertel des gesamten Strombedarfs wird nun durch KWK-Anlagen gedeckt. Rund die Hälfte der KWK-Wärme findet ganzjährig in der Industrie Verwendung. Die verbleibende Hälfte wird über Wärmenetze an ca. 10 - 15 Millionen Haushalte verteilt. Intelligente Regelungen, zentrale Wärmespeicher und die Ausnutzung von thermischen Trägheiten der Netze und der zu beheizenden Gebäude machten erhebliche Effizienzsteigerungen der Heizkraftwerke möglich (BMU 2009, 23). In 2020 sieht das BMU also bereits 2- bis 3-mal so viele Haushalte an Wärmenetze angeschlossen wie 2010.

Aber nicht nur die Technik wird sich ändern. Auch in den Köpfen tut sich was. Das BMU (2009, 23) führt weiter aus: „Völlig unabhängig von der Kostensituation hat sich ein neues, umweltbewusstes Selbstverständnis bei Investoren, Architekten, Haustechnikplanern und Bauherren gebildet. Anlagen zur Nutzung von Abwärme, wie beispielsweise bei KWK, oder zur Nutzung erneuerbarer Energien sind selbstverständlich. Das hohe Wärmedämmniveau stellt eine allgemein geschätzte Komfortsteigerung dar.“ Den Ausbaupfad der Wärmenetze sehen DLR et al. (2009) im Auftrag des BMU steil nach oben steigen und erreicht im Zieljahr 2050 der hier geplanten Analyse 56 %. Dieser Wert stellt auch das Ziel des im Folgenden gebildeten Szenarios dar.

Abbildung 7: Ausbaupfad der Nah- und Fernwärme gemäß der Leitstudie 2007 des BMU (linke Achse) und Anteil der Wärmenetze am gesamten Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser des jeweiligen Jahres (rechte Achse).



Quelle: DLR et al. 2009, 28.

Für die Errechnung des Marktpotenzials für Wärmenetze muss auf Gebäudezahlen zurückgegriffen werden, die zumindest grob die unterschiedlichen Gebäudestrukturen ländlicher und städtischer Regionen reflektieren.

Hierzu wird auf Bestandszahlen des statistischen Bundesamtes zu Wohnungen zurückgegriffen (Destatis 2010). Diese Statistik unterscheidet Wohngebäude und Wohnungen in kreisfreien Städten sowie Landkreisen.

Tabelle 2: Wohngebäude und Wohnungen in kreisfreien Städten sowie Landkreisen zum 31.12.2009

| | Wohngebäude mit 1 Wohnung | Wohngebäude mit 2 Wohnungen | Zahl Wohnungen darin | Wohngebäude mit 3 und mehr Wohnungen | Zahl Wohnungen darin |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Kreisfreie Städte | 1.811.486 | 539.174 | 1.078.348 | 1.328.486 | 10.738.022 |
| Landkreise | 9.557.863 | 3.049.123 | 6.098.246 | 1.743.143 | 10.106.503 |

Quelle: Destatis 2010, 13.

Es ist festzustellen, dass sich ca. 79 % der Gebäude mit ca. 65 % der Wohnungen in Landkreisen befinden. Besonders der Anteil der Einfamilienhäuser ist dabei mit 83,5 % sehr groß.

Die gegenwärtige Verbreitung von Wärmenetzen umfasst ca. 4,8 Millionen Wohnungen, die sich primär in kreisfreien großen Städten befinden und dort deutlich mehr Mehrfamilienhäuser als Einfamilien- und Doppelhäuser versorgen¹. Die vergleichsweise kleinere Spreizung der Anschlussgrade von Ein- und Mehrfamilienhäuser in ländlichen Regionen im folgenden Szenario begründet sich damit, dass große Gebiete (Stadtteile) mit homogener Bebauung in kleinen Städten oder Dörfern seltener sind als in großen Städten. Während also in Städten die stadtplanerische Realisierung von Netzen möglich scheint, die sich auf Viertel mit Mehrfamilienhäusern konzentrieren, wird in kleineren Orten davon ausgegangen, dass die Gebäudetypen stärker durchmischt sind und insoweit Netze oft alle Gebäudetypen anteilig versorgen.

Zieht man dies in Betracht und unterstellt man bis 2050 ein deutliches Wachsen der Wärmenetze in Städten wie Landkreisen, dann kann das Ziel des BMU von 56 % in 2050 (DLR et al. 2009) z.B. dann erreicht werden, wenn 25 % (Stadt) bis 35 % (Land) der Einfamilien-, 40 % (Stadt) bis 45 % (Land) der Doppelhäuser und 60 % (Land) bis 85 % (Stadt) der Mehrfamilienhäuser in 2050 über Wärmenetze versorgt werden.

¹ Die Gasheizung versorgte 65,5 %, die Ölheizung 33 % der Wohneinheiten in Ein- und Zweifamilienhäusern und nur 1,5 % der Wohneinheiten (also nur ca. 225.000 Häuser mit max. ca. 300.000 Wohnungen) besaßen ein anderes Heizungssystem wie Fernwärmeversorgung, Stromheizung, Wärmepumpe, Festbrennstoffheizung (Fischedick 2007, 54).

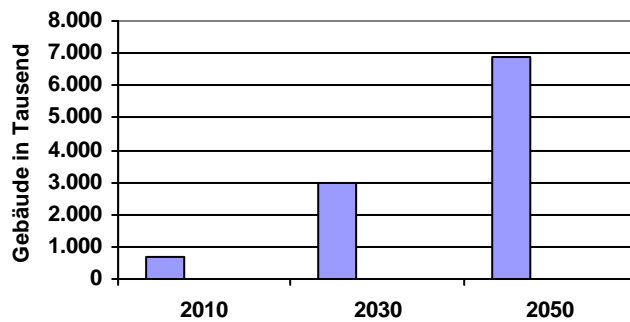
Tabelle 3: Szenario zur Versorgung von Wohngebäuden mit netzgebundener Wärme bis 2050

| | Wohngebäude mit 1 Wohnung | Wohngebäude mit 2 Wohnungen | Zahl Wohnungen darin | Wohngebäude mit 3 und mehr Wohnungen | Zahl Wohnungen darin | Summe Wohnungen |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Kreisfreie Städte | 1.811.486 | 539.174 | 1.078.348 | 1.328.486 | 10.738.022 | 13.627.856 |
| Landkreise | 9.557.863 | 3.049.123 | 6.098.246 | 1.743.143 | 10.106.503 | 25.762.612 |
| | | | | | | 39.390.468 |
| Anschlussgrad in % | | | | | | |
| Kreisfreie Städte | 25,00 % | 40,00 % | 40,00 % | 85,00 % | 85,00 % | |
| Landkreise | 35,00 % | 45,00 % | 45,00 % | 60,00 % | 60,00 % | |
| | | | | | | |
| Wohnungen mit Fernwärme | | | | | | |
| Kreisfreie Städte | 452.872 | 215.670 | 431.339 | 1.129.213 | 9.127.319 | 10.011.529 |
| Landkreise | 3.345.252 | 1.372.105 | 2.744.211 | 1.045.886 | 6.063.902 | 12.153.365 |
| Summe Gebäude | 3.798.124 | 1.587.775 | | 2.175.099 | | 22.164.894 |
| | | | | | | |
| | | | | | Anschlussgrad bundesweit | 56,27 % |

Quelle: eigene auf Basis von Destatis 2011.

Es kann abgeleitet werden, dass in diesem Fall bis 2050 eine Zahl von ca. 3,8 Millionen Einfamilienhäusern, 1,6 Millionen Doppelhäuser und ca. 2,2 Millionen Mehrfamilienhäuser über Wärmenetze versorgt werden müsste. Gegenwärtig dürfte es sich bei der größten Zahl der über Fernwärme versorgten Gebäude, in denen sich die 4,8 Millionen statistisch erfassten Wohnungen mit Fernwärmeversorgung befinden, um Mehrfamilienhäuser handeln, deren Zahl sich daher auf ca. 700.000 abschätzen lässt. Zusammen würde dies daher eine bis 2050 zusätzliche versorgte Gebäudezahl von ca. 6,9 Millionen Gebäuden bedeuten.

Abbildung 8: Zahl der mit Fernwärme versorgten Gebäude 2010 bis 2050



Würde zur Versorgung jedes der 6,9 Millionen Gebäude, die bis 2050 versorgt werden müssten, eine Summe von 18.000 € in Wärmenetze und Übergabestationen investiert und jeweils nur 40 m Netz verlegt (Daten auf Basis von Clausen 2012), würde dies insgesamt bedeuten, dass bis 2050:

- eine Strecke von etwa 272.000 km an Wärmenetzen zu verlegen wäre sowie
- etwa 122 Mrd. Euro dafür investiert werden müssten.

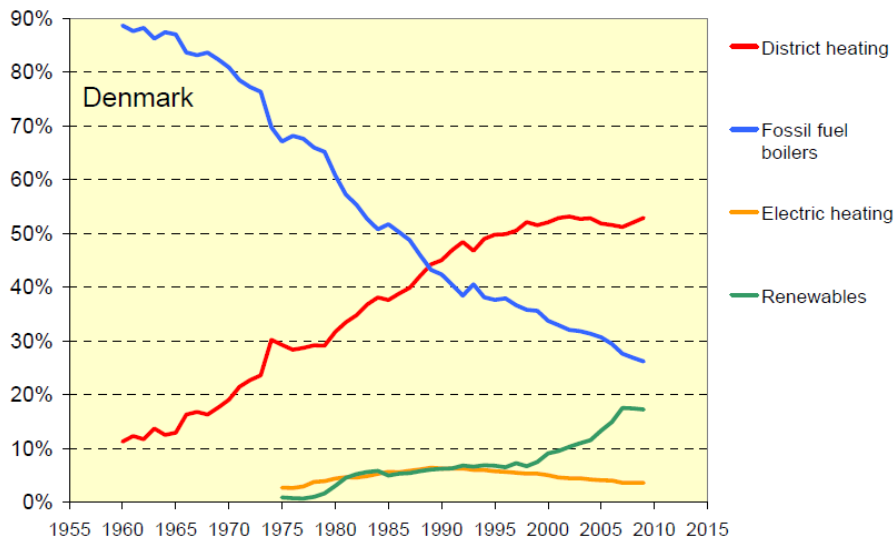
Bei einer durchschnittlichen Netzlänge von sieben Kilometern (Clausen 2012), wie sie bisher in ländlichen Netzen typisch ist, entspräche dies einer Zahl von knapp 39.000 Netzen zu je etwa drei Millionen Euro. Jährlich müssten also in den bis 2050 verbleibenden 38 Jahren gut 1.000 Netze für ca. 3,3 Mrd. €/a entstehen.

Schon heute leistet die Wärmenetzförderung durch das Marktanreizprogramm hierzu einen Beitrag. So dokumentieren Langniß et al. (2010) für 2009 bereits ca. 1.200 Förderanträge für Nahwärmenetze, die zusammen ca. 1 TWh/a Endenergie bereitstellen. In 2010 sank die Zahl der Netze auf 876 und die Daten zur Errechnung des erwarteten Wärmeabsatzes stand nicht zur Verfügung (Langniß et al. 2011, 26). Auf Basis des gesamten Raumwärmebedarfs von 720 TWh in 2010 (vgl. BMU 2010, 61) sowie der Gesamtzahl von Wohneinheiten von ca. 40 Millionen lässt sich abschätzen, dass diese Netze etwa 55.000 Wohneinheiten versorgen dürften. Über ca. 40 Jahre würde diese Dynamik zu ca. zwei Millionen angeschlossener Wohneinheiten führen und so ca. 28 % des oben genannten Zwischenziels von 6,9 Millionen zusätzlichen WE (oder einem Anschlussgrad von ca. 56 %) in 2050 erreichen helfen.

Das Bauhauptgewerbe beschäftigte 2009 in 12.855 Unternehmen (mit mehr als 20 Mitarbeitern) ca. 678.000 Mitarbeiter und erzielt einen Umsatz von ca. 92 Mrd. €, also ca. 135.000 € pro Beschäftigtem (Destatis 2011). Allein im Bauhauptgewerbe würde der Tiefbau für Netze, der etwa 35 % der gesamten Netzkosten ausmacht (Clausen 2012), also etwa 8.500 Arbeitsplätze sichern – über 38 Jahre.

Dass eine solche Entwicklung möglich ist zeigt das Beispiel Dänemark. In Dänemark stieg der Anteil der Fern- und Wärmenetze von ca. 13 % auf ca. 53 % in einem Zeitraum von 45 Jahren.

Abbildung 9: Marktanteile der Wärmeversorgung privater Haushalte und des GHD-Sektors in Dänemark



Quelle: Solar District Heating 2011, 27.

In die Entwicklung von Handlungsstrategien wäre also die Annahme zu übernehmen, dass ein erheblicher Netzausbau zur Versorgung von zusätzlichen 6,9 Millionen Gebäuden über Wärmenetze erforderlich ist. Weiter ergibt sich zur Erschließung solarer Wärmeversorgung mit hohen Deckungsgraden sowie zur Erzielung der notwendigen KWK-Nutzungseffizienz und unter Berücksichtigung des hohen Windstromanteils im Winter die Vorteilhaftigkeit einer Technologie zur Langzeitspeicherung von Wärme.

5.3 Exkurs Langzeitwärmespeicher

Mangold (2007) führt in Deutschland für Langzeitspeicher 11, Ochs (2007) 13 Pilotanlagen auf. Die Zahl realisierter großer ($\approx 10.000 \text{ m}^3$) Langzeitspeicher ist jedenfalls noch gering, die Demonstrations- und Erprobungsphase keineswegs abgeschlossen. Kleine ($\approx 500 \text{ l}$) Kurzzeitspeicher sind dagegen in 100.000en von solar unterstützten Heizungsanlagen eingebaut und ein Großserienprodukt.

In Skandinavien wurden schon seit 1991 Projekte mit Langzeitwärmespeichern realisiert (Ellerhauge & Pedersen 2007). Zzt. befinden sich in Skandinavien diverse Anlagen der solaren Nahwärmeversorgung in Projektierung, was die Zahl der Speicher deutlich erhöhen wird und auch ein Zeichen für wachsendes Vertrauen in die Speichertechnologie ist (Solar District Heating 2010). In Deutschland ist die Dynamik der Verbreitung noch der Demonstrationsphase zuzuordnen, während in Dänemark eine frühe Gruppe von Anwendern investiert.

Es ist vergleichsweise einfach, die Notwendigkeit der saisonalen Wärmespeicherung für die Erschließung der sommerlichen Sonneneinstrahlung als Wärmequelle für die winterliche Wärmeversorgung durch Wärmenetze zu erkennen. Solare Versorgungsgrade von über 15 %, wie sie für Warmwasser-

versorgungssysteme typisch sind, können durch Saisonalspeicher auf 34 % bis 62 % (Mangold 2007) angehoben werden.

Der Blick in die BMU-Leitstudie für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland zeigt schon im Jahr 2020 die Erwartung, dass 3,7 TWh solare Nahwärme verteilt werden sollen, im Jahr 2050 schon 45 TWh. Diese Wärmemenge entspricht etwa 12,5 % des in 2050 zu erwartenden Raumwärmebedarfes von 358 TWh (DLR et al. 2011) und würde die Umwandlung einer entsprechenden Menge anderer Energiearten in Raumwärme substituieren

Neben der saisonalen Speicherung solarer Wärme bieten Langzeitwärmespeicher die Möglichkeit, die Abwärme von auch im Sommer betriebenen KWK-Anlagen sowie die im Sommer anfallende industrielle Abwärme zu speichern und während der Heizsaison im Winter zu nutzen. Dies ist insoweit von Bedeutung, als schon die Leistung der Windkraft im Sommer zur Deckung des Strombedarfs häufig nicht zur Verfügung steht und insoweit ein „Durchlaufen“ der KWK-Kapazitäten (sowohl regenerativ wie auch fossil) zu erwarten ist.

Forschung zu Langzeitwärmespeichern findet eher in Süddeutschland statt, jedoch führt auch die TU Braunschweig regelmäßig Projekte durch (beispielhaft Schlosser 2010). Erfahrene Planer sind generell selten, Baufirmen, die schon mehr als einen oder zwei Speicher gebaut haben, sind dem FFI (2010) nicht bekannt. Der Markt ist nach wie vor forschungsdominiert, die offenbare Komplexität der Technik macht deutlich, dass erfahrende und spezialisierte Planer und Anbieter erforderlich wären, um den Markt zu entwickeln.

Ein wirksamer Treiber scheint z. Zt. in Deutschland nicht zu existieren. Hemmnisse liegen in hohen Kosten, mäßigen Wirkungsgraden, unsicherer Funktion sowie in der niedrigen Zahl – bzw. im Nichtvorhandensein - erfahrener Planer und Bauunternehmen. Auch die Förderung durch das MAP scheint nicht stark zu greifen. Für 2009 dokumentieren Langniß et al. (2010, 31) ganze 44 Speicher, die mit durchschnittlich ca. 50 m³ aber nicht zu den Großspeichern zu rechnen sind. Auch für die in 2010 errichteten 62 Speicher errechnet sich das Volumen nur zu 55 m³. Die Kosten dieser Speicher lagen in 2009 bei 1063 €/m³ (Langniß et al. 2010, 68) und in 2010 bei 933 €/m³ (Langniß et al. 2011, 60), was verglichen mit den in Dänemark realisierten Kosten des 10.000 m³ Langzeitwärmespeichers von Marstal von 67 €/m³ astronomisch hoch ist.

Faktisch existiert kein „Diffusionssystem“ für Langzeitwärmespeicher, ja nicht einmal das Produkt ist technisch eindeutig definiert und als Angebot von existierenden Herstellern verfügbar. Die Marktentwicklung erfordert daher – für den Fall das die Langfristplanungen des BMU (DLR et al. 2011) ernst gemeint seinen sollten – deutliche Aktivitäten des Gesetzgebers. Auch die BMU-Leitstudie (DLR et al. 2011, 173) resümiert zum Thema Langzeitwärmespeicher: „Die bisher realisierten Konzepte zur kostengünstigen Langzeitspeicherung von Wärme haben sich noch nicht ausreichend in der Praxis bewährt. Hier ist sowohl Forschung als auch eine deutliche Ausweitung der Anlagenzahl erforderlich.“

Die Entwicklung kostengünstiger (Langzeit-)Wärmespeicher wird aber auch in den Szenarien zum Energiekonzept der Bundesregierung (Prognos et al. 2010, 76) empfohlen. Als Begründung werden dabei zusätzlich Vorteile dieser Technologie im Kontext des Einsatzes stromgeführter KWK angeführt. Dabei ist zu bedenken, dass das Prognos-Szenario (2010, 110) von ca. 30 % Windstrom, die BMU-

Leitstudie (DLR et al. 54) sogar von über 40 % Windstrom ausgeht. Da mehr Windstrom im Winter als im Sommer anfällt, dieser aber bisher nicht langfristig gespeichert werden kann², ergeben sich die Optionen, das „Windstromloch“ im Sommer entweder mit Stromerzeugung aus KWK „zu füllen“ oder durch zusätzliche Strom aus Photovoltaik, für den jedoch zumindest Speichermöglichkeit mit der Reichweite einiger (sonnenarmer) Tage zur Verfügung stehen müssten. Mit der KWK wächst so gegenwärtig eine Quelle sommerlicher Überschusswärme, die es wiederum attraktiv macht, über Langzeitwärmespeicher zu verfügen.

Wie viele Langzeitwärmespeicher aber werden letztlich erforderlich sein. Unter Verweis auf Tabelle 1 lässt sich die Notwendigkeit von Langzeitwärmespeicherung für zum einen 5 % (Prognos et al. 2010) bis 10 % (DLRet al. 2011) des Endenergieeinsatzes für Raumwärme begründen, die auf Basis von Solarwärme gewonnen werden sollen. Sollten insgesamt solare Deckungsgrade wie im dänischen Marstal von ca. 30 % erreicht werden, müssten also ca. 15 % bis 30 % des Wohnungsbestandes zu je etwa 30 % mit Solarwärme beheizt werden, wozu Langzeitwärmespeicher erforderlich wären.

Weiter wären, wie oben ausgeführt, Langzeitwärmespeicher extrem hilfreich, um die Nutzung der sommerlichen Abwärme aus KWK zumindest anteilig zu ermöglichen. Der KWK-Beitrag zum Endenergieeinsatz für Raumwärme liegt im Szenario des BMU bei ca. 25 %, bei Prognos et al. (2010, 112) auf Basis der erwähnten 150 TWh/a KWK aus CCS-Kohle bei ca. 45 %. Da sich die Versorgung letztlich auf dieselben Gebäude erstrecken dürfte, die anteilig auch solar versorgt werden, ergeben sich in der Summe:

- 15 % bis 30 % des Wohnungsbestandes, bei denen zur Erzielung eines sinnvollen Deckungsbeitrages solarer Wärme Langzeitwärmespeicher unbedingt erforderlich wären sowie
- unter Ausdehnung des Einsatz von Langzeitwärmespeichern auf die KWK-Netze ein Zielwert von ca. 35 % bis 50 % des Wohnungsbestandes, der teilweise indirekt über Langzeitwärmespeicher versorgt würde.
- Weitere Bedarfe an Langzeitwärmespeichern würden sich ergeben, wenn klar wäre, welche industriellen und anderen Abwärmepotentiale langfristig zur Raumheizung verfügbar wären. Zzt. lassen sich hier aber noch keine Zahlen konkretisieren.

Diese Prozentsätze entsprechen etwa einer Zahl von 6 bis 12 Millionen Wohnungen in der rein solaren Variante und von 14 bis 20 Millionen Wohnungen in der KWK-Variante. Die Abschätzung der zur Realisierung notwendigen Menge von Speichern und deren Kosten ist nur mit hohen Unsicherheiten möglich. In der Machbarkeitsstudie für das Wärmenetz Heitlingen (KEH et al. 2008) gehen die Autoren von einem 20.000 m³ Speicher für 100 an ein Biogas-BHKW-Netz angeschlossene Einfamilienhäuser aus, dessen Kosten auf zwei Millionen Euro, also 20.000 € pro Wohneinheit, veranschlagt werden. Im dänischen Marstal wurde ein 10.000 m³ Speicher für 67 €/m³ errichtet (Marstal Fjernvarme 2005) und trägt zur Versorgung von 1.450 angeschlossenen Haushalten bei, die mit einem solaren De-

² Zwar befinden sich Langzeitstromspeicher wie die Redox-Flow-Batterie in Entwicklung und es wird an der Aufskalierung der Technologie zur Umwandlung von Strom durch Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und die anschließende Umsetzung mit CO₂ in Methan gearbeitet, aber keine dieser Technologien ist zzt. großskalig einsatzfähig und wird es auch nicht wesentlich vor dem Jahr 2020 sein.

ckungsanteil von 30 % versorgt werden. Die Gesamtkosten von 670.000 € verteilen sich hier auf je 450 € pro Haushalt. Zwar wird z.B. bei Mangold (2007, 66) eine gewisse Konvergenz bei den spezifischen Speicherkosten in Richtung auf ca. 100 € je m³ Wasseräquivalent deutlich, es liegen aber nur wenige Daten vor die deutlich machen, wie groß die Speicherkapazität ist, die pro Haushalt erforderlich ist.

Wird davon ausgegangen, dass der Bau einer sinnvollen Größe von Speichern mit der Summe von 1.000 € pro Haushalt möglich ist und hier zunächst bewusst ein sehr niedriger Wert angesetzt, müssten für die rein solare Variante 6 bis 12 Milliarden € in Speicher investiert werden, in der KWK-Variante 14 bis 20 Milliarden €. Mit dem Zieljahr 2050 vor Augen entstünde ein Markt mit einem Volumen zwischen 160 Millionen € und 500 Millionen € pro Jahr.

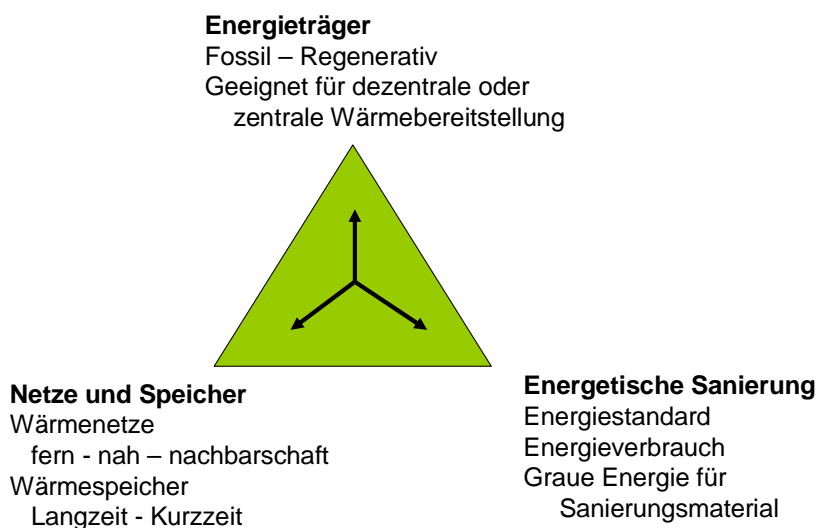
Das Bauhauptgewerbe beschäftigte 2009 in 12.855 Unternehmen (mit mehr als 20 Mitarbeitern) ca. 678.000 Mitarbeiter und erzielt einen Umsatz von ca. 92 Mrd. €, also ca. 135.000 € pro Beschäftigtem (Destatis 2011). Im Bauhauptgewerbe würde der Speicherbau also ca. 1.200 bis 3.700 Arbeitsplätze sichern – über 38 Jahre. Bei einer Unternehmensgröße von durchschnittlich 52 Mitarbeitern wären hierzu 25 bis 70 auf Speicherbau spezialisierte Bauunternehmen erforderlich, die es bisher nicht gibt.

6 Handlungsstrategien Wärmeversorgung

6.1 Fazit zur Sektorentwicklung

Neben der Notwendigkeit, die verfügbaren Energieträger und Wandlungstechnologien mit den Verteilungstechnologien für Strom und Wärme abzustimmen, ist ein weiterer Zusammenhang zu berücksichtigen: Durch die fortschreitende energetische Sanierung sinken die Raumwärmebedarfe und steigen gleichzeitig die Sanierungskosten. Parallel wird die Summe der „grauen Energie“ größer, die zur Herstellung der Isoliermaterialien für die Gebäude erforderlich ist. Letztlich ergibt sich eine Optimierungsaufgabe folgender Struktur:

Abbildung 10: Optimierungsaufgabe für Szenarien der Wärmeversorgung



Quelle: Eigene Darstellung.

Langfristig besteht das Entwicklungsziel in einem Gebäudebestand, der den ökologischen Fußabdruck der Summe der laufenden Energieversorgungs-, Bau-, Sanierungs- und Anlagenbauaufwände minimiert. Dabei sind dann die Netze und Speicher eine Variable unter mehreren.

Zur Ausgangssituation gehört weiter die Uneinigkeit zwischen den Institutionen, die Zukunftsszenarien der Energieversorgung erstellen. Neben der nun offenbar endgültig geklärten Frage der zukünftigen Nutzung der Atomenergie ist hier die zentrale Frage der Nutzung von CCS zu benennen. Im Hintergrund dieser Differenzen ist es nicht schwer, die Interessen der großen Energieversorger an zentralen Kraftwerkstechnologien wie Steinkohle-CCS zu erkennen.

Eine aus beiden Szenarien ableitbare Konsequenz ist aber, dass Wärmenetze zukünftig eine höhere Bedeutung erhalten werden. Ob dies mittelgroße Netze sein werden, wie sie in ländlichen Bioenergie-dörfern rund um Biogas-BHKW mit 500 bis 1.000 kW_{el} Leistung einige hundert Haushalte versorgen, oder ob sich eher Netze handeln wird, in denen Solarkollektorfelder oder Abwärmequellen genutzt werden, ist weitgehend ungeklärt. Um die weitere Diffusion von Wärmenetzen und Langzeitwärmespeichern mit der nötigen politischen Richtungssicherheit fördern zu können sind daher einige vorbereitende Schritte erforderlich:

- Durch die Entwicklung von dynamischen Modellen einzelner Siedlungen sollte überprüft werden, welche Wechselwirkungen zwischen Energieträgern, Wandlungstechnologien, Netzen, Speichern und der energetischen Sanierung bestehen und welche Entwicklungspfade zur Erzielung eines in der Summe möglichst niedrigen ökologischen Fußabdrucks optimal sind.
- Genauso scheint es sinnvoll, die Entwicklung solcher dynamischer Modelle durch eine breite und Positionen übergreifende Gruppe wirtschaftlicher und politischer Akteure zu begleiten, um letztlich eine auf möglichst weitem Konsens basierende Roadmap der Entwicklung des Wärmeversorgungssystems zu erarbeiten.

Aber schon kurzfristig ist absehbar, dass der Nahwärmeversorgung im Kontext einer in allen Szenarien steigenden Bedeutung von KWK eine erhöhte Bedeutung zukommt. Durch einen Blick auf die sechs Einflussbereiche soll daher rekapituliert werden, welche Stärken und Schwächen das Diffusionssystem aufweist und welche prinzipiellen Handlungsoptionen sich anbieten. Dabei wird die Langzeitwärmespeicherung als notwendige Komponente bestimmter Wärmenetze gesehen und daher nicht separat behandelt.

Produktbezogene Einflüsse: Die Versorgung durch Wärmenetze hat mit Blick auf das Ergebnis Raumwärme keine wesentlichen funktionellen Vorteile gegenüber einer Versorgung durch eine Gas- oder Ölheizung. Durch den Wegfall der hauseigenen Heizanlage sinkt die Komplexität der im Haushalt zu betreibenden Geräte, die Kompatibilität ist allerdings im Fall „kalter Fernwärmenetze“ nicht gegeben. Wahrnehmbar und erprobbar ist ein Wärmenetz nicht. Zur Weiterentwicklung des Produktes „Wärmenetz“ kann nur abgeleitet werden, dass eine serienreife Technologie für „kalte Fernwärmenetze“ den Anwenderkreis vergrößern würde.

Adaptorbezogene Einflüsse: Potentielle Adopter sind offenbar im Wesentlichen getrieben durch den Gedanken der Autarkie (Unabhängigkeit von Preisvorstellungen und Lieferverweigerungen von Ölscheichs und russischen Gaskartellen) mit Auswirkung auf Versorgungssicherheit und Preisstabilität. Ein konsistentes nationales Energiesystem, welches hochexergetische Energieträger konsequent zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme oder Strom nutzt und Raumwärme niederexergetisch z.B. über Abwärme bereitstellt, würde dieser Idee nahe kommen. Hier finden sich wesentliche Ansätze für mögliche Kampagnen zugunsten von Wärmenetzen und die mögliche Tätigkeit von Intermediären.

Anbieterbezogene Einflüsse: Es ist wahrscheinlich, dass der Sektor, der Wärmenetze plant und Komponenten herstellt, wirtschaftlich noch zu wenig leistungsstark ist. Nur wenige spezialisierte Unternehmen bedienen einen an seinen Perspektiven gemessen zu kleinen Markt. Ökonomische Pull-

Faktoren, die zum durch Wirtschaftlichkeit getragenen, eigendynamischen Wachstum führen würden, sind offenbar unterentwickelt.

Branchenbezogene Einflüsse: Schwache und letztlich auch noch zu wenig engagierte Branchenverbände setzten in der Vergangenheit kaum Akzente, die mit Aktivitäten, wie sie z.B. der BEE entfaltet, vergleichbar wären. Der AGFW dürfte aber durchaus das Potenzial haben, sich zu einem schlagkräftigen Wärmenetzverband zu entwickeln. Die Marktführer verhalten sich aufgrund von Interessenkonflikten (Gasnetz versus Wärmenetz) und den langen Amortisationszeiten von Investitionen in Netze eher zögerlich. Intermediäre treten bisher kaum in Erscheinung, obwohl gerade die Abwärmenutzung im Kerngeschäft der Effizienzagenturen liegen würde.

Politikbezogene Einflüsse: Die flächenbezogene Energieplanung ist unterentwickelt, eine Planung von Versorgungs-Rahmenbedingungen mit Bezug zu verfügbaren Wärmequellen findet kaum statt. Energiepläne wie in Dänemark müssen durch deutsche Kommunen nicht erstellt werden. Damit ist weder bekannt, wo welche Abwärmequellen welcher Leistung erschlossen werden könnten, noch besteht die Möglichkeit, dieser Erschließung planungsrechtlich Vorschub zu leisten. So ist z.B. die Ausweisung von Fernwärme-Vorranggebieten offenbar wenig verbreitet. Weiter wird die Politik durch ein divergentes System aus Plänen und Szenarien behindert, das keine klare Linie erkennen lässt. Die Konzentration auf die Spitzenziele „Wärmesaniierung des Gebäudebestandes mit einer Sanierungsquote von 2 % p.a.“ einerseits und „Erhöhung des Anteils regenerativer Wärme“ andererseits lässt andere Möglichkeiten wie z.B. die Nutzung von Abwärmepotenzialen oder raumplanerische Synergien außen vor. Die in den letzten vier Jahren in Gang gekommene Förderpolitik weist dementsprechend wesentliche Lücken auf. Ein Leitmarkt wird hier bisher nicht gesehen, Öffentliche Kampagnen gibt es nicht.

Pfadbezogene Einflüsse: Wesentliche technologische und hemmende Pfadeflüsse bestehen in den vorhandenen Gasnetzen, während bestehende Wärmenetze ihrerseits eine langfristige Festlegung bedeuten. Selbstverstärkende Effekte können in Bioenergiedörfern wie auch städtischen Energiegenossenschaften beobachtet werden. Die Preisentwicklung der etablierten Fernwärmeanbieter unterstützt die Diffusion bisher nicht. Mit Blick auf Abwärmenutzung wären aber auch völlig andere Preismodelle denkbar, wie sie in einigen wenigen Bioenergiedörfern praktiziert werden. Hier werden Investitionskosten vergleichsweise rasch auf die Nutzer umgelegt und die Wärme zu extrem niedrigen Kosten verkauft, was den Impuls des Strebens nach Unabhängigkeit von den Preisen der fossilen Energien für die Wärmenetzdynamik erschließt.

Der Blick auf die Einflussfaktoren lässt sich ergänzen durch eine Blick auf die Pioniere des Wandels, den Typ des Diffusionspfades und auf Schlüsselereignisse:

Pioniere des Wandels: Eine erkennbare Gruppe von Pionieren existiert nur auf der Anwenderseite. In Bioenergiedörfern (BMELV 2012) sind Wärmenetze vorhanden, oft organisiert in Genossenschaften (Degenhart 2010). Sowohl die Initiatoren als auch die Betreiber agieren oft mit ökologischen Zielen, oft auch mit dem Ziel der Förderung des Gemeinschaftslebens in einer ländlichen Gemeinde. Bioenergiedörfer sind insoweit für Nahwärmenetze eine wichtige Stufe, da durch die Unabhängigkeit der Planer und Betreiber der Bioenergiedörfer von den Stadtwerken als klassische Netzbetreiber eine völlig andere Netztechnik möglich wurde, die sich weniger an dem Vorbild der deutschen Fernwärmenetze orientiert als an den deutlich preiswerteren skandinavischen Netzen (Clausen 2012). Aus

dem gleichen Grunde entstanden zumindest fallweise andere Preismodelle, die ebenfalls geeignet erscheinen, die Bewegung weiter in Gang zu halten.

Pfadtyp: Die extreme technologische Pfadbindung durch die Konkurrenz mit den Gasnetzen auf der einen und die hohen Netzbaukosten auf der anderen Seite charakterisiert den Diffusionspfad. Die geringe Dynamik der Marktentwicklung macht den Markt für kommerzielle Akteure grundsätzlich unattraktiv und deutet darauf hin, dass sich ohne deutliche staatliche Eingriffe wenig in Bewegung bringen lassen.

Schlüsselereignisse: Typisch für den Pfad der „komplexen Produkte mit unklarem oder langfristigen Nutzen“ ist die geringe Zahl an Schlüsselereignissen. Der Beginn einer neuen Förderphase von Wärmenetzen durch das KWKG in 2008 markiert das einzige Schlüsselereignis in jüngerer Zeit. Da es an einschlägigen Akteuren und Marktvolumen mangelt existiert bisher weder ein politisch sehr aktiver Fachverband noch sind kapitalstarke Marktführer in den überregionalen Markt des Betriebens von Wärmenetzen eingestiegen. Die existierenden Fachverbände sind älter als die aktuellen Entwicklungen und setzen sich aktuell, soweit dies öffentlichsichtbar ist, wenig für ein wesentliches Marktwachstum ein.

6.2 Interventionsoptionen

Wird das Ziel einer nachhaltigen Wärmeversorgung unter Einschluss der Low-Exergy-Wärmequellen tiefe Geothermie und Solarkollektorfelder wie auch Abwärmenutzung ernst genommen, ist ein breites Portfolio von Maßnahmen zu ergreifen.

Durch die **Entwicklung von dynamischen Modellen** einzelner Siedlungen sollte zunächst überprüft werden, welche Wechselwirkungen zwischen Wärmequellen, Wandlungstechnologien, Netzen, Speichern und der energetischen Sanierung bestehen und welche Entwicklungspfade zur Erzielung eines in der Summe möglichst niedrigen ökologischen Fußabdrucks optimal sind. Darüber hinaus scheint es sinnvoll, die Entwicklung solcher dynamischer Modelle durch eine breite und Positionen übergreifende Gruppe wirtschaftlicher und politischer Akteure zu begleiten, um letztlich ein auf möglichst breitem Konsens basierendes **Leitbild der Entwicklung des Wärmeversorgungssystems** zu erarbeiten, auf dessen Basis ggf. eine **Roadmap Wärmeversorgung** erarbeitet werden kann.

Ein impliziter Konsens besteht zumindest hinsichtlich einer in Zukunft grundsätzlich bestehenden Notwendigkeit für die **Langzeitspeicherung von Wärme**. Mit Blick auf die Tatsache, dass Langzeitwärmespeicher offenbar eine komplexe und nicht fertig entwickelte Technologie sind, ist zu empfehlen, dem Einstieg in die Serienproduktion und der damit verbundenen Herausbildung erster professioneller Serienanbieter einen Impuls zu geben. Dies könnte nach dem Vorbild des 1.000-Dächer Programms erfolgen, das in den 90er Jahren die Errichtung einer ersten mittelgroßen Serie von Photovoltaikanlagen förderte. Um einen echten Impuls zu setzen, wäre mindestens an ein „100-Langzeitwärmespeicher“ Programm zu denken, welches in Abgrenzung zum MAP auf Speichervolumina über 5.000 m³ fokussiert sein sollte.

Ein ähnlicher Impuls ist hinsichtlich von **Solarkollektorfeldern** notwendig. Sollen sie in 2050 wirklich 8 % der Raumwärme erzeugen und auf ca. 25 % des Wohnungsbestandes verteilen, dann müsste die Entwicklung mit einem ähnlichen „100-Solarkollektorfelder“ Programm in Gang gesetzt werden.

Mit Blick auf optimale Nutzung von Low-Exergy Wärme sollte auch die technologische Entwicklung **kalter Wärmenetze** weiter beobachtet und ggf. geeignet gefördert werden.

Weiter ist sehr wahrscheinlich, dass eine große Zahl neuer Akteure notwendig sein wird, um mit neuen Geschäftsmodellen bisher unattraktive Wärmequellen wie tiefe Geothermie, Abwärme und Solar neu zu erschließen. Eine **sektororientierte Förderung von Start-Ups** sollte daher erwogen werden. Mit Blick auf die neuen Akteure ist auch deren geeignete Vertretung in einem Verband von Bedeutung, so dass die sich ergebenden, spezifischen Interessen der Low-Exergy-Wärmenetze auch politisch Gehör finden.

Über die Frage der Wärmeversorgung hinaus ist zu fragen, ob eine kommunale oder **regionale Energieplanung** grundsätzlich die Chancen zur Realisierung einer nachhaltigen und effizienten Energieversorgung verbessern würde. Durch eine öffentlich verfügbare Datenbasis, vielleicht nach dem Vorbild der dänischen Energiepläne, die Wärmequellen, Wärmenutzer und die Verfügbarkeit von Netzen transparent macht, könnte gerade für neue und kleine Akteure die Informationslage deutlich verbessert und ihre Handlungsfähigkeit gestärkt werden. Zudem ist der raumplanerische Aspekt bei Low-Exergy Wärmequellen von höherer Bedeutung als bei fossil oder mit Biomasse betriebenen Netzen. Denn Abwärme aus industriellen Prozessen kann nur (und muss) dort genutzt werden, wo sie anfällt, Flächen für Solarkollektorfelder sind raumplanerisch vorzuhalten und auch die Möglichkeit, tiefengeothermisch Wärme zu gewinnen besteht nicht überall.

7 Literatur

- AGFW (2000): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien- Kurzfassung der Studie. Frankfurt a M.
- AGFW (2008): Der AGFW im Spiegel der Zeit. Eine Chronik zur effizienten und sicheren Gestaltung unserer Energiezukunft. Frankfurt am Main. Online unter www.agfw.de vom 11.5.2012.
- AGFW (2011): Hauptbericht 2010. Frankfurt am Main. Online unter www.agfw.de vom 12.1.2012.
- BMELV (2012): Infoseite zu Bioenergiedörfern. Online unter www.wege-zum-bioenergiedorf.de vom 11.1.2012.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2011): Bericht 2010 / 2011. Außenwirtschaft, Wirtschaftsförderung, Energiewirtschaft, Klimaschutz. Eschborn.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2009): Neues denken, neue Energie. Roadmap Energiepolitik 2020. Berlin. Online unter www.bmu.de vom 28.4.2012.
- Clausen, Holger (2005): Identifying Economic Viable District Heating Potentials - A Study on Bavaria, Germany. Diplomarbeit Universität Stuttgart.
- Clausen, Jens (2012): Kosten und Marktpotenziale ländlicher Wärmenetze. Bericht zu AP 6A im Rahmen des Projektes „Möglichkeiten und Grenzen von Nahwärmenetzen in ländlich strukturierten Gebieten unter Einbeziehung regenerativer Wärmequellen“. Hannover. Online unter www.borderstep.de, Im Erscheinen.
- Clausen, Jens; Winter, Wiebke (2012): Die zukünftige Entwicklung von Nahwärmenetzen in ländlich strukturierten Gebieten. Bericht zu AP 6 B im Rahmen des Projektes „Möglichkeiten und Grenzen von Nahwärmenetzen in ländlich strukturierten Gebieten unter Einbeziehung regenerativer Wärmequellen“. Hannover. Online unter www.borderstep.de,
- Clausen, Jens; Winter, Wiebke; Kettemann, Cora (2012): Akzeptanz von Nahwärmenetzen. Bericht zu AP 7 im Rahmen des Projektes „Möglichkeiten und Grenzen von Nahwärmenetzen in ländlich strukturierten Gebieten unter Einbeziehung regenerativer Wärmequellen“. Hannover. Online unter www.borderstep.de
- Degenhart, Heinrich (2010): Die Finanzierung von Biomasse-Nahwärmegenossenschaften. Ein Überblick. Arbeitspapierreihe Wirtschaft & recht. Leuphana Universität Lüneburg. Online unter www.leuphana.de vom 26.4.2012.
- Destatis (2010): Bauen und Wohnen. Bestand an Wohnungen. Fachserie 5 Reihe 3. Wiesbaden. Online unter www.destatis.de vom 26.4.2012.
- Destatis (2011): Bewohnte Wohneinheiten in Wohngebäuden nach überwiegender Beheizungs- und Energieart 2006. Online unter www.destatis.de vom 2.11.2011.
- Destatis (2012): Baugewerbe in Deutschland. Unternehmen, Beschäftigte, Umsatz und Investitionen im Baugewerbe. Online unter www.destatis.de vom 10.5.2012.

- DLR, FHW, Ökoinstitut, IZES (2009): Ergänzende Untersuchungen und vertiefende Analysen zu möglichen Ausgestaltungsvarianten eines Wärmegesetzes. Endbericht. Online unter www.dlr.de vom 27.4.2012.
- DLR, Fraunhofer IWES, ifn (2011): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global . Leitstudie 2010. Online unter www.bmu.de vom 30.3.2011.
- DLR, Fraunhofer IWES, IfnE (2012) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, Schlussbericht. Stuttgart, Kassel, Teltow.
- Ellerhauge, K.; Pedersen, T. (2007): Solar Heat Storages in District Heating Networks. Arhus und Lyngby.
- European Heat & Power (2012): Heat Roadmap Europe 2050. First Pre-Study for the EU27. Online unter www.heatroadmap.eu vom 14.9.2012.
- FFI (2010): Persönliches Gespräch mit Matthias Kahle, Fernwärmeforschungsinstitut am 24.2.2010.
- Fichter, Klaus; Clausen, Jens; (2012): Diffusionsverläufe von Nachhaltigkeitsinnovationen. Eine empirische Untersuchung von 100 Diffusionsfällen. Im Erscheinen.
- Fischedick, Manfred et al. (2006): Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020. Wuppertal.
- Fischedick, Manfred et al. (2007): Potenziale von Nah- und Fernwärmenetzen für den Klimaschutz bis zum Jahr 2020. UBA-Schriftenreihe Climate Change 17/07. Berlin.
- Groß, B, Tänzer, G. (2010): Industrielle Abwärme - Eine Potentialstudie für Deutschland; ISBN Nr. 978-3-00-032913-5.
- IFEU, Fraunhofer ISI, prognos et al. (IFEU 2011): Endbericht Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative. Heidelberg, Karlsruhe, Berlin, Osnabrück, Freiburg Oktober 2011.
- IZES, BEI, Wuppertal Institut (2011): Erschließung von Minderungspotenzialen spezifischer Akteure, Instrumente und Technologien zur Erreichung der Klimaschutzziele im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (EMSAITEK). Saarbrücken, Bremen, Wuppertal. Online unter www.wupperinst.org vom 11.5.2012.
- KEF, FH-Hannover, FFI (2008): Machbarkeitsstudie. Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmenetzes in Heitlingen - Osterwald o.E. Hannover.
- Lagni, Ole et al. (2010): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011. Zwischenbericht Dezember 2010. Online unter www.fichtner.de vom 15.6.2012.
- Lagni, Ole et al. (2011): Evaluierung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien: Ergebnisse der Förderung für das Jahr 2010. Auszug aus dem Gutachten. Online unter www.erneuerbare-energien.de vom 20.6.2012.
- Mangold, D. et al. (2007): Solare Nahwärme und Langzeitwärmespeicher. Stuttgart.

- Marstal Fjernvarme (2005): Final Technical Report. Online www.nhsoft.dk/work/Kompressor/solvarme/marstal/133200710645.pdf vom 22.11.2010.
- Nußbicker-Lux; Janet (2009): Solarunterstützte Nahwärmeversorgungen in Neckarsulm und Friedrichshafen - Betriebsergebnisse und Betriebserfahrungen. Tagung Große Solaranlagen 30.-31.03.2009 im Haus der Wirtschaft, Stuttgart.
- Pehnt, Martin (2011): Effiziente Nahwärmenetze. Vortrag auf den Berliner Energietagen am 18.5.2011 in Berlin.
- Pehnt, Martin; Bödecker, Jan et al. (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“. Karlsruhe und Heidelberg. Online unter www.ifeu.de vom 11.1.2012.
- Prognos, EWI, gws (Prognos et al.) (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Studienprojekt Nr. 12/10 im Auftrag des BMWi, Köln Basel Osnabrück.
- Schlosser, M. (2010): Multifunktionsspeicher der ersten Generation Hamburg Bramfeld (1996). Vortrag vor dem Netzwerk Wissenschaft für Klimaschutz in der Metropolregion Hannover - Braunschweig - Göttingen. Hannover, den 7.4.2010.
- Solar District Heating (2010): Denmark faces a significant Upswing of Large-Scale Solar District Heating Plants. Online www.solar-district-heating.eu vom 2.12.2010.
- Solar District Heating (2011): European Market Study. Online www.solar-district-heating.eu vom 4.11.2011.