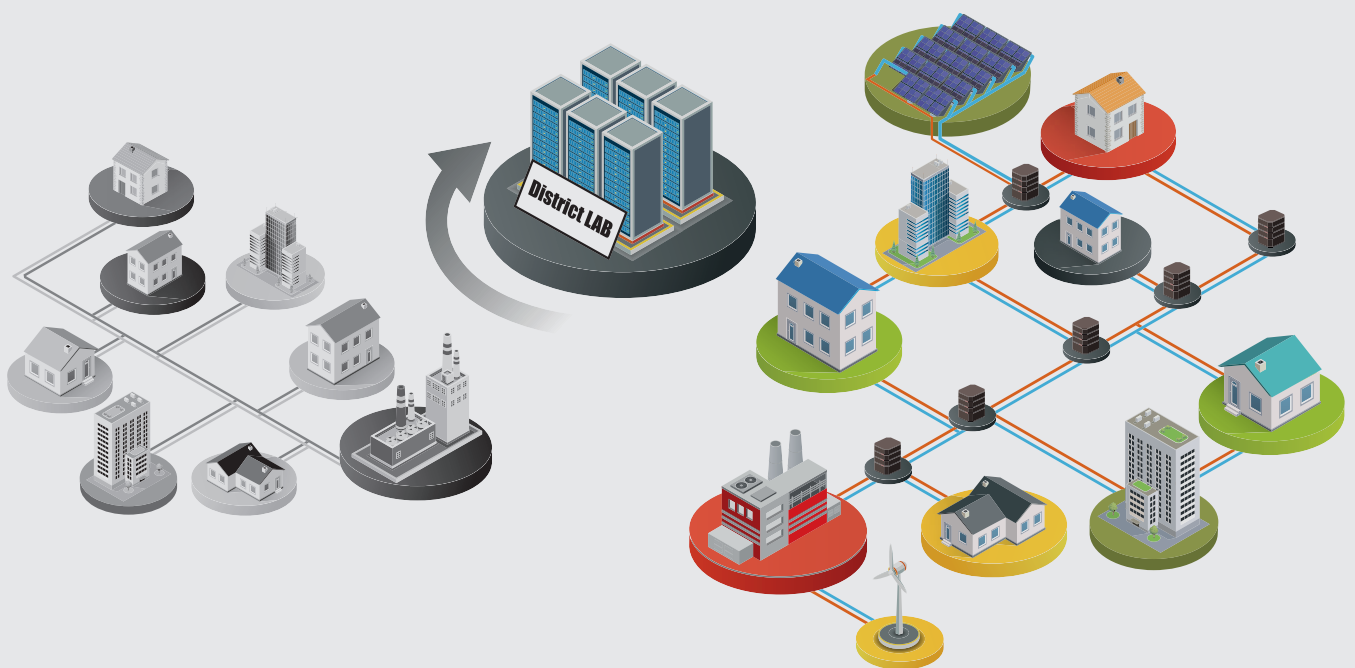


Fernwärmenetze im Kontext nationaler Klimaziele: **Potenziale für „UrbanTurn“**



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

BRUGG
Pipes

Danfoss

Fraunhofer
IEE

GEF
Ingenieur AG

hcu HafenCity
Universität
Hamburg

**Herausgeber:**

AGFW | Der Energieeffizienzverband für
Wärme, Kälte und KWK e. V

Stresemannallee 30

D-60596 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6304-1

Telefax: +49 69 6304-391

E-Mail: info@agfw.de

Internet: www.agfw.de

Verantwortlich:

Dipl.-Ing. Stefan Hay

Telefon: +49 69 6304-345

E-Mail: s.hay@agfw.de

Dr. Heiko Huther

Telefon: +49 69 6304-206

E-Mail: h.huther@agfw.de

Hinweis:

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet. Alle Angaben in dieser Broschüre sind nach bestem Wissen unter Anwendung aller gebotenen Sorgfalt erstellt worden. Trotzdem kann von den Autoren, den Herausgebern und dem Verlag keine Haftung für etwaige Fehler übernommen werden.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren), Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Stand: Juni 2022 / 1. Auflage

© AGFW, Frankfurt am Main

Fernwärmenetze im Kontext nationaler Klimaziele: Potenziale für „UrbanTurn“

Autoren: Dipl.-Ing. Stefan Hay, Dipl.-Ing. (FH) Daniel Heiler (AGFW)
Dr.-Ing. Anna Marie Kallert, Dipl.-Ing. Dennis Lottis (Fraunhofer IEE)
Dipl.-Ing. Roland Ziegler (GEF)
Prof. Dr.-Ing. Ingo Weidlich, M.Sc. Stefan Dollhopf (HCU)

Förderkennzeichen: 03EN3029

Mai 2022

Das dieser Studie zugrundeliegende Vorhaben „**EnEff: Wärme UrbanTurn: Wandlung der urbanen leitungsgebundenen Wärmeversorgung**“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter den Förderkennzeichen 03EN3029 (A, B, C, D, E, F) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Trotzdem kann von den Autoren, den Herausgebern und dem Verlag keine Haftung für etwaige Fehler übernommen werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung der Herausgeber gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	- 1 -
2. Politische Zielstellungen, Potenziale und Anforderungen an die leitungsgebundene Wärmeversorgung.....	- 3 -
3. Leitungsgebundene Wärmeversorgung heute	- 10 -
3.1 Fernwärmeversorgung in Deutschland – Status-quo.....	- 10 -
3.2 Jahresverteilung der Wärmelast und typische Erzeugerkonfigurationen	- 12 -
3.3 Netztopologie	- 14 -
3.4 Typische Auslegungsparameter für die leitungsgebundene Wärmeversorgung	- 17 -
3.5 Typische Fahrweisen für Temperatur und Druck, Außentemperaturgeführte Fahrweise- 22 -	
3.6 Heutiger Grad der Digitalisierung von Fernwärmesystemen und Ausblick	- 29 -
4. Umsetzungen der Wärmewende in Fernwärmeversorgungsunternehmen.....	- 31 -
4.1 Aktuelle Entwicklungen in der Fernwärmebranche.....	- 31 -
4.2 Praxisbeispiele.....	- 32 -
4.3 Zukunftsszenarien für Fernwärme in Hinblick auf leitungsgebundene Betriebsparameter	- 36 -
5. Ableitung von Herausforderungen und Hemmnissen.....	- 37 -
5.1 Methodisches Vorgehen im Projekt „UrbanTurn“.....	- 37 -
5.2 Exemplarische Darstellung der Wechselwirkungen unterschiedlichen Hemmnis Kategorien	- 40 -
5.3 Exemplarische Darstellung zu den Hemmnissen der Wärmeverbraucher	- 40 -
5.4 Exemplarische Darstellung von Hemmnissen bei der Integration EE- Wärmeerzeugungsanlagen	- 42 -
5.5 Herausforderungen und Hemmnisse der leitungsgebundenen Infrastruktur	- 46 -
6. Fazit	- 51 -
7. Literatur	- 53 -
8. Anhang.....	- 57 -
8.1 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 1	- 57 -
8.2 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 2	- 61 -
8.3 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 3	- 65 -
8.4 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 4	- 69 -
8.5 Wärmenetz-Steckbrief – Feldlager, Kassel (Machbarkeitsstudie).....	- 74 -

1. Zusammenfassung

Das Verbundvorhaben: EnEff:Wärme: UrbanTurn ist ein vom BMWK gefördertes, laufendes Forschungsprojekt, das unter anderem darauf abzielt, bestehende Fernwärmenetze durch verbesserte Auslegungskriterien für die Umstellung auf einen höheren Anteil erneuerbarer Energien zu qualifizieren. Im Zuge dieser Studie werden ausgehend vom Status quo der Fernwärme in Deutschland, politische Studien, technische Regelwerke und Transformationsprojekte gesichtet, um die Anforderungen, Potenziale und Herausforderungen der Fernwärmenetze in der Zukunft zu verifizieren.

In Deutschland decken derzeit durchschnittlich drei Wärmeerzeugungsanlagen (1 KWK, 2 Heizwerke) pro Fernwärmenetz den bestehenden Wärmeleistungsbedarf über eine Gesamtlänge von 21.482 Kilometern an insgesamt 360.305 Hausanschlussstationen [1]. Der Marktanteil der Fernwärmeversorgung in Deutschland liegt bei ca. 14% [2] und der Anteil der erneuerbaren Wärmequellen beträgt ca. 17,8% [3].

Der überwiegende Teil der bestehenden Fernwärmesysteme sind Heißwassernetze (20.938 km) mit Auslegungstemperaturen über 110°C. Ein kleiner Teil nutzt noch Dampf als Wärmeträgermedium (Dampfnetze 544 km) [1]. Für die Betriebsplanung von Wärmeerzeugungsanlagen ist eine Lastprognose des Wärmebedarfs auf Basis des Nutzungsverhaltens in Verbindung mit der Außentemperatur weit verbreitet. Die Betriebsführung erfolgt über eine außentemperaturabhängige Anpassung der Betriebsparameter (Temperatur und Druck) zur Deckung des Wärmebedarfs. Für die Betriebsführung und Optimierung ist die digitale Erfassung der Betriebsparameter (Temperatur, Druck und Volumenstrom) an Wärmeerzeugungsanlagen, definierten Stellen im Wärmenetz (z.B. Druckerhöhungsstationen) und bei Sonderkunden bereits Stand der Technik. Gemessen an der Länge des Wärmenetzes und der Anzahl der Hausanschlussstationen ist der Anteil der digitalen Punkte zur Erfassung von Betriebsparametern und deren Nutzung für die Betriebsführung heute noch gering [4].

Im Rahmen der Erreichung der deutschen Klimaziele wird in der aktuellen politischen Diskussion die Klimaneutralität des Wärmesektors zum Ziel erklärt. Dabei haben veränderte Rahmenbedingungen zuletzt zu dazu geführt, dass der Zeitpunkt zur Erreichung des Zieles der Klimaneutralität von 2050 auf 2045 angepasst wurde. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, die Potenziale von Fernwärmenetzen herauszuarbeiten, die im Kontext der nationalen Klimaziele entstehen. Die entscheidende Frage bei der Recherche politischer Studien ist, wie Wärmenetze zur Erreichung der nationalen Klimaziele beitragen können. Der Zeitpunkt, wann die Klimaziele erreicht werden, ist für die Untersuchungen im Forschungsprojekt „UrbanTurn“

von untergeordneter Bedeutung, da sich der Zeitpunkt zur Erreichung der Ziele lediglich auf die Bearbeitungszeit zur Umsetzung auswirkt. Für die Recherche der politischen Zielstellungen wurden mehrere Studien gesichtet und hinsichtlich ihrer Eignung für das Projekt ausgewertet. Entsprechende Studien prognostizieren eine Reduktion des Endenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasserbereitung bis 2050 (langfristig), als Folge der Modernisierung des Gebäudesektors [5, 6]. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass der Marktanteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung bis 2030 auf 30 % und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeerzeugung im gleichen Zeitraum auf bis zu 45 % gesteigert werden kann [7]. Die Auswirkungen dieser Transformationsziele auf die Struktur der bestehenden Wärmesysteme und die Auswirkungen auf die Wärmenetze bleiben dabei weitgehend unberücksichtigt. Das übergeordnete Ziel des ersten Teils des „UrbanTurn“-Projekts ist es, die Anforderungen, Potenziale und Herausforderungen an Wärmenetze in der Zukunft zu verifizieren. Ausgangspunkt hierfür sind die Auslegungsgrundsätze und Auslegungskriterien für Wärmenetze [8, 9, 10]. Die Untersuchungen zeigen, dass die Dekarbonisierung bestehender Wärmenetze in Kombination mit einer Erhöhung des Marktanteils, insbesondere in städtischen Gebieten, ein großes Potenzial zur Erreichung der nationalen Klimaziele bietet. Der notwendige Transformationsprozess erfordert u.a. die Substitution fossiler Wärmeerzeugungsanlagen, die Anpassung der Netztemperaturen und die Erhöhung der dezentralen Wärmeerzeugung. Durch die zunehmende dezentrale Einspeisung ist eine höhere thermohydraulische Dynamik in den Netzen zu erwarten. Dies bedeutet häufigere Änderungen der Strömungsrichtung in den Leitungen oder schnellere und häufigere Temperaturänderungen, die eine Zunahme der Lastzyklen sowie Druckspitzen verursachen und die Ermüdung der erdverlegten Infrastruktur beeinflussen können. Daher müssen bestehende Abschätzungen und Annahmen für Berechnungen zur Rohrstatik überdacht werden. Aufgrund der dezentralen Wärmeeinspeisung und der veränderten Betriebsbedingungen ist eine Anpassung und Ausweitung der digitalen Erfassung von Betriebspunkten im Fernwärmesystem sowie eine Überarbeitung der bisherigen Normung notwendig. Die sich daraus ergebende Flexibilität der Betriebsparameter Temperatur und Druck der Fernwärmenetze sowie deren zulässige Grenzbereiche sollen im nächsten Schritt des Projektes durch Versuche und Simulationen an der Versuchseinrichtung „District LAB¹“ untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Studie bilden die Grundlage für zukünftige die Experimente im „District LAB“.

¹ Das Versuchs- und Testzentrum District LAB besteht aus einem flexiblen Testnetz mit angeschlossenen Versuchs- und Prüfständen für Wärmeerzeuger im Quartiersmaßstab sowie eine Teststrecke für Rohrleitungstests. Weitere Informationen unter: https://www.iee.fraunhofer.de/de/testzentren-und-labore/District_LAB.html und [11]

2. Politische Zielstellungen, Potenziale und Anforderungen an die leitungsgebundene Wärmeversorgung

Mit der Novellierung des Klimaschutzgesetzes hat die Bundesregierung am Ende der letzten Legislaturperiode die nationalen Klimaziele weiter verschärft. Seit August 2021 gilt es bis 2030 die Treibhausgas-Emissionen um 65% gegenüber den Emissionen im Referenzjahr 1990 zu reduzieren. Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland die Treibhausgasneutralität erreichen [12]. Für die Darstellung der politischen Zielstellungen wurden im Rahmen der Literaturrecherche verschiedene Studien gesichtet und auf ihre Eignung zur Verwendung in „UrbanTurn“ geprüft. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die zum Zeitpunkt der Literaturrecherche verfügbaren Studien sich auf das Klimaschutzgesetz aus dem Jahre 2019 beziehen und von einer Reduktion der Treibhausgas-Emission um 55% bis 2030 sowie für das Erreichen der Treibhausgasneutralität das Jahr 2050 annehmen [13, 14]. Anhand dieser globalen politischen Zielstellungen prognostizieren verschiedene wissenschaftliche Studien, wie sich die Energieversorgung in Abhängigkeit der geltenden sowie ggf. angepassten politischen Rahmenbedingungen bzw. in den für die Prognosen zugrunde gelegten Annahmen entwickeln.

Dabei ist festzustellen, dass die verschiedenen Studien unterschiedliche Zielstellungen verfolgen [15, 16, 17, 18, 19] und teilweise aufeinander Bezug nehmen. (Daten-)Grundlagen zur Erstellung der Prognosen sowie Ziele sind auf die Analysen bzw. Berechnungen einzelner Institute, wie bspw. der Prognos AG, zurückzuführen. Bei der aktuellen Studie des BDEW (BDEW 2021 [20]), handelt es sich um eine Metastudie, in der verschiedene bestehende Studien zusammenfassend dargestellt und darauf aufbauend politische Ziele sowie technische Maßnahmen abgeleitet werden. Eine der wesentlichen Kennzahlen, die in nahezu allen Studien angeführt wird, ist der Ausstoß von Treibhausgasemissionen in äquivalenten CO₂-Emissionen. Auch wenn diese Kenngröße zur Beschreibung und Bewertung der in den Studien dargestellten Szenarien sowie zur Argumentation in der gesellschaftlichen bzw. politischen Diskussion entscheidend ist, so ist diese Kennzahl zur Ableitung von Anforderungen an die Transformation der urbanen leitungsgebundenen Wärmeversorgung lediglich von untergeordneter Bedeutung. Wichtiger für die Anforderungen an Wärmenetze sind die Umsetzung möglicher CO₂-Reduktionen anhand lokaler Bedingungen bzw. die aus der Erschließung lokaler Potenziale resultierenden Anpassungen des Wärmenetzes. So können sich in Folge der Umsetzung von Transformations- bzw. Dekarbonisierungsmaßnahmen typische Auslegungsparameter wie bspw. die Wärmebedarfsleistung im Versorgungsgebiet (kurz: Wärmebedarf) ändern. Zusätzlich kann die Veränderung typischer Auslegungsparameter eine Anpassung der Betriebsparameter des Wärmenetzes (u. a. Druck

und Temperatur) erfordern. Diese müssen auf Grundlage der Analyse des Gesamtsystems unter Berücksichtigung des Zusammenspiels mehrerer Zielgrößen entwickelt werden.

In Tabelle 1 sind deshalb die Zielwerte:

- 1) Zukünftiger Wärmebedarf (Endenergiebedarf Raumwärme und Warmwasser in [TWh]),
- 2) Prozentualer Anteil der Fernwärmeversorgung bezogen auf den gesamten Wärmeleistungsbedarf,
- 3) Prozentualer Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeerzeugung
- 4) und die in den Szenarien angenommene Modernisierungsrate der Gebäude

angegeben. Diese Werte wurden den Studien BDI 2018 [5], AGFW 2020 [7] und Agora Energiewende 2020 [6] entnommen und fließen in die Erarbeitung von Anforderungen für die Wandlung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung ein. Weiterführende Informationen entstammen dem Projekt Transformationspfade im Wärmesektor des Fraunhofer IEE aus 2019 [21].

Als Besonderheit ist in BDI 2018 [5] zu beachten, dass für die verschiedenen Jahre 2030, 2040 und 2050 drei Szenarien vergleichend gegenübergestellt sind. Ein Referenzszenario, ein Szenario, in dem die Reduktion der CO₂-Emissionen um 80% im Vergleich zu 1990 zugrunde gelegt wird und ein Szenario in dem eine Minderung der CO₂-Emissionen um 95% im Vergleich zu den Emissionen von 1990 erreicht wird. Die Unterschiede der drei Szenarien werden auch in Tabelle 1 deutlich. Neben der Steigerung der jährlichen Sanierungsrate des Gebäudebestandes, steigt auch der Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeversorgung vom Referenz- zum 95%-Szenario. Dies hat letzten Endes auch einen höheren Anteil der Fernwärmeversorgung am gesamten Wärmebedarf zur Folge. Insgesamt sinkt in BDI 2018 [5] der gesamte Wärmebedarf von etwa 652² bzw. 582³ TWh im Jahr 2030 sowie auf 530² bzw. 382³ TWh im Jahr 2050 bezogen auf das Referenzszenario ab. Der Anteil der Fernwärmeversorgung am gesamten Wärmebedarf steigt dabei von min. 12 %² im Jahr 2030 auf bis zu 26,7 %³ im Jahr 2050 an. Gleichzeitig wird der Anteil der Erneuerbaren Energien von min. 37 %² im Jahr 2030 auf bis zu 100 %³ im Jahr 2050 gesteigert [5].

Ein ähnlicher Trend wird auch in AGFW 2020 [7] prognostiziert, wobei in der Studie kurzfristige Maßnahmen bzw. Ziele bis 2030 als elementar notwendig zum Erreichen der Klimaziele

² Zahlenwert gemäß Referenzszenario [5] bezogen auf das prognostizierte Zieljahr

³ Zahlenwert gemäß des 95%-Szenario [5] bezogen auf das prognostizierte Zieljahr

vorausgesetzt werden und deshalb lediglich ein verkürzter Abriss der zu erwartenden Situation der Fernwärmeversorgung im Jahr 2050 aufgezeigt wird: 2050 werden noch 171 TWh der Wärmeversorgung durch Fernwärme bereitgestellt, die bis dahin gemäß der Studie klimaneutral produziert werden. Im Betrachtungszeitraum zwischen 2020 und 2030 steigt der Anteil der erneuerbaren Energien zur Fernwärmeerzeugung bereits auf 45 % an. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Fernwärme an der gesamten Wärmeversorgung von 14 % auf 30 % ansteigt. Im gleichen Zeitraum sinkt der gesamte Wärmebedarf auf 482 TWh pro Jahr ab. Grund dafür sind die Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudesektor. Die zu Grunde liegende Sanierungsrate wird nicht beziffert [7].

In der Studie Agora Energiewende 2020 [6] orientieren sich die Ziele für den Gebäudesektor an den Klassifizierungen des Energiestandards der KfW: So werden für Neubauten KfW 40 und für Bestandsgebäude die Ertüchtigung auf KfW 55 zugrunde gelegt. Unter dieser Annahme sinkt der Wärmebedarf des Gebäudesektors von 610 TWh 2030 auf 447 TWh im Jahre 2050 ab. Der Anteil der Fernwärmeversorgung steigt von 16 % (2030) auf 25 % (2050) an. Im gleichen Zeitraum steigt der Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeerzeugung von 45 % auf 98 % im Jahr 2050 an [6].

Neben den Veränderungen der Fernwärmeerzeugung bzw. der Entwicklung des Wärmebedarfs werden in AGFW 2020 [7] und in Agora Energiewende 2020 [6] der damit einhergehende Ausbau von Wärmenetzen in Deutschland quantifiziert. In Zusammenhang damit werden Prognosen zum Zuwachs der Trassenlängen und notwendige Investitionen in die leitungsgebundene Infrastruktur herausgearbeitet.

In AGFW 2020 erfolgt die Abschätzung des benötigten Fernwärmenetzausbaus zur Erreichung des Zielwertes 30 % an der gesamten Wärmeversorgung über die Anzahl der angeschlossenen Gebäude und die Trassenlänge je angeschlossenem Gebäude. Ausgehend von dem durchschnittlichen Wert Trassenmeter je Gebäude gemäß dem AGFW Hauptbericht [1] wird angenommen, dass sich aufgrund der angestrebten Netzverdichtung in Gebieten mit Wärmenetzen die mittlere Trassenlänge je Gebäude von 58 m auf 50 m im Jahr 2050 verringert. In den Berechnungen laut AGFW 2020 [7] steigt die Gesamtlänge aller Fernwärmenetze von aktuell etwa 23 Tsd. Trassenkilometer auf dann 45 Tsd. Trassenkilometer bis zum Jahr 2030 an. Im Zeitraum bis 2050 werden dann nochmals 20 Tsd. Trassenkilometer hinzugebaut, sodass die Gesamtlänge im Jahr 2050 bei 65 Tsd. Trassenkilometern liegt (vgl. Abbildung 1) [7]. Zu ähnlichen Aussagen gelangt die Studie des Fraunhofer IEE. Zu Erreichung einer Klimaneutralität bis 2030 muss der Endenergieanteil für die Versorgung mit Wärmenetzen von 11% (2018) auf 37 % (2030) gesteigert werden. Das IEE rechnet hier mit zusätzlich 85.000km Trassenkilometer [21].

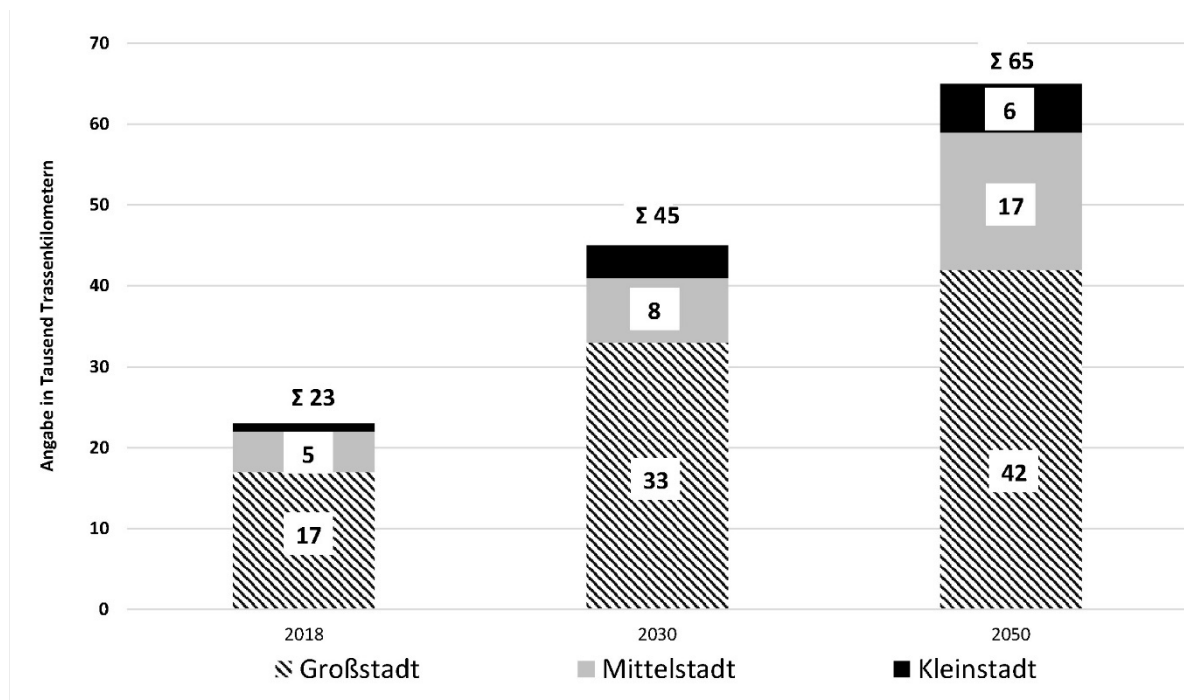


Abbildung 1: Entwicklung der Trassenlängen in Deutschland bis 2050 unterschieden nach Groß-, Mittel- und Kleinstadt, Quelle: AGFW 2020 [7]

Tabelle 1: Übersicht der Ziele ausgewählter Studien für 2030, 2040 und 2050 bezogen auf den Endenergiebedarf 1), den Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung 2), den EE-Anteil an der Fernwärmeversorgung 3) und die Modernisierungsrate der Gebäude 4)

Studie	2030				2040				2050			
	1) [TWh]	2) [%]	3) [%]	4) [% p. a.]	1) [TWh]	2) [%]	3) [%]	4) [% p. a.]	1) [TWh]	2) [%]	3) [%]	4) [% p. a.]
[5] (Ref./80%/95%) ⁴	652/600/582	12/15/15,6	37/42,8/46	1,1/1,7/1,9	558/492/467	13/18,5/22	47,6/62/66,3	1,1/1,7/1,9	530/416/382	14/21/26,7	61,5/80,7/ 100	1,1/1,7/1,9
[6] ⁵	610	16	45	Ziel: KFW 40 (Neubau), KFW 55 (Bestand)	522	21	72,8	k. A.	447	25	98	k. A.
[7]	486	30	45	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Klimaneutrale FW	k. A.

- 1) Endenergiebedarf Raumwärme und Warmwasser in [TWh]
- 2) FW-Anteil an der Wärmeversorgung in [%]
- 3) Anteil Erneuerbare Energien EE an der FW-Versorgung in [%]
- 4) Modernisierungsrate Gebäude in [% p. a.]

⁴ In BDI 2018 [5] werden unterschiedliche Szenarien dargestellt und verglichen: Referenz (Ref.), 80%-Pfad (80%) bei dem eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 80% verglichen zu 1990 unterstellt wird, 95%-Pfad (95%) bei dem eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 95% verglichen zu 1990 vorausgesetzt wird.

⁵ Angaben der Studie beziehen sich nur auf die Wärmeversorgung des Gebäudesektors, dabei wurden die prozentualen Werte für 3) aus den Angaben zur Fernwärmeerzeugung abgeleitet (fossile Energieträger: Erdgas, Abfall fossil, sonstige, Braunkohle, Steinkohle)

Auch die Studie Agora Energiewende 2020 [6] verweist darauf, dass mit dem Ausbauziel der Fernwärme eine Steigerung der Anschlüsse bis 2030 um 50 % und im Zeitraum bis 2050 um bis zu 150 % erforderlich sein wird. Auf Grundlage der Anzahl der Kundenanschlüsse gemäß dem AGFW Hauptbericht von 360.305 Kundenanschlüssen [1], müssten der Studie der Agora Energiewende zu Folge bis 2030 188.653 neue Kundenanschlüsse und bis 2050 sogar 565.958 neue Kundenanschlüsse gebaut werden. In Verbindung mit der Annahme bezüglich der durchschnittlichen Länge an Trassenmetern pro neuen Hausanschluss aus [7], resultiert daraus ein Zuwachs von 9.432 Trassenkilometer bis 2030 bzw. von 28.297 Trassenkilometer bis 2050.

Die Literaturrecherche verschiedener politischer Studien bestätigt das enorme Potenzial der leitungsgebundenen Wärmeversorgung als Beitrag zur Erreichung der deutschen Klimaziele. Die in den Studien dargestellten Prognosen der zukünftigen Wärmeversorgung zeigen, dass nahezu alle Studien von einer Steigerung des Anteils der Fernwärme an der gesamten Wärmeversorgung in Deutschland ausgehen. Diese Entwicklung geht einher mit der Absenkung des gesamten Wärmebedarfs für Raumwärme sowie Warmwasser in Folge der Sanierung bzw. Modernisierung des Gebäudesektors, sowie der gebäudetechnischen Ausrüstung. Weiterhin wird mit der Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung durch die Substitution fossiler durch erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen eine klimaneutrale Fernwärmeversorgung im Jahre 2050 erreicht. Die damit verbundenen Investitionen in Fernwärmesysteme sind sehr hoch und werden in den Studien unterschiedlich quantifiziert.

Auch wenn die technischen Auswirkungen auf bestehende Wärmenetze bzw. deren zukünftige Entwicklung nicht Gegenstand der recherchierten Studien sind, lassen sich vier technische Schwerpunkte direkt ableiten:

1. Die Umsetzung der politischen Ziele zur Erreichung der Klimaziele wird den deutlichen Anstieg von Fernwärmekundenanschlüssen und somit neuer Kundenanlagen bedingen. Infolgedessen kann die Anzahl von fernauslesbaren Messpunkten im Fernwärmesystem gesteigert werden.
2. Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wird neben der reinen Substitution fossiler Wärmeerzeugungsanlagen durch erneuerbare Energien auch die Integration und Erschließung weiterer Potenziale erfordern, die voraussichtlich mit einer Anpassung/Absenkung der Vorlauftemperaturen und einer Steigerung der Dezentralität der Fernwärmerzeugung erreicht werden kann. Auch in diesem Zusammenhang ist von einer Steigerung der Anzahl von fernauslesbaren Messpunkten im Fernwärmesystem auszugehen.

3. Die Nutzung der anfallenden Daten zur Entwicklung neuer, verbesserter Betriebsstrategien wird im Zusammenhang mit der Volatilität erneuerbarer Wärmeerzeugungsanlagen und der Steigerung der Dezentralität der Wärmeerzeugung aufgrund der Steigerung der Komplexität an Bedeutung gewinnen. Die im Rahmen von „UrbanTurn“ geplanten Versuche und Simulationen zur Dynamik der relevanten Betriebsparameter „Druck“ sowie „Temperatur“ werden wesentlich zur Weiterentwicklung der Netzhydraulik beitragen und sind zur Umsetzung der aufgezeigten Ziele dringend erforderlich.
4. Für die Umsetzung der Zielvorgaben der Studien sind die Anpassungen der leitungsgebundenen Wärmeversorgung in Bezug auf die Betriebstemperaturen, den Betriebsdruck des Wärmenetzes, den Ausbau des bestehenden Netzes (Neubau und Anschlussverdichtung) und ggf. Änderungen der Rohrleitungen (bspw. von Rohrnennweiten) im Zusammenhang mit einer veränderten Netzhydraulik erforderlich. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass die politischen Ziele mit einer deutlichen Steigerung der gesamten Trassenlänge der Wärmenetze in Deutschland erreicht werden. Wie zuvor beschrieben, lässt sich zu Grunde legen, dass durch die im Zusammenhang mit der Digitalisierung anfallenden Daten Werkzeuge erarbeitet werden können, die zur Bewältigung der Herausforderungen in Verbindung mit einer Effizienzsteigerung der Fernwärmesysteme beitragen.

3. Leitungsgebundene Wärmeversorgung heute

Die leitungsgebundene Wärmeversorgung hat sich bis heute stets unter den individuellen Randbedingungen in den jeweiligen Versorgungsgebieten entwickelt. Anhand definierter Zielstellungen des Versorgungsunternehmens sichern Fernwärmesysteme, unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und politischer Einflüsse, die bedarfsgerechte und zuverlässige Bereitstellung von Wärme. Dabei dienen individuelle Ziele sowie Vorgaben der Versorgungsunternehmen dazu eine optimale Balance zwischen der Ausnutzung vorhandener Wärmeerzeugungsanlagen und der Deckung des Wärmebedarfs herzustellen. Aufgrund dessen besitzen die nachfolgenden Darstellungen bzgl. verbreiteter Erzeugerkonfigurationen, vorhandener Unterscheidungsmerkmale zu den Wärmenetztopologien sowie Auslegungsparametern zur Dimensionierung und Betriebsweisen von Wärmenetzen nicht zwangsläufig eine Übertragbarkeit auf alle Wärmenetze in Deutschland. Die Darstellungen spiegeln diesbezüglich aber zu den relevanten Untersuchungsmerkmalen in „UrbanTurn“, aufbauend auf der recherchierten Literatur, den technischen Regelwerken des AGFW und den Erfahrungen seiner Mitglieder sowie des Projektkonsortiums „UrbanTurn“, die Grundlagen für die Beschreibung der heutigen leitungsgebundenen Wärmeversorgung wider.

3.1 Fernwärmeversorgung in Deutschland – Status-quo

Für die Beschreibung des Status-quo der Fernwärmeversorgung in Deutschland werden die Angaben des AGFW Hauptberichtes 2020 zu Grunde gelegt. An der seit 1971 jährlich erhobenen Statistik des AGFW haben zuletzt 196 Fernwärmeversorgungsunternehmen teilgenommen:⁶

Die Trassenlänge der Wärmenetze in Deutschland beträgt 21.482 km, die nochmals in Trassenkilometer von Heißwassernetzen (20.938 km) und von Dampfnetzen (544 km) unterschieden werden. Die insgesamt 1207 Wärmenetze stellen mit 360.305 Kundenanlagen (Heißwassernetze 353.455 Anlagen, Dampfnetze 6.850 Anlagen) die benötigte Wärmemenge bereit. 2019 betrug die Wärmeabgabe aller Fernwärmeversorgungsunternehmen an die Kunden 255.661 TJ, die in Verbindung mit der dazu notwendigen Wärmeeinspeisung in die Netze von 290.374 TJ, einen durchschnittlichen Wärmeverlust der Wärmenetze von 12 % ergibt.

⁶ Die Statistik wird nur an AGFW-Mitglieder versendet. Die Teilnahme an der Statistik ist freiwillig. Die 2020 veröffentlichten Daten beziehen sich auf das Betriebsjahr 2019.

Bei der Wärmeerzeugung wird im AGFW Hauptbericht in die Wärmeerzeugung mit eigenen Anlagen und den Fremdbezug von Wärme unterschieden. In Abbildung 2 sind Anteile der verschiedenen Brennstoffe zur Wärmeerzeugung – links in KWK-Anlagen und rechts in Anlagen ohne KWK-Prozess – dargestellt. Bzgl. der Fernwärmeerzeugung lassen die Zahlenwerte in Abbildung 2 folgende Schlussfolgerungen zu:

- » Der überwiegende Teil der Fernwärme wird in KWK Anlagen erzeugt und wird zu 82% aus fossilen Brennstoffen gewonnen
- » Bei Wärmeerzeugungsanlagen ohne KWK-Prozess überwiegt ebenfalls der Anteil der fossilen Brennstoffe (75%).

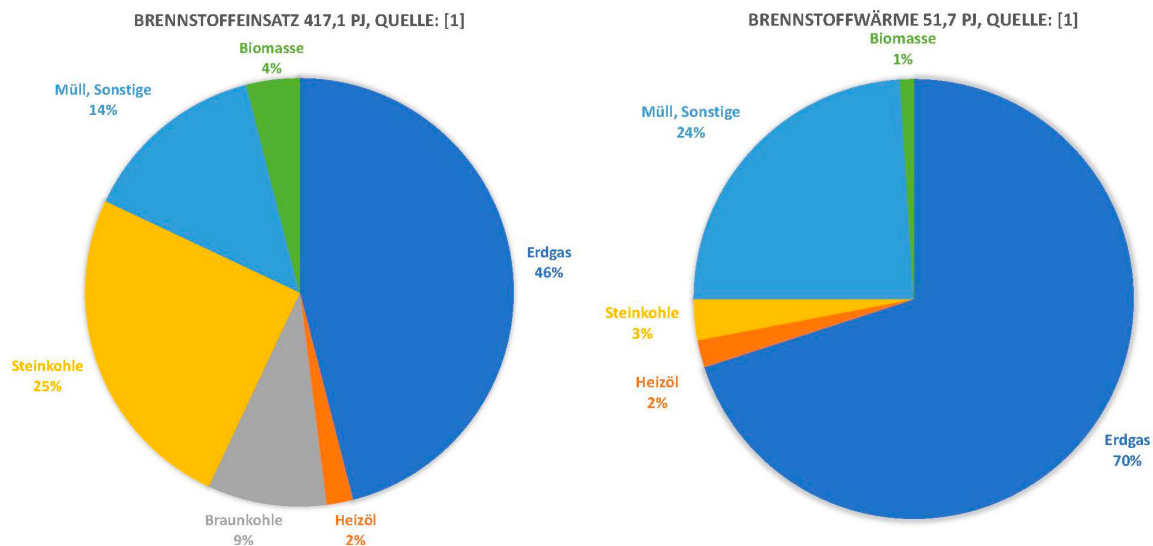


Abbildung 2: Anteile der verschiedenen Brennstoffe an der Wärmeerzeugung in Fernwärmesystemen inkl. Fremdbezug, li. KWK-Anlagen, re. Anlagen ohne KWK-Prozess, Quelle: AGFW [1]

Anhand der Anzahl der Erzeugungsanlagen der Versorgungsunternehmen (kein Fremdbezug) kann in Bezug auf die Gesamtzahl der Wärmenetze, rein statistisch betrachtet aus der Anzahl der Wärmeerzeugungsanlagen und der Anzahl der Wärmenetze in [1], eine durchschnittliche Anzahl von 2,95 Erzeugungsanlagen pro Netz abgeleitet werden. Hierbei kann nochmals in durchschnittlich Ø1,13 KWK-Anlagen/Netz und Ø1,82 Heizwerke/Netz unterteilt werden.

In analoger Weise können aus den statistischen Daten auch Durchschnittswerte für Heißwasser- und Dampfnetze gebildet werden, um den aktuellen Stand der Fernwärmeversorgung in Deutschland rein statistisch zu beschreiben. Im AGFW Hauptbericht [1] sind 1.163 Heißwassernetze erfasst. Die Gesamtrassenlänge der Heißwassernetze

beträgt 20.938 km. Wird nun die Gesamtrassenlänge durch die Anzahl der erfassten Heißwassernetze dividiert, beträgt die durchschnittliche mittlere Netzlänge $\varnothing 18,0 \text{ km/Netz}$. Bei diesem Durchschnittswert ist zu berücksichtigen, dass es in Deutschland im urbanen Raum sehr große Wärmenetze gibt. Städte wie München (rd. 800 km) [22], Hamburg (845 km) [23], Flensburg (über 700 km) [24], Dresden (578 km) [25] oder Mannheim (567 km) [26] sind hier als Beispiel zu nennen. Daraus lässt sich gleichermaßen schließen, dass eine große Anzahl von Wärmenetzen mit sehr geringe Trassenlängen in der Statistik erfasst sind. Dies unterstreicht die Diversität der Netze im Fernwärmemarkt. Die mittlere Trassenleistung kann anhand der statistischen Daten mit $\varnothing 2,3 \text{ MW/km}$ beziffert werden. Der mittlere Anschlusswert pro Hausstation beträgt $\varnothing 138 \text{ kW}$. Für Dampfnetze können die gleichen Kennzahlen gebildet werden: Mittlere Netzlänge: $\varnothing 12,4 \text{ km/Netz}$, mittlere Trassenleistung: $\varnothing 6,4 \text{ MW/km}$, mittlerer Anschlusswert: $\varnothing 511 \text{ kW/Hausstation}$ [1].

3.2 Jahresverteilung der Wärmelast und typische Erzeugerkonfigurationen

Wärmeabnehmer können die über Wärmenetze verteilte Energie für verschiedenen Zwecke nutzen. Neben der Nutzarten Raumwärme und Warmwasserbereitung, ist es auch möglich Prozesswärme für industrielle Anwendungen bereit zu stellen. Daraus können einerseits Anforderungen an das Temperaturniveau der Wärme seitens der Wärmeabnehmer resultieren, die sich auf die Betriebsparameter des Wärmenetzes auswirken. Andererseits beeinflussen die verschiedenen Nutzarten den Wärmebedarf, der infolgedessen täglichen Schwankungen durch das Nutzerverhalten ausgesetzt ist und zusätzlich jahreszeitlich bedingt variiert.

Die Kenntnis des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet, der neben den zuvor beschriebenen Jahres- und Tageszeitabhängigkeiten auch durch die Witterungsbedingungen beeinflusst wird, ist für den Betrieb des Wärmenetzes elementar. Grundsätzlich erfolgt die Einsatzplanung der Wärmeerzeugungsanlagen auf Grundlage einer Wärmebedarfsprognose, die anhand von Wetterdaten in Verbindung mit dem Abnahmeverhalten der Verbraucher erstellt wird. Die daraus resultierende Wärmelast des Fernwärmesystems lässt sich drei Bereichen zuordnen: Grundlast, Mittellast und Spitzenlast. In Abbildung 3 ist eine geordnete Jahresdauerlinie eines Wärmenetzes dargestellt. Drei Wärmeerzeuger decken in dieser Darstellung den Wärmebedarf der Kunden im Wärmenetz. Wärmeerzeuger 1 erzeugt dabei die Grundlast, die in diesem Beispiel zwischen 10 % und 30 % des Wärmebedarfs beträgt. Gemeinsam mit Wärmeerzeuger 2 kann bis auf 900 Benutzungsstunden des Jahres der Wärmebedarf gedeckt werden (Mittellast, in Abbildung 3 bis 60 %). Für die Abdeckung der Spitzenlast, im Beispiel

etwa 900 Stunden des Jahres, müssen alle drei Erzeugungsanlagen Wärme zur Deckung des Leistungsbedarfs produzieren (Spitzenlast).

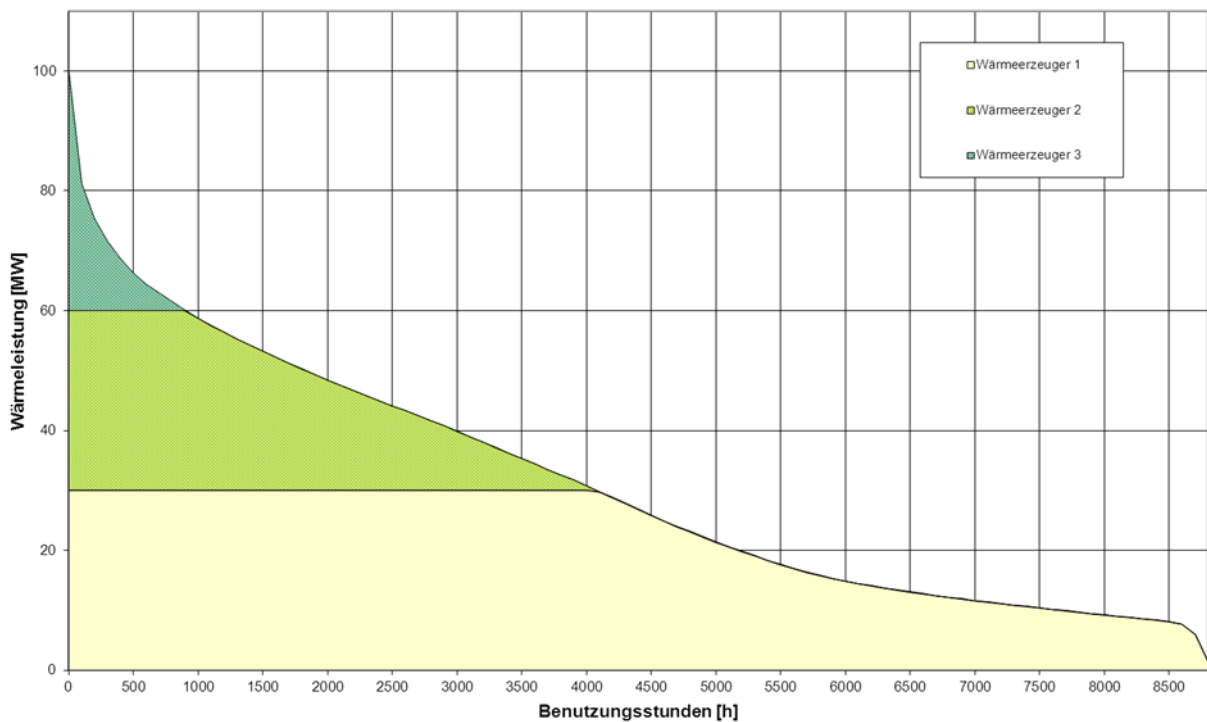


Abbildung 3: Beispiel einer geordneten Jahresdauerlinie mit den vorgesehenen Betriebsstunden der einzelnen Wärmeerzeugereinheiten, Quelle: AGFW [27]

Wird die Grundlast des Wärmenetzes im Sommer weiter reduziert, entsteht ein zusätzlicher Lastbereich, die Sommerlast, die in einigen Wärmenetzen unter der Grundlast liegt. In Abbildung 3 beginnt die Sommerlast des exemplarischen Beispielnetzes in der geordneten Jahresdauerlinie im Bereich ab etwa 7.000 Betriebsstunden und kann zwischen 10% und 20% der Wärmeleistung des Systems betragen. Je nach Wärmenetz, Wärmebedarfs der Kunden, verfügbaren Wärmeerzeugungsanlagen und Einsatzplanung der Anlagen können Grundlast, Mittellast und Spitzenlast unterschiedlich ausgeprägt sein.

Die Einsatzplanung der Wärmeerzeugungsanlagen erfolgt häufig nach dem Merit-Order Prinzip⁷, das unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Kriterien die Deckung des Wärmebedarfs im Fernwärmesystem ermöglicht. Dabei können Bestandteile des Fernwärmesystems wie bspw. Wärmespeicher die Einsatzplanung von Wärmeerzeugungsanlagen flexibilisieren und dadurch zur Verbesserung des wirtschaftlichen Betriebs beitragen.

⁷ Die sortierte Grenzkostenkurve der Strom- bzw. Wärmeerzeugung wird als Merit Order (englisch für Wert-Reihenfolge) bezeichnet. Anhand dieser lässt sich für eine gegebene Nachfrage zu jedem Zeitpunkt bestimmen, mit welchen Kraftwerken / Erzeugungsanlagen diese Nachfrage am kostengünstigsten gedeckt werden kann.

In Abhängigkeit der lokalen Flächenverfügbarkeit können Wärmeerzeugungsanlagen zentral, also alle an einem Ort, oder dezentral im Versorgungsgebiet verteilt angeordnet sein. Sofern es die lokalen Randbedingungen zulassen, sind in deutschen Fernwärmesystemen verstärkt zentrale Erzeugungsstandorte zu finden. Häufig reicht die verfügbare Fläche an diesen zentralen Standorten jedoch nur für die Grundlast- und Mittellast-Wärmeerzeugungsanlagen aus, so dass Wärmeerzeugungsanlagen zur Deckung der Spitzenlast im Versorgungsgebiet dezentral in das Wärmenetz eingebunden sind. U. U. kann eine dezentrale Einbindung von Wärmeerzeugungsanlagen im Wärmenetz aus technischen Gründen, z. B. Netzhydraulik oder insbesondere Deckung der Spitzenlast, sowie aus individuellen Anforderungen des Netzbetreibers an die Versorgungszuverlässigkeit resultieren.

Unter Berücksichtigung der Darstellung im vorangegangenen Unterkapitel „Fernwärmeversorgung in Deutschland – Status-quo“, kann anhand der typischen Jahresverteilung der Wärmelast als typische Erzeugerkonfiguration folgende Schlussfolgerung gezogen werden: Durchschnittlich wird die leitungsgebundene Wärmeversorgung in Deutschland durch eine KWK-Anlage und zwei Heizwerke pro Wärmenetz bereitgestellt. Dabei erzeugen die KWK-Anlagen häufig die Grundlast, weitestgehend auf Basis fossiler Brennstoffe. Bedarfsgerecht werden in der Mittel- und Spitzenlast weitere Wärmeerzeuger (durchschnittlich zwei pro Netz) zugeschaltet, die zu etwa 75% die Wärme aus fossilen Brennstoffen gewinnen.

3.3 Netztopologie

Die Netztopologie eines Fernwärmesystems ist das Ergebnis aus der Deckung des Wärmebedarfs mittels der verfügbaren Wärmeerzeugungsanlagen auf Grundlage technischer Betriebsparameter unter Berücksichtigung lokaler Randbedingungen sowie wirtschaftlicher Kennzahlen. Darauf aufbauend lässt sich die Netztypologie eines Fernwärmesystems anhand verschiedener Aspekte betrachten.

3.3.1 Aufbau: Primär-, Sekundär-, Tertiär-Netze

„Als Primärnetz bezeichnet man sämtliche Rohrleitungen und technische Installationen, von der Wärmeerzeugungsquelle ausgehend, bis zum nächsten Wärmeübertrager in einer Hausstation oder eines Sekundärnetzes (siehe auch Abbildung 4). Sekundärnetze sind über Unterstationen mit dem Primärnetz verbunden. I. d. R. sind die Betriebsparameter (Betriebstemperatur und Betriebsdruck) in Sekundärnetzen geringer als im Primärnetz. Sekundärnetze können direkt (ohne Wärmeübertrager) oder indirekt (mit Wärmeübertrager)

3.3.2 Leitungsart: Transport-, Verteil- und Hausanschlussleitungen

The diagram illustrates the connection of a house to a district heating network. It is divided into three main sections: **Primärnetz** (Primary network), **Sekundärnetz** (Secondary network), and the **Haus** (House).

- Primärnetz:** Shows the **Wärmeerzeugungsanlage** (Heat production plant) connected to the **Hauptleitung** (Main line). The **Verteilung** (Distribution) lines lead from the main line to the **Unterstation** (Substation) and the **Hausstation (HA ST)**.
- Sekundärnetz:** The **Unterstation** is connected to the **Hausanschlussleitung (HAL)** (House connection line). The **Hausstation (HA ST)** is connected to the **Übergabestation (ÜST)** (Transfer station).
- Haus:** The **Hausstation (HA ST)** is connected to the **Hauszentrale (HZ)** (House central unit). The **Hausanlage** (House installation) is connected to the **Hauszentrale (HZ)**.

Key components and labels include:

- Wärmeerzeugungsanlage** (Heat production plant)
- Hauptleitung** (Main line)
- Verteilung** (Distribution)
- Unterstation** (Substation)
- Hausanschlussleitung (HAL)** (House connection line)
- Hausstation (HA ST)** (House station)
- Übergabestation (ÜST)** (Transfer station)
- Hauszentrale (HZ)** (House central unit)
- Hausanlage** (House installation)
- Geltungsbereich FW 430** (Validity range FW 430)

Arrows indicate the flow of heat and the direction of the lines. The diagram also shows the connection of the house to the district heating network via the **Hausstation (HA ST)** and the **Hauszentrale (HZ)**.

- 15 -

3.3.3 Netzstruktur: Strahlen-, Maschen- und Ringnetze sowie Mischformen

„Ein weiteres Grundelement eines Wärmenetzes stellt die Netzstruktur dar. Hierbei wird zunächst in drei Grundtypen unterschieden: Strahlennetz, Maschennetz und Ringnetz.

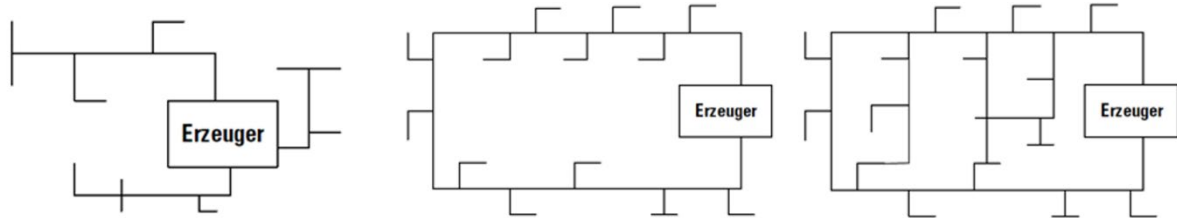


Abbildung 5: Schematische Darstellung Strahlennetz (li.), Ringnetz (mitte) und Maschennetz (re.), aus *Technisches Handbuch FW* [30], Quelle: AGFW

- » Bei einem Strahlennetz wird von einem zentralen Wärmeerzeuger über einen oder mehrere Leitungsstränge die Wärme zu den einzelnen Gebäuden/Kunden transportiert. Strahlennetze zeichnen sich durch symmetrisch dimensionierte Vor- und Rücklaufleitungen aus. Der Leitungsdurchmesser ist am Wärmeerzeuger am größten und nimmt in Abhängigkeit der Bebauung bis zum letzten Wärmeverbraucher ab.
- » Ein Ringnetz zeichnet sich dadurch aus, dass sämtliche Kunden an ein und demselben Strang angeschlossen sind. Im Vergleich zu einem Strahlennetz beginnt der Strang an der Erzeugungsquelle und endet auch wieder an dieser; ein Ringnetz kann gut mit einer Perlenkette vergleichen, bei der die einzelnen Perlen die Verbraucher darstellen.
- » Das Maschennetz ist eine Variante des Ringnetzes, das sich neben dem Außenring durch Querverbindungen auszeichnet [30]. Das Maschennetz stellt die höchste Versorgungssicherheit der drei Netztypen dar, da im Havarie Fall Kunden über unterschiedliche Leitungsabschnitte versorgt werden können.

In der Praxis kann die Struktur des Wärmenetzes auch Kombinationen der drei Grundtypen widerspiegeln. Zusätzlich kann sich die Anzahl der Leitungen der Wärmenetze unterscheiden. In Deutschland werden 2-Leiter-, 3-Leiter und 4-Leitersysteme eingesetzt, wobei 3-, bzw. 4-Leitersysteme deutlich seltener vorkommen als die üblichen 2-Leiternetze.“ [28, S. 18f]

3.4 Typische Auslegungsparameter für die leitungsgebundene Wärmeversorgung

Die Auslegung von Fernwärmetrassen ist eine ingenieurtechnische Optimierungsaufgabe, aus der unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten und technischer Betriebsparameter Lösungen für die sichere Wärmeversorgung resultieren. Diese Lösungen sind dann anhand verschiedener technischer und wirtschaftlicher Kriterien zu bewerten. In der Regel ist die Dimensionierung und Auslegung einer Fernwärmetrasse ein iterativer Prozess bei dem Wechselwirkungen aus verschiedenen Anforderungen in Einklang gebracht werden müssen. Neben den grundlegenden thermohydraulischen und rohrstatischen Belangen müssen auch Versorgungssicherheit, Reserven und die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden und technische Lösungen für lokale Randbedingungen entwickelt werden.

Im Rahmen der Kurzstudie des Forschungsprojekts werden im Folgenden die typischen Auslegungsparameter, ihre grundsätzlichen Zusammenhänge und die Grenzen für die leitungsgebundene Wärmeversorgung dargestellt. Die für diese Unterkapitel durchgeführte Literaturrecherche und Darstellung dient der Erreichung der Ziele des Forschungsprojektes und der nachvollziehbaren Ableitung technologischer Untersuchungsparameter für die Testumgebung District LAB [11]. Die nachstehende Ausführung typischer Auslegungsparameter stellt keinen Anspruch an Vollständigkeit und ersetzt nicht die sorgfältige Planung sowie Dimensionierung von Fernwärmetrassen. Für die detaillierte Auseinandersetzung mit der Auslegung von Fernwärmeleitungen sei an dieser Stelle auf die geltenden internationalen sowie nationalen technischen Normen und Regelwerke verwiesen, u. a. EN 13941-Teil 1 [8] und Teil 2 [9], AGFW FW 401-Teil 9:2019 & FW 401-Teil 10:2020 [10] (alle für erdverlegte KMR), AGFW FW 411-Teil 11 (Fernwärmeleitungen ohne Erdauflast), AGFW FW 420:2011 (Flexible Rohrsysteme), Merkblatt AGFW FW 440 [31] (hydraulische Berechnung von Heizwassernetzen) und Arbeitsblatt AGFW FW 442 [32] (Druckhaltung in Heizwasser Fernwärmesystemen).

Wärmeleistungsbedarf:

Die Grundlage für die Dimensionierung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung im gesamten Versorgungsgebiet bildet die Summe der Anschlussleistungen der Kundenanlagen. Für jede Kundenanlage / Hausstation wird die notwendige Leistung zur Versorgung des Kunden anhand der Nutzarten der bereitgestellten Wärme sowie objektbezogenen Parametern zur Berechnung des Wärmebedarfsleistung berechnet. Darüber hinaus wirken sich verschiedene Einflüsse wie bspw. die Außentemperatur, Wochen- oder Feiertage, Tageszeiten und das Nutzerverhalten auf den realen Wärmebedarf in Fernwärmesystemen

aus. Der theoretische Spitzenbedarf des Wärmenetzes im Auslegungsfall ergibt sich aus der Summe der vertraglich vereinbarten Anschlussleistung aller Kunden [27].

Gleichzeitigkeitsfaktor:

Der Gleichzeitigkeitsfaktor beschreibt das Verhältnis zwischen der tatsächlich auftretenden maximalen Einspeiseleistung und der theoretisch auftretenden Spitzenlast (Summe der Anschlussleistungen) des Auslegungsfalls. Unter der Annahme, dass nicht alle Kunden gleichzeitig die vertraglich vereinbarte maximale Wärmeleistung abrufen, wird für die Dimensionierung von Wärmenetzen der Gleichzeitigkeitsfaktor verwendet. Dieser kann anhand von Messwerten oder Annahmen des Versorgungsunternehmens festgelegt werden. Im AGFW Merkblatt FW 113 [27] sind Formeln für die Ermittlung der Gleichzeitigkeit sowohl der Leistung als auch für den Volumenstrom im Wärmenetz angegeben.⁸ Neben der Dimensionierung der Transport- und Verteilungen im Wärmenetz findet der Gleichzeitigkeitsfaktor auch Anwendung zur Festlegung der Erzeugungsleistung im Fernwärmesystem und wird bei weiteren thermischen bzw. hydraulischen Betrachtungen zugrunde gelegt.

Wärmebedarfsdichte

Zusätzlich ist es üblich bei der Erarbeitung eines Wärmeversorgungskonzeptes im Versorgungsgebiet auf Quartiersebene anhand der Wärmebedarfsdichte das mögliche Ausbaupotenzial der leitungsgebundenen Wärmeversorgung in der Dimensionierung der Rohrleitungen des Wärmenetzes zu berücksichtigen. Neben der Wärmebedarfsdichte empfiehlt es sich auch die zukünftige Entwicklung des Versorgungsgebietes in Betracht zu ziehen. Bei der Prognose der Anschlusswertentwicklung im Versorgungsgebiet sind zusätzliche Einflüsse wie bspw. Sanierungsraten für Bestandsgebäude und eine entsprechende Reduktion des Wärmebedarfs zu berücksichtigen. Hierfür kann der Wärmebedarf auf Grundlage von Gebäudetypen und Nutzarten sowie ergänzenden Merkmalen wie bspw. Baujahr oder Sanierungsgrad abgeschätzt werden. Die Wärmebedarfsdichte ist eine Kennzahl, die in $\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ angegeben wird.

Betriebstemperaturen des Wärmenetzes

Für die Auslegung des Wärmenetzes und entsprechender Rohrtrassen sind die Betriebstemperaturen Vorlauftemperatur (T_{VL}) und Rücklauftemperatur (T_{RL}) wesentliche Parameter. Die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes wird in Abhängigkeit der verfügbaren Wärmeerzeugungsanlagen, der aktuellen Wärmelast und der Witterung seitens des

⁸ „Informativ: Branchenübliche Werte für die Wärmeleistung im Auslegungsfall liegen etwa zwischen 0,6...0,9.“ AGFW-FW 113 [27, S. 13]

Versorgungsunternehmens geregelt. Die Rücklauftemperatur des Wärmenetzes resultiert aus der kundenseitigen Auskühlung des Heizmediums. In den technischen Anschlussbedingungen (TAB) der Versorgungsunternehmen sind meisten Informationen zur Temperaturfahrweises des Netzes (T_{VL} in Abhängigkeit der Außentemperatur) und Anforderungen an die Auskühlung des Heizmediums (vertraglich) festgelegt.

Für die statische Auslegung der leitungsgebunden Wärmeversorgung sind die maximale Betriebstemperatur ($T_{VL,max}$, häufig auch als Auslegungstemperatur bezeichnet), die Differenz zwischen Verlegetemperatur und maximaler Betriebstemperatur (ΔT_{ref}), die Temperaturänderungsgeschwindigkeit (TÄG) und die aus der Änderung der Betriebstemperatur resultierenden äquivalenten Temperaturvollastwechsel wichtige Auslegungsparameter. Für erdverlegte Kunststoffmantelrohrleitungen wird in der europäischen Norm EN 13941-Teil 2 (Anhang E.1.2, informativ) die TÄG beim Befüllen der Rohrleitung auf maximal zehn Kelvin pro Stunde (10 K/h) begrenzt. Außerdem sollte gemäß EN 13941-Teil 2 Anhang F (informativ) die Temperaturänderung des Heizwassers während des Betriebes 10 K/h nicht überschreiten [9].

Die Differenz zwischen T_{VL} und T_{RL} wird als Temperaturspreizung des Wärmenetzes bezeichnet und ist ein wichtiger Auslegungsparameter für die Bemessung der Netzhydraulik.

Betriebsdrücke des Wärmenetzes

Der Betriebsdruck im Wärmenetz ist, neben den Betriebstemperaturen, ein weiterer wesentlicher Parameter, der in die Auslegung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung einfließt. Im nachstehenden Text werden die wesentlichen Zusammenhänge der Betriebsführung sowie zur Auslegung bzw. Berechnung der Netzhydraulik für die Verwendung im Forschungsprojekt dargestellt. Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ersetzt in der Auslegung bzw. Betriebsführung eines Wärmenetzes nicht die detaillierte Auseinandersetzung mit den geltenden Normen, Regelwerken und entsprechender Fachliteratur (u. a. AGFW FW 440 [31], AGFW FW 442 [32]).

Der Betriebsdruck wird seitens des Versorgungsunternehmens im Zuge der Betriebsführung nach festgelegten Regelgrößen erzeugt. Dabei sind Druckgrenzen einzuhalten, die einerseits die Strömung des Heizmediums im Wärmenetz gewährleisten, andererseits ungewollte Zustandsänderungen wie den Phasenwechsel von Wasser zu Dampf verhindern.

Der Betriebsdruck und dessen Regelung im Rahmen der Betriebsführung des Wärmenetzes ist Gegenstand von thermo-hydraulischen Netzberechnungen bzw. -simulationen. Hierfür muss ein Netzmodell des Fernwärmesystems erstellt werden, in dem Wärmeerzeugungsanlagen, Netzpumpen, Pumpstationen, Rohrleitungen (mit Angaben zu

den Nennweiten, Wärmeverlusten und Druckverlusten) und Kundenanlagen mathematisch abgebildet werden. Mittels eines solchen thermo-hydraulischen Netzmodells lassen sich dann anhand gewählter Versorgungssituationen die Betriebszustände berechnen. Ein wichtiges Ergebnis solcher Simulationen sind Punkte im Wärmenetz, an denen die Druckdifferenz zwischen Netzvorlauf und Netzurücklauf ein Minimum erreicht. Dieser bzw. diese Punkte werden als Netzschlechtpunkte bezeichnet und das Versorgungsunternehmen ist darauf bedacht, an diesen Punkten dem Kunden den notwendigen Differenzdruck zur Versorgung bereitzustellen. Netzschlechtpunkte können in Abhängigkeit der Betriebsführung und des Wärmeleistungsbedarfs der Kunden an unterschiedlichen Stellen im Wärmenetz auftreten. Dies ist bei der Auslegung und Betriebsführung – insbesondere der Regelung des Betriebsparameters Druck zu berücksichtigen. Darüber hinaus werden in der Praxis die Ergebnisse der thermo-hydraulischen Netzsimulationen anhand von realen Messwerten mit tatsächlichen Bedingungen im Netzbetrieb überprüft. Dadurch wird das Simulationsmodell validiert. Thermo-hydraulische Netzsimulationen werden häufig zur Optimierung der Betriebsführung des Wärmenetzes genutzt und entsprechende Netzsimulationsmodelle bilden im Kontext der Digitalisierung die Grundlage für die Erstellung eines „Digitalen Zwillings“ des Wärmenetzes. Dabei kann ein „Digitaler Zwilling“ in Anlehnung an A. Rasheed et al. [33]⁹ auf Echtzeit-Messdaten des Systems zurückgreifen und darüber hinaus auch auf die Regelung des Systems Einfluss nehmen.

Zusammenfassend müssen die Betriebsdrücke des Fernwärmenetzes den abnehmer- und netzspezifischen Anforderungen entsprechen, die aufgrund einer Systemanalyse mittels thermo-hydraulischen Simulationen ermittelt werden können. Es ist bei der Auslegung und Betriebsführung zu prüfen, dass die Druckrestriktionen eingehalten werden und die Leistungsfähigkeit der Umwälzpumpen nicht überschritten wird.

Für die statische Bemessung der Rohrleitungen ergeben sich aus der maximale Auslegungsdruck des Wärmenetzes und der daraus resultierende Nenndruckstufe (PN) Anforderungen, die die Werkstoffe des Rohrleitungssystems erfüllen müssen.

Leitungskategorie und Anzahl der Lastwechsel

Die Leitungskategorie und die Anzahl der Lastwechsel während des Betriebs beeinflussen die Dauerhaftigkeit der erdverlegten Infrastruktur und sind deshalb ein wichtiges Kriterium bei der Auslegung von Wärmenetzen. Während des Betriebs der Rohrleitungen treten teils erhebliche,

⁹ Definition „Digitaler Zwilling“: „A digital twin is defined as a virtual representation of a physical asset enabled through data and simulators for real-time prediction, optimization, monitoring, controlling and improved decision making.“ [33]

betriebsbedingte Temperaturänderungen in den Rohrleitungen auf, welche eine wechselhafte Belastung des Rohrsystems darstellen. Die wechselnden temperaturindizierten Verformungen der Rohrleitungen und wechselnde Spannungsverhältnisse in den einzelnen Bestandteilen der Verbundrohre wirken förderlich auf die Materialermüdung. Auch die Wechselwirkung zwischen Bettungsmaterial und Rohrleitung spielt dabei eine Rolle. Die Ermüdungsanalyse stellt deshalb einen wichtigen Bestandteil der rohrstatischen Auslegung dar.

In der Regel treten in den Wärmenetzen jahreszeitabhängige Temperaturänderungen und zudem auch tageszeit- und bedarfsabhängige Unterschiede in den Temperaturniveaus auf. Deshalb hängt die Anzahl der Lastwechsel zum einen maßgeblich von der Netzfahrweise ab, wird jedoch auch deutlich von der Netzstruktur und der Rohrleitungsart beeinflusst. Je näher die Rohrleitung in der Lage am Wärmeverbraucher liegt, desto höher ist in der Regel die zu erwartende Anzahl der Lastwechsel. Unterschiede treten dabei auch bei Vor- und Rücklaufleitung auf.

In der rohrstatischen Auslegung werden die Temperaturänderungen der Rohrleitungen berechnet, dabei wird gemäß DIN EN 13941-Teil 1 in Transportleitungen, Verteilungsleitungen und Hausanschlüsse unterschieden [8]. Temperaturänderungen können mit Hilfe der Palmgren-Miner-Gleichung in eine Anzahl äquivalenter Vollastwechsel umgerechnet werden. Die berechnete, zu erwartende Anzahl der Vollastwechsel innerhalb der Betriebsdauer muss unter den, durch die DIN EN 13941-Teil 1 definierten, Grenzwerten liegen. Für eine 30-jährige Betriebsdauer gibt die Norm für Hausanschlüsse einen Bereich von 1000 bis 2500 Vollastwechsel, bei Verteilungsleitungen 250 bis 500 Vollastwechsel und bei Transportleitungen 100 bis 250 Vollastwechsel an [8].

Besonderheit erdverlegter Leitungen mit direkter Erdauflast

Bei erdverlegte Rohrsysteme mit direkter Erdauflast, wie beispielsweise Kunststoffverbundmantelrohre (KMR), werden bei der Auslegung Sicherheitsnachweise gegenüber Primär- und Sekundäreinwirkungen gefordert, die durch die aus der Erdverlegung resultierenden Belastungen beeinflusst werden. Typische Auslegungsparameter hierfür sind die Überdeckungshöhe der Rohrleitung, zusätzliche Einwirkungen, die beispielsweise aus Straßenlast resultieren, und die Eigenschaften des Bettungsmaterials, die z. B. in Form von Reibungsbeiwerten in die Auslegung von Trassenabschnitten eingehen.

3.5 Typische Fahrweisen für Temperatur und Druck, Außentemperaturgeführte Fahrweise

Die Bereitstellung des Wärmeleistungsbedarf der Kunden oder einer entsprechenden Leistung ($\dot{Q}_{\text{Bedarf}}$) über die leitungsgebundene Wärmeversorgung kann über nachstehende Gleichung beschrieben werden. Darin wird die erzeugte Wärmeleistung ($\dot{Q}_{\text{Netzeinspeisung}}$) anhand des Massenstrom ($\dot{m}$) des Wärmeträgermedium, meist Wasser mit einer spezifischen Wärmekapazität (c_p) und der Temperaturdifferenz der Betriebstemperaturen ($\Delta T = T_{\text{Vorlauf}} - T_{\text{Rücklauf}}$) beschrieben. Bei der Bereitstellung des Wärmebedarfs ist zusätzlich noch der Wärmeverlust über die Rohrleitungen ($\dot{Q}_{\text{Verlust}}$) auszugleichen.

$$\dot{Q}_{\text{Netzeinspeisung}} = \dot{Q}_{\text{Bedarf}} + \dot{Q}_{\text{Verlust}} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (1)$$

Auf Grundlage dieser Gleichung ergeben sich für die Betriebsführung von Wärmenetzen verschiedenen Möglichkeiten, die im Wesentlichen durch die Änderung der Vorlauftemperatur und des im Massenstrom enthaltenden Betriebsdruck beeinflusst werden können. Auf die heute typischen Fahrweisen für Temperatur und Druck wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

Abbildung 6 zeigt exemplarisch vier Heizkurven von Wärmeversorgungsunternehmen in Deutschland. Während in Netz D die Vorlauftemperatur konstant bleibt (konstante Fahrweise), wird in den anderen Wärmenetzen in Abbildung 6 die Vorlauftemperatur der Außentemperatur gleitend angepasst. Diese Betriebsführung der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur wird als außentemperaturgeführte, gleitende Fahrweise bezeichnet und ist in der Fernwärmebranche in Deutschland weit verbreitet. Zusätzlich können in der Betriebsführung zusätzliche Witterungsbedingungen, wie bspw. die Luftfeuchtigkeit, und bzw. oder das Kundenverhalten, bspw. die morgendliche Lastspitze, über eine Änderung der Vorlauftemperatur berücksichtigt werden.

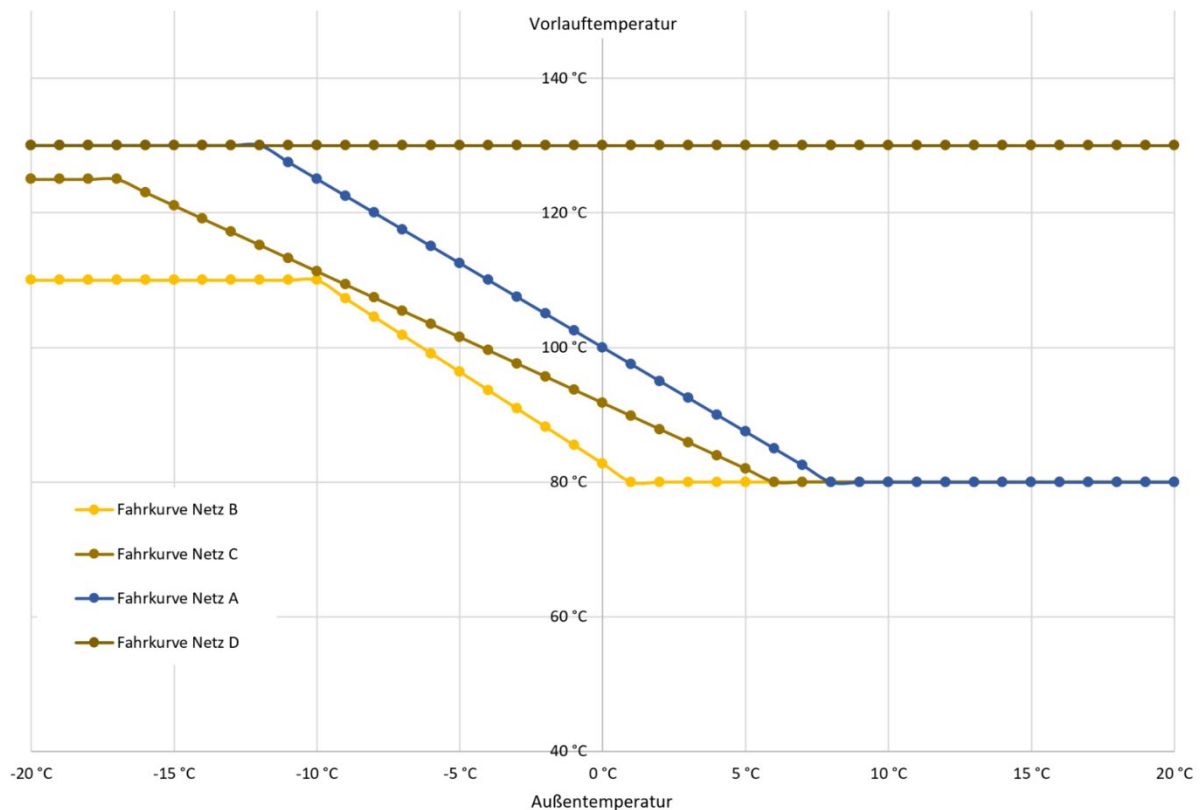


Abbildung 6: Vier exemplarische Heizkurven von Wärmenetzen in Deutschland, Quelle: AGFW

Bei der Änderung der Betriebsvorlauftemperatur wird im Anhang F (informativ) der EN13941-Teil 2:2019 empfohlen, die Temperaturänderungsgeschwindigkeit auf 10 K/h zu begrenzen [9]. Tabelle 2 zeigt die Temperaturänderungsgeschwindigkeiten in verschiedenen realen Netzen. Für die Darstellungen in Tabelle 2 wurden die Vorlauftemperatur ein Jahr an den jeweiligen Messpunkten mit der angegebenen Messfrequenz erfasst. Bei allen fünf Wärmenetzen handelt es sich um Heißwassernetze mit einer Auslegungstemperatur $\geq 130\text{ °C}$, in denen die Vorlauftemperatur nach dem Prinzip der außentemperaturgeführten, gleitenden Fahrweise geregelt wird. Dabei sind zusätzlich die maximale Betriebstemperatur ($T_{VL,max}$), die Durchschnittliche Vorlauftemperatur des betrachteten Jahres ($\bar{T}_{VL}$), die Datenmenge und die Messfrequenz angegeben. Die dieser Auswertung zu Grunde liegenden Messwerte wurden an verschiedenen Messpunkten in den Wärmenetzen erfasst.

Tabelle 2: Temperaturänderungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Wärmenetzen

Wärmenetz	Netz E ¹⁰	Netz F ¹¹	Netz G ¹⁰	Netz H ¹²	Netz I ¹²
T _{VL,max} [°C]	130	130	140	130	130
ØT _{VL} [°C]	94,9	90,1	112,8	102,2	91,1
Datenmenge	8760	8760	8759	8752	8759
Messfrequenz	1 Stunde	1 Stunde	1 Stunde	1 Stunde	1 Stunde
Temperaturänderungsgeschwindigkeit (TÄG) [K/h]					
< 5 K/h [Anzahl]	8604	8719	8559	8595	8746
< 10 K/h [Anzahl]	118	33	171	93	11
< 15 K/h [Anzahl]	28	3	22	34	0
>15K/h [Anzahl]	10	5	7	30	0

Die fünf dargestellten Beispiele in Tabelle 2 zeigen, dass bei der Betriebsführung in diesen Wärmenetzen die Temperaturänderungsgeschwindigkeit der Vorlauftemperatur meist unterhalb von 5 K/h bleibt.

In Gleichung (1) wird die erzeugte Wärmeleistung durch die Multiplikation des Massenstrom mit der spezifischen Wärmekapazität des Wärmeträgermediums und der Auskühlung der Vorlauftemperatur über des gesamte Wärmenetz beschrieben. Gleichung (2) gibt die Beziehung zwischen Massenstrom ($\dot{m}$), Volumenstrom ($\dot{V}$) und Dichte (ρ_w) des Wärmeträgermediums an. Aus dem Betriebsparameter Volumenstrom lassen sich die Parameter Druck und die Strömungsgeschwindigkeit (w) in den Rohrleitungen bestimmen. Über die Netzpumpen wird der Volumenstrom in den Rohrleitungen des Wärmenetzes geregelt, die im Zusammenhang damit einen definierten Betriebsdruck erzeugen und damit die Regelung des Betriebsparameters Druck ermöglichen.

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho_w = \frac{D_i^2 \times \pi}{4} \times w \times \rho_w \quad (2) \text{ aus [31]}$$

¹⁰ Datenerfassung an der Einbindestelle der Wärmeerzeugungsanlage

¹¹ Datenerfassung an einen Knotenpunkt im Wärmenetz

¹² Datenerfassung bei einem Sonderkunden (relevant für den Betrieb des Wärmenetzes)

Grundsätzlich wird bei der Betriebsführung des Wärmenetzes und der Regelstrategie des Betriebsdrucks nach der Größe des Wärmenetzes unterschieden. Die Komplexität für die Betriebsführung steigt von einfachen Wärmenetzen (Strahlennetzen mit zentralem Wärmeerzeuger), über mittelgroße Wärmenetze (vermaschte Wärmenetze mit mehreren Wärmeerzeugern) bis hin zu großen Wärmenetzen (vermaschte Wärmenetze mit mehreren Wärmeerzeugern und mehreren Pumpstationen) an. Dies wirkt sich direkt auf die Betriebsführung und Regelstrategie des Wärmenetzes aus, da in komplexen Systemen die Wechselwirkungen der technischen Systemkomponenten zu berücksichtigen sind.

Bei der Betriebsführung des Fernwärmesystems zielt die Regelung des Vorlauf- und Rücklaufdrucks darauf ab, jedem Kunden die zur Wärmeversorgung notwendige Wassermenge bereitzustellen. Bedingung hierfür ist ein systemspezifischer Minstdifferenzdruck zwischen Vorlauf und Rücklauf an der Hausanschlussstation (HAST) der Kunden. In Abhängigkeit der aktuellen Versorgungssituation (Wärmelast im Netz) und der verfügbaren Wärmeerzeugungsanlagen wird der Betriebsdruck im Wärmenetz über die Netzpumpen geregelt. Zusätzlich sind die Leistungsgrenzen der Netzpumpen einzuhalten und im Zusammenhang damit die Strömungs- bzw. Druckverluste auf das entsprechend zulässige Maß zu begrenzen. Die Einhaltung sicherheitstechnischer Aspekte in der Betriebsführung des Wärmenetzes ist Aufgabe der Druckhaltung. Im genaueren sind die Hauptaufgaben der Druckhaltung der Volumenausgleich im Wärmenetz bei variierenden Temperaturen und die Absicherung des Netzes gegen Ausdampfung. Grundsätzlich kann die Druckhaltung statisch, dynamisch oder kombiniert betrieben werden und legt dadurch die Regelgröße (Vorlauf-, Rücklauf-, Mitteldruck) fest. Die Prinzipien sowie Vor- und Nachteile von Vorlauf-, Rücklauf- und Mitteldruckhaltung sind in AGFW Arbeitsblatt FW 442 [32] beschrieben. An dieser Stelle wird zur vertiefenden Auseinandersetzung damit auf diesen Regelwerksbaustein verwiesen.

Abbildung 7 zeigt exemplarisch die Jahresverläufe des Betriebsdrucks der Wärmenetze G und F gemessen an Wärmeerzeugungsanlagen. Detaillierte Informationen zur Druckhaltung und Regelstrategie des Betriebsparameters Druck in den Beispielwärmenetzen sind nicht bekannt. In beiden Wärmenetzen sind die Rohleitungen auf die Nenndruckstufe PN 16 ausgelegt.

In Wärmenetze G variiert der Vorlaufdruck im Beispiel zwischen 5 bar und 8 bar (Durchschnittlicher Vorlaufdruck im Betriebsjahr: 6,2 bar). In den Sommermonaten ist der Vorlaufdruck geringer. Der Rücklaufdruck liegt im Jahresverlauf bei 4 bar und variiert bei einer deutlich geringeren Amplitude um diesen Wert.

In Wärmenetz F variiert der Vorlaufdruck im dargestellten Betriebsjahr zwischen 4,5 bar und 10 bar. Der durchschnittliche Vorlaufdruck im Betriebsjahr beträgt 5,9 bar. Die Reduktion des Vorlaufdruckniveaus in den Sommermonaten ist Netz F deutlich ausgeprägt. Außerdem

bewegt sich das Druckniveau des Rücklaufs im dargestellten Betriebsjahr zwischen 1 und 2 bar. Hinsichtlich der für das Forschungsprojekt „UrbanTurn“ vorgesehenen Untersuchung zur Druck- und Strömungsdynamik in der Betriebsführung heutiger Wärmenetze können diese Messwerte von realen Wärmenetzen lediglich einen Eindruck aus der Praxis vermitteln. In Tabelle 3 wurde versucht anhand der realen Messwerte, in Analogie zum Betriebsparameter Temperatur (Temperaturänderungsgeschwindigkeit in K/h), die Dynamik des Betriebsparameters Druck über die Differenz der Messwerte pro Zeiteinheit zu beschreiben. Daraus resultieren die Ergebnisse die als Druckänderungsgeschwindigkeit in bar/h in Tabelle 3 enthalten sind. Die Diskussion zwischen den Forschungspartnern und Branchenvertretern hat ergeben, dass die Verwendung der abgeleiteten Größe Druckänderungsgeschwindigkeit keine Bedeutung für die Praxis hat und somit lediglich einen Eindruck über die aktuelle Dynamik des Betriebsparameters Druck anhand zweier Beispiele vermittelt. Für eine detaillierte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den dargestellten Kennzahlen sind detaillierte Informationen zur Betriebsführung des Wärmenetzes unter Berücksichtigung der Größe des Wärmenetzes sowie Druckhaltung und Regelstrategie notwendig.

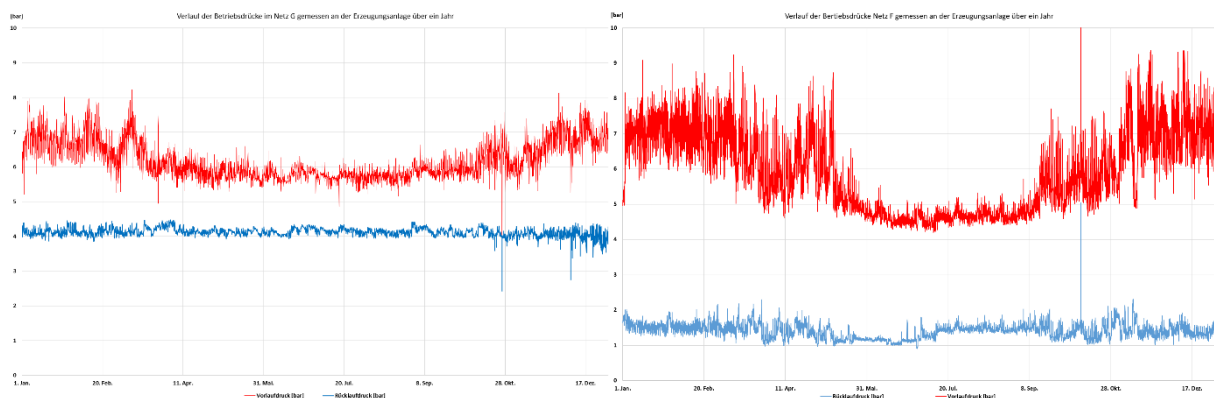


Abbildung 7: Exemplarischer Jahresverlauf der Betriebsdrücke in Netz G und Netz F gemessen an der Erzeugungsanlage

Tabelle 3: Druckänderungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Wärmenetzen

Wärmenetz	Netz G ¹⁰	Netz F ¹¹
PN [bar]	16	16
Ø _{pVL} [bar]	6,2	5,9
Datenmenge	8759	8760
Messfrequenz	1 Stunde	1 Stunde
Druckänderungsgeschwindigkeit [bar/h]		
< 0,1 bar/h [Anzahl]	5059	5042
< 0,5 bar/h [Anzahl]	3538	3334
< 1,0 bar/h [Anzahl]	152	365
> 1 bar/h [Anzahl]	10	19

Abschließend sind anhand eines Praxisbeispiels die Betriebsparameter des Wärmenetzes in unterschiedlicher Auflösung dargestellt. Abbildung 8 zeigt die Betriebsparameter Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur, normierte Wärmleistung des Netzes im Zusammenhang mit der Außentemperatur im Jahresverlauf. Die gleichen Betriebsparameter sind in Abbildung 9 für eine Woche im Februar dargestellt. Durch die gewählte Anpassung des Zeitbereichs sind die Ausprägung der Tagesabhängigen Lastspitzen anhand der normierten Wärmelast erkennbar. Abbildung 10 zeigt den Tagesverlauf eines Montages. In dieser Darstellung sind die tageszeitbedingten Anpassungen wie Nachtabenkung, Morgen- und Abendspitze deutlich erkennbar.

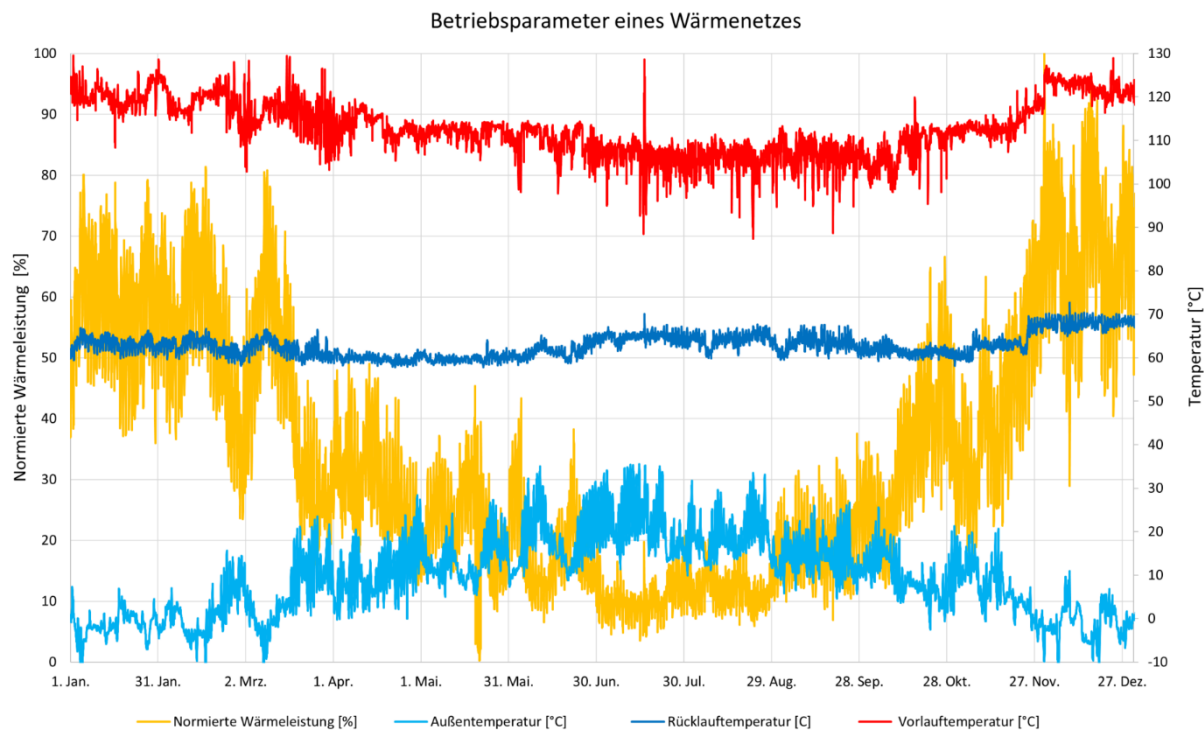


Abbildung 8: Betriebsparameter eines Wärmenetzes im Jahresverlauf, Quelle: AGFW

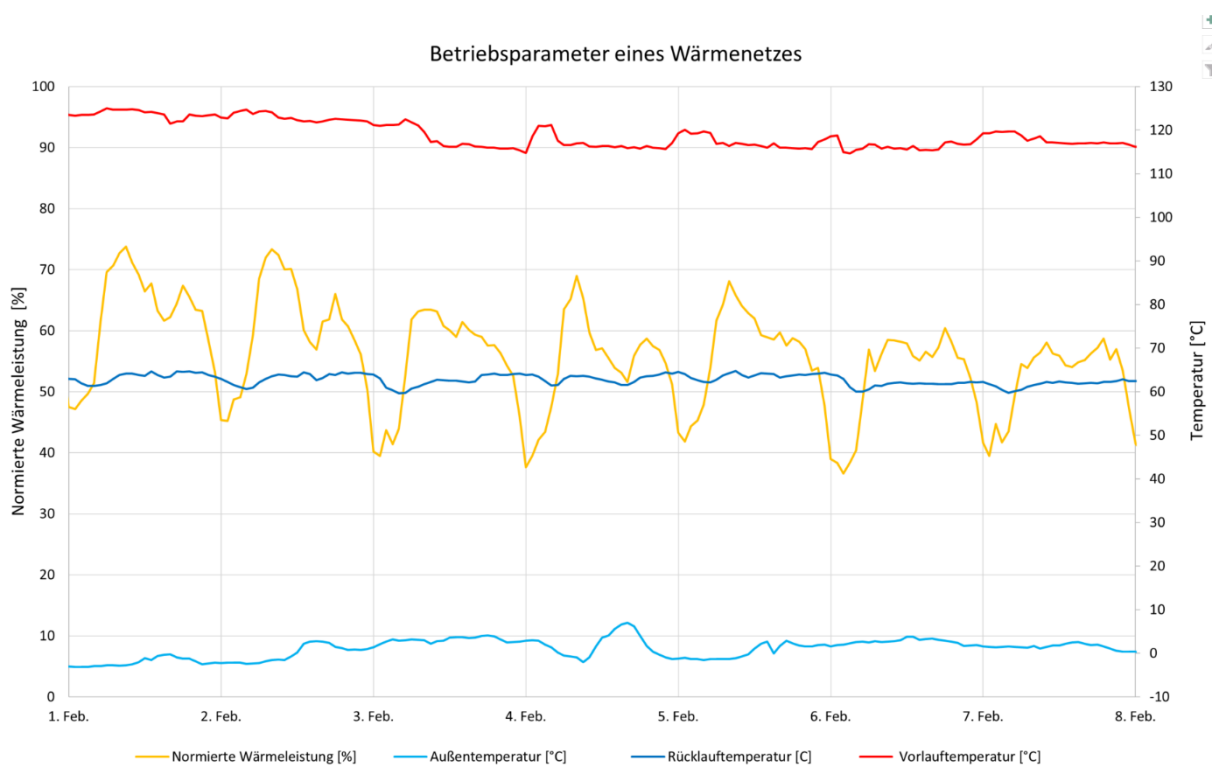


Abbildung 9: Betriebsparameter eines Wärmenetzes über eine Woche im Februar, Quelle: AGFW

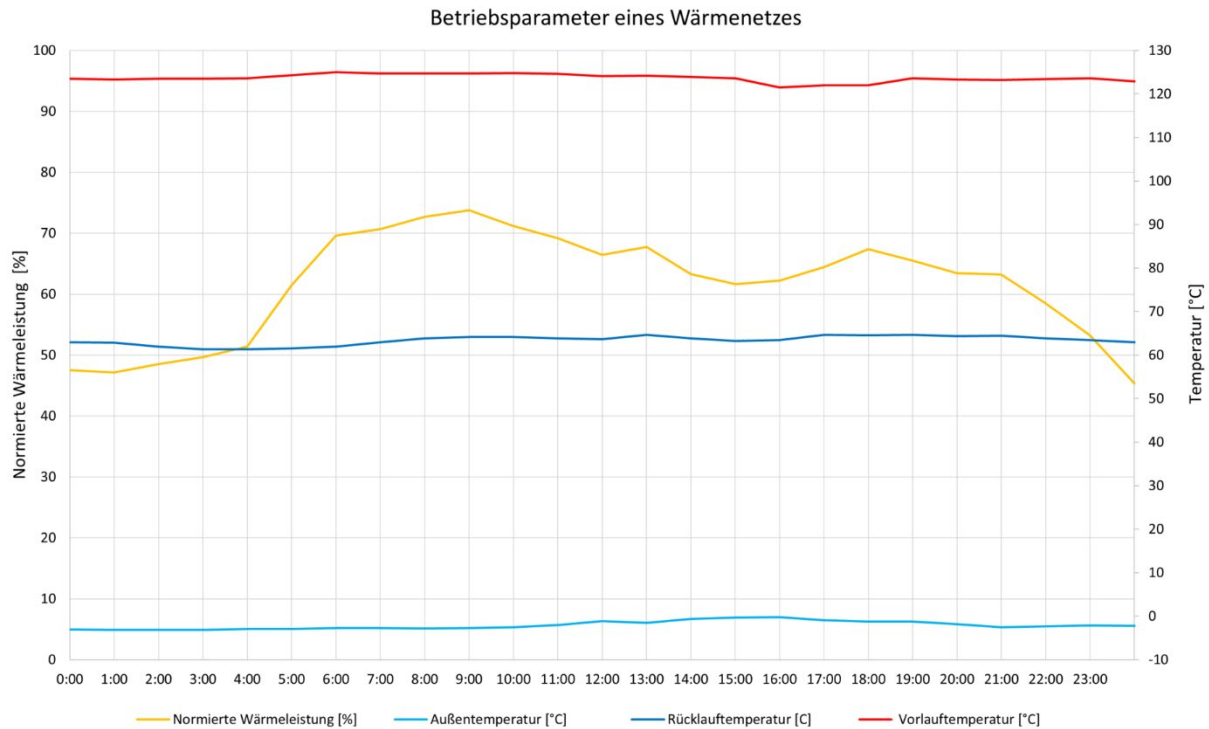


Abbildung 10: Tagesverlauf eines Montags im Februar, Quelle: AGFW

3.6 Heutiger Grad der Digitalisierung von Fernwärmesystemen und Ausblick

Die Digitalisierung von industriellen Prozessen ist ein aktueller Megatrend, dem auch in Bezug auf die Weiterentwicklung von Fernwärmesystemen ein enormes Potenzial zugesprochen wird. Dabei ist davon auszugehen, dass zukünftige Betriebskonzepte durch die Erfassung, Auswertung und Interpretation von Messdaten in Verbindung mit zusätzlichen Informationen zur Steigerung der Gesamtsystemeffizienz beitragen werden [34]. Diese These wird insbesondere dadurch gestützt, dass die Betriebsparameter – Temperatur, Druck, Massenstrom – bislang i. d. R. an Wärmeerzeugungsanlagen (zentral / dezentral), an speziellen Netzknotenpunkten sowie an Druckerhöhungsanlagen digital erfasst und zur Betriebsoptimierung des Fernwärmesystems verwendet werden. Die Anzahl an Messpunkten zur Erfassung der Betriebsparameter in den Rohrleitungen des Wärmenetzes ist im Vergleich zur Trassenlänge entsprechender Systeme gering.

Die Studie zur Digitalisierung von Wärmenetzen [34] hat im Rahmen der durchgeführten Umfrage bei Fernwärmeversorgungsunternehmen ermittelt, dass eine Investitionsbereitschaft der Unternehmen besteht, um durch die Steigerung von Messpunkten und entsprechenden Auswertungen der anfallenden Messdaten erwartete Potenziale zur Optimierung der Systeme zu erschließen. Ein Großteil der Unternehmen geht davon aus, dass die durch die

Digitalisierung der Fernwärmesysteme entstehenden Werkzeuge dazu beitragen, die im Zusammenhang mit der Wärmewende entstehenden Herausforderungen der Dekarbonisierung bzw. Transformation ihrer Fernwärmesysteme bewältigen zu können [34]. Auch das Forschungsvorhaben „Dyneff“ [35] ist zu dem Ergebnis gekommen, dass durch Datenerfassung und Auswertung in Echtzeit ein Effizienzsteigerungspotenzial besteht, zu dessen Erschließung jedoch ein fortlaufendes Monitoring sowie eine Steigerung der Datenpunkte, insbesondere im Fernwärmenetz zur Quantifizierung der Reaktion des Fernwärmenetzes auf Maßnahmen zur Einsatzoptimierung der Wärmeerzeugungsanlagen notwendig sind. Im Ausblick der Projektergebnisse wird dies folgendermaßen zusammengefasst: *„Der Schlüssel für die „Wärmenetze der vierten Generation“, der durch die Diversifizierung, Dezentralisierung, Flexibilisierung und Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung tiefgreifende Restrukturierungsmaßnahmen erforderlich macht, liegt in der vollständigen Digitalisierung des Betriebsablaufs“* ([35], S. 25). Zur gleichen Erkenntnis gelangt auch das internationale Kooperationsprojekt IEA DHC Annex Task Shared 2. Die Ergebnisse des Kooperationsprojektes sind in [36] dargestellt.

Um den heutigen Stand der Digitalisierung im Fernwärmesystem zu erfassen, sind zunächst die bisher implementierten Datenpunkte und die gemessenen Betriebsparameter aufzulisten und zu analysieren. Dabei können Datenerfassungspunkte in Messpunkte der Wärmeerzeugung, Netzknotenpunkte (an Knotenpunkte oder Pumpstationen) und Messpunkte an Hausübergabestationen vorhanden sein, die Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Leistungen, Betriebszustände messtechnisch erfassen. Anhand thermo-hydraulischer Netzmodelle können diese Daten analysiert und bewertet werden, um im Hinblick auf eine betriebsdatenbasierte Optimierung zu bestimmen, in welchem Maß und in welchen Schritten ein Ausbau der digitalen Datenerfassung im jeweiligen Wärmenetz zielführend sein kann.

4. Umsetzungen der Wärmewende in Fernwärmeversorgungsunternehmen

4.1 Aktuelle Entwicklungen in der Fernwärmebranche

Zur Umsetzung der politischen Klimaziele arbeiten derzeit viele Versorgungsunternehmen an Strategien zur Transformation ihrer Fernwärmesysteme. Förderprogramme wie Wärmenetze 4.0 [37], das geplante Bundesförderprogramm Effiziente Wärmenetze (BEW) [38] und das Bundesförderprogramm für effiziente Gebäude (BEG) [39] bieten Anreize zur Erreichung der politischen Klimaziele und sind für deren Umsetzung in den Versorgungsunternehmen auch notwendig.

Kernelement der strategischen Prozesse bildet die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung durch die Substitution fossiler Wärmeerzeugungsanlagen. In entsprechenden Analysen des lokal verfügbaren Potenzials an erneuerbaren Energien wird vielerorts deutlich, dass die bisherigen zentralen Erzeugungsanlagen nicht ohne Weiteres durch Wärmeerzeugungsanlagen auf Basis von erneuerbaren Energien in der gleichen Leistungsklasse ersetzt werden können. In diesem Zusammenhang wird häufig auch ersichtlich, dass die Substitution der Wärmeerzeugungsanlagen zusätzlich eine Anpassung der Betriebsparameter (Temperatur und Druck) mit sich bringt, die sich direkt auf die Systembestandteile Wärmenetz und Kundenanlagen auswirken.

Infolgedessen bedarf die Umsetzung und Erreichung der klimapolitischen Ziele vielerorts eine umfangreiche Transformation des bestehenden Fernwärmesystems, bei dem die Wechselwirkungen zwischen Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeleistungsbedarf berücksichtigt werden müssen, um die Kernaufgabe einer sicheren und zuverlässigen Wärmeversorgung zu keinem Zeitpunkt zu gefährden.

Dies erfordert eine zielgerichtete Transformations- und Ausbauplanung um das Ziel einer klimaneutralen Fernwärmeversorgung im Jahr 2045 unter den gesetzten Randbedingungen und Entwicklungen zu erreichen. Deshalb bilden Transformationspläne für bestehende und Machbarkeitsstudien für neue Wärmenetze auch die Grundlage bzw. einen Bestandteil des BEW [38]. Ausgehend von der heutigen Ist-Situation mit meist geringen Anteilen an erneuerbaren Energien ist ein klimaneutraler Zielzustand in 2045 zu entwickeln, der schrittweise über definierte Zwischenzustände zu erreichen ist.

Das sogenannte Zielnetz ist ein zentrales Element des zukünftigen, transformierten Versorgungssystems. Es definiert das Wärmenetz, das die Versorgungsaufgabe bei reduzierten Betriebstemperaturen, veränderter Wärmeerzeugungsstruktur und einer

veränderten Bedarfssituation lösen kann. Die Wärmebedarfsveränderungen ergeben sich durch einen Rückgang im Bestand aber auch durch den verstärkten Ausbau der Wärmenetze bei Substitution von fossil beheizten Gebäuden.

4.2 Praxisbeispiele

Um Hinweise auf Transformationsstrategien sowie zukünftige Betriebstemperaturen zu bekommen, wurden Praxisbeispiele für realisierte bzw. geplante Transformationsprojekte gesucht und ausgewertet. Wie bereits bei der Beschreibung der heutigen leitungsgebundenen Wärmeversorgung dargestellt, ist eine Verallgemeinerung der unterschiedlich ausgeprägten Wärmeversorgungssysteme nahezu unmöglich. Auf der einen Seite gibt es große Bestandsnetze mit meist hohen Vorlauftemperaturen ($> 110^{\circ}\text{C}$), auf der anderen Seite stehen kleinere, meist neu errichtete Quartiersnetze mit niedrigen Vorlauftemperaturen ($< 80^{\circ}\text{C}$).

In den großen Bestandsnetzen ist der Anteil an erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme bisher gering. Aktuell finden sich vorwiegend signifikante Anteile an industrieller Abwärme, z.B. bei der Fernwärmeschiene Niederrhein, an Abwärme aus thermischer Abfallbehandlung, z.B. Mainzer Fernwärme, und an Biomasse, z.B. Fernwärme Ulm. Die Transformation solcher Wärmenetze ist schwierig und langwierig [40, 41]. Daher liegen konkrete Transformationspläne meist noch nicht vor.

In kleineren Bestandsnetzen und in neuen Quartiersnetzen gibt es Ansätze zu Transformationen, die meist durch das Förderprogramm Wärmenetze 4.0 angestoßen wurden.

Die Beschreibung und die Auswertung der Praxisbeispiele erfolgten auf der Grundlage eines Steckbriefes, in dem die wichtigsten Kategorisierungen und Kennzahlen zusammengefasst sind. Folgende Daten werden dabei erhoben:

1. Allgemeines

- Bundesland, Einwohnerzahl
- Charakteristika Stadt/Region, Demographische Entwicklung
- Wärmeabsatz

2. Netze

- Topologie, Struktur
- Trassenlänge, Medium

- Druckstufen, Temperaturen
- Netzverluste, Dämmstandard, Netzalter
- Anteil der Fernwärme am gesamten Wärmebedarf
- Absatzdichte
- Größte geodätische Höhendifferenz, Anzahl Druckerhöhungsstationen

3. Erzeugung

- Liste Erzeugungsanlagen (Leistungen, Brennstoffe, Alter)
- Liste Wärmespeicher (Art, Kapazität, Leistung)
- EE- und KWK-Anteile an der Netzeinspeisung
- Primär- und CO₂-Emissionsfaktor
- Höchstlast

4. Abnehmer

- Gesamtanschlusswert
- Mittlerer Anschlusswert, Anzahl Hausstationen (HAST)
- Typ und Eigentumsverhältnisse HAST

5. Auslegungsparameter

- Leistung, Gleichzeitigkeitsfaktor
- Temperaturen (statische und hydraulische Auslegung)
- Drücke (max. Druck, min. Druckdifferenz, Puffer für Druckstöße)

6. Betrieb und Regelung des Fernwärmesystems

- Temperaturen (Regelregime, Dämpfungselement, max. Änderungsgeschwindigkeit, Netzpufferung)
- Drücke (Regelregime, Dämpfungselement, max. Änderungsgeschwindigkeit)

7. Grad der Digitalisierung

- Datenerfassung (Erzeugung, Netz, HAST, jeweils Anzahl der Datenpunkte)

- Thermo-hydraulisches Netzmodell, datenbasierte Betriebsoptimierung

8. Perspektive Transformation

- Erzeugung, Netztemperaturen, Netzausbau
- Wärmeabsatzprognose, Anteil FW-Versorgung am Gesamtwärmebedarf
- Zeithorizont 2030 und 2040

Im Anhang sind die Praxisbeispiele anhand der verwendeten Steckbriefe dargestellt. Durch die Auswertung der Steckbriefe sollen Erkenntnisse im Hinblick auf Veränderungen der Betriebs- und Auslegungsparameter durch die Transformation der Wärmenetze erlangt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden auch für die Parametrierung der Datensätze der Versuche im District LAB verwendet.

Die Praxisbeispiele umfassen:

1. drei Bestandsnetze unterschiedlicher Größe
2. ein kleines Bestandsnetz mit einer umfangreicher Netzerweiterung
3. ein neues Netz für ein Neubauquartier

In den betrachteten **Bestandsnetzen** erfolgt die Wärmeerzeugung vorrangig aus KWK-Anlagen mit Erdgas oder Kohle. In den Netzen mit Kohle-KWK erfolgt in Kürze ein Ersatz durch Erdgas-KWK-Anlagen. Der Anteil an erneuerbaren Energien an der Wärmeerzeugung ist bisher nicht wirklich existent. In einem Netz gibt es eine kleine Solarthermieranlage.

Die max. Vorlauftemperaturen in den Bestandsnetzen liegen zwischen 100 und 125 °C. Je größer die Netze, desto tendenziell höher liegen die max. Vorlauftemperaturen. Die Auslegungstemperaturen für die Rohrstatik liegen in der Regel etwas höher als die max. Betriebstemperatur bei 130 – 140 °C, so dass der Einsatz von KMR möglich ist.

In allen drei Bestandnetzen gibt es noch Netzteile, die hydraulisch in Primär- und Sekundärnetze getrennt sind und mit niedrigeren Temperatur- und Druckparametern betrieben werden.

Die Rücklauftemperaturen bewegen sich im Bereich von 55 – 65 °C.

Der Transformationsprozess in den Bestandsnetzen ist bisher bestenfalls angestoßen worden und umfasst erste Konzepte zur Einbindung von erneuerbaren Quellen und zur Absenkung der Netztemperaturen. In allen drei Bestandsnetzen ist die Einbindung von Solarthermie in die

Wärmeversorgung geplant, außerdem erscheint das Potenzial zur Nutzung von Abwasserwärme interessant. In einem Fall ist die Nutzung von Flusswasserwärme geplant.

Alle diese erneuerbaren Quellen sind besonders effizient, wenn niedrige Netztemperaturen vorliegen [36, S. 44]. Deshalb sind in allen Bestandsnetzen moderate Temperaturabsenkungen mit Zieltemperaturen von 85 bis 110°C im Jahr 2040 geplant. In großen Netzen ist es aufgrund von hydraulischen Restriktionen und der Auslegungsparameter der Hausübergabestationen schwierig die Netztemperaturen stark abzusenken. Die Zieltemperaturen im Rücklauf liegen zwischen 45 und 55 °C.

Zu dem kleinen **Bestandsnetz mit umfangreicher Netzerweiterung (Punkt 2)** ist zu sagen, dass dieses im Ursprungszustand über Biomassekessel und Klärgasverbrennung in einer KWK-Anlage versorgt wird. Zur Absicherung der Spitzenlasten gibt es zusätzlich einen Erdgas-Heizkessel. Im Zuge der Erweiterung werden EE-Wärmequellen in Form von Solarthermie und industrieller Abwärme erschlossen. Darüber hinaus wird das Netz um einen Kurzzeitspeicher zum Lastmanagement erweitert. Im ausgebauten Zustand wird die Wärmeeinspeisung fast vollständig aus EE-Wärmequellen gedeckt.

Die hydraulischen Auslegungstemperaturen betragen 80°C im VL. Diese sind auch im Winterbetrieb als max. Betriebstemperaturen geplant. Im RL wird ganzjährig eine Temperatur von 50°C zur hydraulischen Auslegung im für den Betrieb zugrunde gelegt. Die Berücksichtigung bei der Rohrstatik ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht bekannt.

Es ist geplant alle Erzeugungsanlagen sowie alle Hausanschlussstationen mit digitaler Messtechnik auszustatten, die von einem thermo-hydraulischen Netz Modell verarbeitet und zur Visualisierung in einem Leitsystem zur Verfügung gestellt wird. Eine datenbasierte Betriebsoptimierung ist indes nicht vorgesehen.

Das Netz wird aktuell um den beschriebenen Umfang erweitert. Ein weiterer Ausbau in den kommenden 20 Jahren wird als wahrscheinlich betrachtet, jedoch wurden noch keine weiteren Ausbauplanungen konkretisiert. Die Wärmeerzeugung ist bereits nahezu klimaneutral und wird es auch planmäßig bleiben.

Bei dem geplanten **neuen Netz in einem Neubauquartier** handelt es sich um eine Konzeptstudie. Grundlegend besteht dieses aus einem Niedertemperaturwärmenetz welches von einer zentralen Sole-Wärmepumpe gespeist wird. Zudem waren mehrere dezentrale Solarthermieranlagen vorgesehen, die im Sommer neben der Trinkwarmwasseraufbereitung auch für die Regeneration des Erdreichs verwendet werden sollten. Dieses Konzept sah eine überwiegende Nutzung von EE und damit geringe CO₂-Emissionen vor und hat sich darüber

hinaus aus wirtschaftlicher Sicht als sinnvoll herausgestellt. Die Umsetzung ist dann aber an strukturellen und regulatorischen Hemmnissen gescheitert.

Die hydraulische Auslegungstemperaturen im Vorlauf betragen 40°C. Diese sind auch als max. Betriebstemperaturen vorgesehen. Für den Rücklauf wurden für Betrieb und Auslegung eine Temperatur von 30°C zugrunde gelegt. Eine Berücksichtigung bei der Rohrstatik hat aufgrund der fehlenden Umsetzung nicht stattgefunden.

Da das Projekt nicht umgesetzt wurde, sind keine Details zur mess- und regelungstechnischen Auslegung bestimmt worden. Auch weiterführende Transformationsmaßnahmen sind nicht bestimmt worden.

4.3 Zukunftsszenarien für Fernwärme in Hinblick auf leitungsgebundene Betriebsparameter

Fernwärmeversorgungen zu charakterisieren und allgemein gültige Regeln zu Betrieb- und Auslegungsparametern aufzustellen ist sehr schwierig, da es eine Vielzahl von Kriterien und Einflussgrößen gibt. Trotzdem gibt es generelle Entwicklungen, die für die zukünftigen Betriebsparameter abgeleitet werden können:

- » **Vorlauftemperaturen** werden zukünftig deutlich gegenüber heute reduziert werden. Je nach Netzgröße sind bei Bestandsnetzen Temperaturen von <100°C bei großen Netzen und <80°C bei kleineren Netzen zu erwarten. In sehr kleinen Netzen mit neueren Gebäuden sind Temperaturen < 60°C oder auch kalte Nahwärme möglich.
- » Durch eine Erhöhung der **verteilten Einspeisungen** ist eine höhere thermo-hydraulische Dynamik in den Netzen zu erwarten. Das bedeutet häufigere Änderungen der Durchflussrichtung in den Rohrleitungen bzw. schnellere und häufigere Temperaturänderungen.
- » Die **Entwicklungen der zukünftigen** Druckverhältnisse sind schwer vorhersehbar. Einerseits könnte durch eine niedrigere Temperaturspreizung die Wassermenge ansteigen, andererseits sind die Versorgungsbereiche bei verteilten Einspeisungen und damit die Transportwege kleiner.
- » Ob die **Druckdynamik** zunehmen wird, ist ebenfalls kaum vorhersehbar. Grundsätzlich wird in der Fernwärme allerdings versucht durch geeignete Maßnahmen die Druckdynamik und damit Druckstöße z. B. durch das langsame Schließen von Armaturen zu vermeiden.

5. Ableitung von Herausforderungen und Hemmnissen

Wie in den Ausführungen in den vorangestellten Kapiteln deutlich wird, bietet die leitungsgebundene Wärmeversorgung im Kontext der Sektorenkopplung, Digitalisierung und Dezentralisierung eine Reihe von Anwendungs- und Kombinationsmöglichkeiten lokal verfügbarer erneuerbarer Energien und Abwärmequellen. Hinsichtlich der nötigen Systemintegration erfordert die Nutzbarmachung der Potenziale aus erneuerbaren Energien und Abwärme für die leitungsgebundene Wärmeversorgung einen unterschiedlichen technischen und wirtschaftlichen Aufwand. Ausschlaggebend dafür sind die jeweiligen lokalen Gegebenheiten.

Bei der Entwicklung einer individuellen Dekarbonisierungs- und Transformationsstrategie für bestehende Fernwärmesysteme sowie der Erarbeitung nachhaltiger Versorgungskonzepte für neue Wärmenetze zur Erschließung lokaler Potenziale werden häufig Hemmnisse identifiziert, deren Abbau Entscheidungsgrundlage für die anschließende Umsetzung ist. In vielen Fällen reicht der singuläre Abbau einzelner Hemmnisse nicht aus, um entsprechende Strategien und innovative Wärmeversorgungskonzepte zu realisieren. Vielmehr stehen einzelne Hemmnisse, bspw. technische, regulatorische und wirtschaftliche Hemmnisse, miteinander in Wechselwirkung. So kann der Abbau eines technischen Hemmnisses beispielsweise ein wirtschaftliches Hemmnis zur Folge haben. Gleichzeitig können sich strukturelle Hemmnisse anschließen oder bilden in mancher Hinsicht auch die Basis bestimmter Hemmnisse. Die Arbeiten im Projekt „UrbanTurn“ zielen auf den Abbau technischer Hemmnisse durch wissenschaftliche Untersuchungen in der Versuchsumgebung District LAB [11] ab. Darauf aufbauende Lösungsansätze und innovative Werkzeuge zur Erschließung lokaler EE-Potenzial, wie bspw. innovative Betriebskonzepte auf Basis von Echtzeit-Betriebsdaten des Wärmenetzes, sollen die Grundlage zum Abbau weiterer Hemmnisse bilden.

5.1 Methodisches Vorgehen im Projekt „UrbanTurn“

Das Konsortium des Forschungsvorhabens „UrbanTurn“ setzt sich aus Forschungsstellen, Komponentenherstellern, einem Ingenieurbüro und dem Branchenverband zusammen. Die Erfahrungen der Forschungspartner aus bisherigen Projekten zur Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien in der Wärmeerzeugung bzw. zur Steigerung der Gesamtsystemeffizienz bestehender Fernwärmeversorgungskonzepte wurde im Rahmen eines Workshops zusammengetragen. Es handelt sich dabei um Hemmnisse aus den folgenden Kategorien:

» Technische

- » **Wirtschaftliche**
- » **Regulatorische**
- » **Strukturelle**
- » **Kombinierte**
- » **Weitere**

Abbildung 11 zeigt die Hemmnisse unter Berücksichtigung der Bezüge sowie Erkenntnissen aus bisherigen Projekten, die durch das Projektkonsortium „UrbanTurn“ identifiziert wurden. Darauf aufbauend wurden für das Projekt „UrbanTurn“ relevante Hemmnisse weiter aufbereitet und in die nachstehende Struktur überführt. Dabei zielt die Darstellung in diesem Kapitel einerseits auf die exemplarische Darstellung der Wechselwirkungen unterschiedlichen Hemmnis Kategorien ab. Andererseits werden exemplarische Hemmnisse für die Bereiche Wärmeerzeugung und Wärmeverbraucher mit entsprechenden Auswirkungen für die Wärmeverteilung beschrieben. Abschließend konzentrieren sich die Darstellungen der Herausforderungen und Hemmnisse auf die leitungsgebundene Infrastruktur.

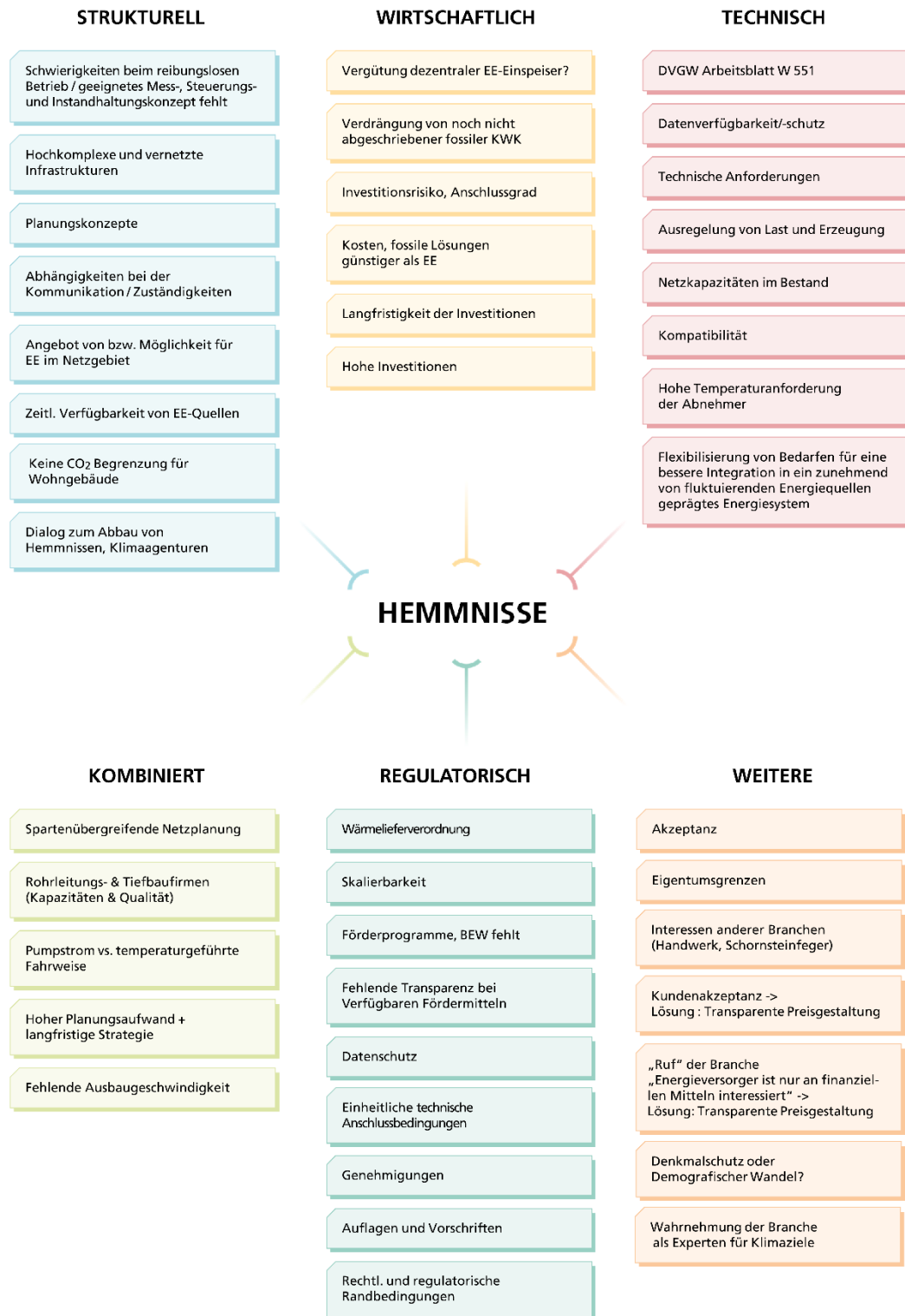


Abbildung 11: Vom Projektkonsortium „UrbanTurn“ identifizierte Hemmnisse

5.2 Exemplarische Darstellung der Wechselwirkungen unterschiedlichen Hemmnis Kategorien

- » **Umsetzung einer EE-basierten leitungsgebundenen Wärmeversorgung in Gebieten mit bestehenden Energieversorgungsinfrastrukturen (technische, regulatorische und wirtschaftliche Hemmnisse):** Die Planung einer EE- oder abwärmebasierten leitungsgebundenen Wärmeversorgung steht häufig in Konkurrenz zur Nutzung von bestehenden Energieinfrastrukturen z.B. Gasnetzen. Die technische Installation von Wärmenetzen in Kombination mit erneuerbaren Energiequellen ist komplexer als dies bei der technischen Installation einer Gasversorgung der Fall ist. Außerdem ist sie in den meisten Fällen finanziell aufwändiger für die Energieversorger. Sowohl der planerische als auch der finanzielle Aufwand wird sich voraussichtlich in Zukunft durch Lern- und Skalierungseffekte zugunsten der erneuerbaren Energiequellen verschieben. Zum aktuellen Zeitpunkt bieten Förderprogramme (z.B. BAFA-Förderprogramm Wärmenetze 4.0 [37] und zukünftig/in Kürze über das BEW [38]) finanzielle Unterstützung für die Umsetzung von innovativen Wärmeversorgungskonzepten, wobei vorgegebene technische Anforderungen erfüllt werden müssen. Als Beispiele hierfür seien die erforderliche Mindestgröße von 100 Hausanschlussstationen oder eine geplante Wärmeeinspeisemenge von 3 GWh/a sowie eine geforderte Quote an erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung von mindestens 50% (Biomasse zählt dazu, jedoch müssen mindestens 25% Brennstofffrei sein) genannt [37]. Als Schnittstelle zwischen regulatorischen und wirtschaftlichen Hemmnissen können hier insbesondere die Deckelung von Förderquoten durch das EU-Recht sowie zum Teil daraus hervorgehende Komplexität von Förderrichtlinien benannt werden.

5.3 Exemplarische Darstellung zu den Hemmnissen der Wärmeverbraucher

- » **Einbindung von Bestandsgebäuden in ein Wärmenetz (technische, wirtschaftliche und regulatorische Hemmnisse):** Bei der Planung der leitungsgebundenen Niedertemperatur-Wärmeversorgung (mit einer Netzvorlauftemperatur ca. 45 °C) stellt die Versorgung von Bestandsgebäuden eine große Herausforderung dar. Dabei können die gebäudeseitigen Maßnahmen die Erweiterung des Wärmenetzes hemmen: Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus des Niedertemperatur-Wärmenetzes sind energetische Gebäudesanierung und die Anpassung bzw. der Umbau der Anlagentechnik (z.B. Flächenheizsysteme, wie Fußbodenheizungen) in Gebäuden notwendig, wobei eine hohe

Investitionsbereitschaft vorausgesetzt ist. Hierzu bieten individuelle Förderprogramme eine Unterstützung der Sanierungsmaßnahmen bzw. des Umbaus alter Heizung durch einen Nah- oder Fernwärmeanschluss (GEG [39], BAFA, KfW). Darüber hinaus treten auch bei der Integration von Bestandsgebäuden in ein Wärmenetz mit Netzvorlauftemperaturen $> 80\text{ °C}$ Hemmnisse auf. Ein regulatorisches Hemmnis ergibt sich aus dem Mietrecht und der Wärmelieferverordnung (WärmeLV), demnach bei der Umstellung des Heizsystems keine höheren Wärmekosten als in den vergangenen drei Jahren für die Mieter erhoben werden dürfen. Da in den vergangenen Jahren fossile Brennstoffe günstig am Markt bezogen werden konnten, kann sich die bestehenden Regulatorik, trotz der Preissteigerungen im letzten Jahr ein, negativ auf Transformations- und Dekarbonisierungsprojekte auswirken, da nicht auszuschließen ist, dass durch die Investitionen in Anlagentechnik und die Umstellung auf erneuerbare Energieträger höhere Wärmekosten entstehen [7].

- » **Notwendigkeit zur energetischen Sanierung/Modernisierung von Gebäuden und der Anlagentechnik zur Erreichung der politischen Ziele (technische, strukturelle, regulatorisch Hemmnisse):** Bei der Prognose der zukünftigen Entwicklungen des Wärmemarktes zur Erarbeitung politischer Ziele bilden die Reduktion des Wärmeleistungsbedarfs durch die energetische Sanierung von Gebäuden und die Modernisierung der Anlagentechnik in Gebäuden eine grundlegende Annahme. Meist werden die Zusammenhänge über eine prozentuale Reduktion des Wärmeleistungsbedarfs pro Jahr in den Prognosen berücksichtigt (vgl. Tabelle 1). Hierzu müssen seitens der Eigentümer der Gebäude Investitionen in die Dämmung der Gebäude, die Modernisierung der Heizungssysteme und die Warmwasseraufbereitung getätigt werden. Für die Planung und Ausführung der Modernisierung von Bestandsgebäuden kann es aufgrund des Fachkräftemangels sowie der Verfügbarkeit von Ausführungsfirmen zu Verzögerungen kommen. Regulatorische Grenzen bestehen insbesondere bei der energetischen Sanierung von historischen Gebäuden infolge des Denkmalsschutzes. Für die Umsetzung der Klimaziele im Zusammenhang mit den Zeithorizont kann es zu einem Modernisierungs- und Sanierungsstau kommen, wenn eine Vielzahl von Gebäudeeigentümern zeitgleich Maßnahmen umsetzen möchte. Neben dem Fachkräftemangel könnten sich auch Material- und Lieferengpässe für Dämmstoffe, Fenster, Gebäudeleitungen, Heizungssysteme, Übergabestationen usw. ergeben.

5.4 Exemplarische Darstellung von Hemmnissen bei der Integration EE-Wärmeerzeugungsanlagen

» **Dezentrale, verteilte Wärmeerzeugung in Bestandsystemen (technische Hemmnisse):** EE-Wärmepotenzial können in Versorgungsgebieten aufgrund von technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen standortgebunden sein. Ist es nicht möglich, dass identifizierte EE-Potenzial an bestehenden (zentralen) Wärmeerzeugerstandorten in das Fernwärmesystem zu integrieren, muss geprüft werden, ob eine dezentrale Einbindung möglich ist. Die dezentrale Einbindung kann dabei in Bestandssystemen verschiedene thermo-hydraulische Effekte nach sich ziehen, die sich möglicherweise negativ auf die Gesamtsystemeffizienz auswirken und ggf. zum Erhalt der Versorgungssicherheit vermieden werden müssen. U. a. können durch dezentrale Wärmeerzeuger folgende thermo-hydraulische Effekte in Wärmenetzen auftreten, die bei der Planung und Auslegung entsprechender Anlagen zu berücksichtigen sind:

- Strömungsrichtungsumkehr in Netzabschnitten;
- Wandern der Versorgungsgrenzen;
- Druckänderungen aufgrund der lokalen Transportfunktion der Einbindepumpen;
- Rückströmung der Wärme zum zentralen Erzeuger bei Wärmeüberschuss im Netz;
- zyklische Temperaturänderungen in den Rohrleitungen;
- Engpässe bei der Transportkapazität aufgrund vorhandener Rohrnennweiten führen.

Eine ausführliche Darstellung verschiedener thermo-hydraulischer Effekte und Ergebnisse von Simulationen die im Rahmen des Forschungsprojektes „DELFIN“ (FKZ: 03ET1358 A/B/C) an drei Beispiel Wärmenetzen durchgeführt wurden, sind in [42] (Abschlussbericht DELFIN) enthalten.

» **Erschließung oberflächennaher Geothermie auf einem Temperaturniveau von rund 10°C als Wärmequelle (technische, regulatorische, wirtschaftliche und strukturelle Hemmnisse):** Im Kontext der Niedertemperaturwärme gewinnt die Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Wärmenetzen zunehmend an Bedeutung. Während die Energiequelle der oberflächennahen Geothermie nahezu überall verfügbar ist, ist deren Erschließungspotenzial lokal eingeschränkt. In der Regel ist eine thermische Nutzung des Untergrunds in Trinkwasserschutzgebieten bzw. in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen (DVGW W 101 [43]) sowie Heilquellenschutzgebieten ausgeschlossen. Auch aus den geologischen und

hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort können weitere Einschränkungen (z.B. Bohrtiefenbegrenzungen, Bohrverbote) oder besondere Anforderungen an die Qualität der zu erstellenden Bohrungen (z.B. Begleitung durch einen Sachverständigen) resultieren, die einen erhöhten Kostenaufwand zur Folge haben können. Vor diesem Hintergrund sollten technische und wirtschaftliche Potenziale der oberflächennahen Geothermie in der Planungsphase unter Berücksichtigung von bestehenden Förderprogrammen (z.B. BAFA-Förderprogramm Wärmenetze 4.0 [37]) und regulatorischen Randbedingungen (z.B. Boden- bzw. Grundwasserbeschaffenheit) sorgfältig analysiert werden. Insbesondere die Einholung wasserrechtlicher Genehmigungen kann ein regulatorisches Hemmnis bei mangelnder Erfahrung der Planenden und Verwaltenden darstellen. Mangelnde Kommunikation und Abstimmung zwischen allen Beteiligten sowie die mangelnde Einbindung verwaltender Akteure zum Vorhaben wurden als größte strukturelle Hemmnisse identifiziert. Dies hat sich auch innerhalb des Konsortiums in vergangenen Projekten entsprechend ausgewirkt. Als Beispiel hierfür ist das Projekt "Kassel zum Feldlager" [44] zu nennen.

- » **Fluss- oder Seewassernutzung als Wärmequelle (technische, regulatorische und strukturelle Hemmnisse):** Die thermische Nutzung von Fluss- oder Seewasser ist bisher noch wenig betrachtet und umgesetzt worden. Gründe hierfür können unter anderem die hohen technischen Anforderungen an die Wärmeübertrager und die Rohrleitungen auf der Wärmequellenseite sein. So sind für diese Komponenten beispielsweise Vorkehrungen zur Vermeidung bzw. Entfernung von Vereisungen und Verschmutzung durch Algen oder Schlamm zu treffen. Auch sind gesetzliche Regularien bezüglich der Abkühlung und zur Vermeidung von Verunreinigungen des Wassers zu beachten. Darüber hinaus können Genehmigungsvoraussetzungen die Umsetzung der Fluss- oder Seewassernutzung hemmen. Ein weiteres großes strukturelles Hemmnis für die Fluss- oder Seewassernutzung stellen die potentiellen ökologischen Auswirkungen dar, die eine Einzelfallbetrachtung erforderlich machen¹³. Jedoch zeigen die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie zur Seewassernutzung, dass eine solche möglich und praktisch durchführbar ist¹⁴.
- » **Nutzung von Biomasse als Wärmequelle (technische, wirtschaftliche und regulatorische Hemmnisse):** Die Nutzung von Biomasse kann insbesondere im

¹³ Vgl. hierzu die Richtlinien für Wärmetauscher in oberirdischen Gewässern des Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, Bayern:

https://www.wwa-deg.bayern.de/service/veroeffentlichungen/doc/w_tauscher_gew.pdf

¹⁴ Machbarkeitsstudie: Bericht Entwicklung eines Energieversorgungskonzepts, Leitprojekt ehem. Trabrennbahn ISEK Hillerheide, Stadtentwicklungsgesellschaft Recklinghausen GmbH

Innenstadtbereich problematisch sein. Während Biomethan in einer Studie für ein Versorgungsgebiet als erneuerbare Alternative ermittelt wurde, ist die Nutzung fester Biomasse aufgrund des emittierten Feinstaubes häufig keine Alternative im Innenstadtbereich. Bei der Betrachtung von Biomethan ist die Art der Nutzung (real oder bilanziell) für viele Förderprogramme von Bedeutung, wodurch wiederum ein wirtschaftliches Hemmnis gegeben sein kann. Da die Verantwortlichen auf Ebene der Kommune (bspw. Stadtplanung) insbesondere die durch den Individualverkehr belasteten Zonen von Feinstaubemissionen entlasten wollen, stehen Energiekonzepte, welche die Verbrennung fester Biomasse im Innenstadtbereich vorsehen im Konflikt mit den in Luftreinhalteplänen festgesetzten Zielen. Weitere regulatorische Hemmnisse können durch Sicherheitsvorschriften bei der Lagerung von fester Biomasse bestehen. Während technische Hemmnisse bereits durch den Platzbedarf und Betrieb von Lagerfläche bzw. -räumen gegeben sein können.

- » **Sektorenkopplung zwischen Wärmepumpen und PV-Anlagen (technische, regulatorische und wirtschaftliche Hemmnisse):** Die Sektorenkopplung ist die Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung des lokalen Wärmesektors. Dabei kann Strom aus PV-Anlagen für den Betrieb einer Wärmepumpe eingesetzt werden. Stromüberschüsse aus PV-Anlagen, die ansonsten aufgrund der Netzüberlastung „abgeregelt“ werden müssen, können so für den Betrieb von elektrischen Wärmepumpen effizient verwendet werden. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen ein entscheidender Baustein, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Jedoch sind für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmepumpen in Kombination mit PV-Anlagen auf Quartiersebene die Besonderheiten des regulierten Strommarkts zu beachten. Werden bestehende Wärmequellen mittels Stromeinsatz in Wärmepumpen hochtemperiert, gelten Wärmepumpenbetreiber als Letztverbraucher i. S. d. § 3 Nr. 25 EnWG [45]. Entsprechend sind grundsätzlich die vollen Letztverbraucherabgaben (EEG-Umlage, Netzentgelte, Stromsteuer etc.) zu entrichten. Diese zum Teil sehr hohe Abgaben- und Umlagelasten führen zu einer derzeit nur eingeschränkten Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen. Bestimmte Betriebsmodelle ermöglichen es vor dem Hintergrund rechtlicher Konstruktionen, dass diese Letztverbraucherabgaben nur zum Teil anfallen und so die Wirtschaftlichkeit der Betriebsweise erhöht wird. Hierzu zählen insbesondere Konstrukte wie die Kundenanlage (§ 3 Nr. 24a EnWG [45]) und Eigenversorgungskonstellationen (§§ 61 ff. EEG [39]).
- » **Saisonalspeicher mit thermischen Solaranlagen (technische, regulatorische und wirtschaftliche Hemmnisse):** Die wesentliche Aufgabe eines thermischen

Energiespeichers ist es, lokal verfügbare regenerative Energiequellen nutzbar zu machen, die starken Schwankungen aufgrund der volatilen Einspeisung von EE unterliegen. Dies ermöglicht eine erhöhte Versorgungssicherheit beim Netzbetrieb. Darüber hinaus kann die Nutzung von thermischen Speichern unerwünschte Tageslastspitzen ausgleichen bzw. reduzieren, um Energieressourcen effizienter einzusetzen. Damit kann ein großer Teil des Wärmebedarfs mit EE, beispielsweise Strom aus Wind- und PV-Anlagen, solarthermisch erzeugte Wärme, Abwärme aus Industrieprozessen u. a., gedeckt werden. Dabei bietet sich der Einsatz großer Saisonspeicher in Kombination mit thermischen Solaranlagen und einem Wärmenetz aufgrund des relativ hohen Platzbedarfs hauptsächlich als Energieversorgungslösung für ländliche oder urbane Gebiete mit großen Freiflächen an. Darüber hinaus werden unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Genehmigung bei der Planung von thermischen Energiespeichern für Quartiere gestellt. Diese Anforderungen sind u. a. abhängig von der Speichertechnologie selbst, vom zu nutzenden bzw. potenziell beeinflussten Umweltmedium und vom eingesetzten Speichermedium. So ist stets eine Einzelfallbetrachtung erforderlich, was vor dem Hintergrund breiter Anwendungsmöglichkeiten bestimmter Lösungen das größte Hemmnis darstellt.

- » **Erschließung lokaler Wärmepotenziale durch Prosumer ¹⁵(technische, strukturelle, regulatorisch Hemmnisse):** Mit der Umsetzung der nationalen Klimaziele und der Transformation von bestehenden bzw. dem Bau von neuen Fernwärmesystemen kann es attraktiv sein, bisher ungenutzte lokale Wärmepotenziale bei Kunden zu erschließen. Beispiele hierfür können Rechenzentren oder Supermärkte sein. Die Integration solcher Prosumer in Wärmenetze kann insbesondere für leitungsgebundenen Niedertemperatur-Wärmeversorgung eine Wärmequelle sein, ist aber mit technischen Herausforderungen verbunden. Insbesondere die Regelung solcher Anlagen, entsprechende Einbindeprofile unter Berücksichtigung der Lastsituation im Wärmenetz und den Grenzen der Transportkapazität der Rohrleitungen erfordern einen höheren technischen Aufwand, der bei stark dezentralisierten Systemen mit Prosumern weiter ansteigt. Darüber hinaus erfordert sie die Einbindung weiterer Akteure neben den Energieversorgungsunternehmen. Beispiele dafür können die lokalen Behörden oder die Anwohner sein.

¹⁵ Kofferwort. Meint, dass der Verbraucher (Consumer) auch gleichzeitig ein Erzeuger (Producer) sein kann.

5.5 Herausforderungen und Hemmnisse der leitungsgebundenen Infrastruktur

- » **Transformation bestehender Fernwärmesysteme (kombinierte Hemmnisse):** Die Transformation bestehender Fernwärmesysteme zur Erreichung des Ziels der klimaneutralen Wärmeversorgung ist ein langer aber notwendiger Prozess. Dabei müssen verschiedene technische Maßnahmen wie die Substitution fossiler Wärmeerzeugungsanlagen durch erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen, die Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems durch Absenkung der Netzvorlauftemperaturen oder die Senkung des Wärmebedarfs durch die Ertüchtigung der Gebäude im Versorgungsgebiet in Einklang gebracht und geplant werden. Darüber hinaus sind neben technischen auch wirtschaftliche und vertragliche Einflüsse zu berücksichtigen. Für die leitungsgebundene Wärmeversorgung als Bestandteil des Fernwärmesystems kann durch die Absenkung der Netzvorlauftemperatur eine Reduktion der Wärmeverluste erzielt werden. Eine solche Netztemperaturabsenkung bedeutet immer, dass im Normalfall jede Hausstation (HAST) geändert werden muss, zumindest jedoch die Wärmeübertrager und die Regelventile. Ebenso geht mit einer Netztemperaturabsenkung sehr oft auch ein Austausch von Fernwärmeleitungen einher, um die notwendige, gestiegene Wassermenge zu den Kunden transportieren zu können. Dieser Rohleitungswechsel verursacht, vor allem in Innenstädten, einen sehr hohen Aufwand und bedarf langer Vorbereitungszeit. Gleichzeitig zu den genannten Themen muss die Kundenanlage (vor allem Heizflächen) auf die neuen Netztemperaturen angepasst werden. Ebenso gilt es, eventuell neue EE Erzeugungsanlagen in das Wärmenetz einzubinden. Da eine entsprechende Transformation von bestehenden Fernwärmesystemen weitestgehend ohne Unterbrechung der Wärmeversorgung durchgeführt werden muss und gleichzeitig den hohen Ansprüchen der Fernwärmeversorger an die Versorgungssicherheit genügen muss, sind eine ganzheitliche, systemische Betrachtung, die strategische Planung und die koordinierte zeitliche Umsetzung sehr zu empfehlen.
- » **Ambitionierter Netzausbau bis 2030 bei voraussichtlich erhöhtem Instandhaltungsbedarf der bestehenden Leitungsinfrastruktur in den kommenden Jahren (kombinierte Hemmnisse):** Übergreifend wird in den genannten Studien (vgl. Kapitel 2 Politische Zielstellungen, Potenziale und Anforderungen an die leitungsgebundene Wärmeversorgung [6, 7]) ein ambitionierter Netzausbau als Grundlage für die Erhöhung des Marktanteils der Fernwärme und dem damit verbundenen Gelingen der Wärmewende prognostiziert. Dies schlägt sich vornehmlich in einer deutlichen Vergrößerung der Bestandsnetze nieder und stellt voraussichtlich mehr als die Verdoppelung der vorhandenen Leitungsinfrastruktur dar. Der, in der

Studie des AGFW, prognostizierte Ausbau von derzeit etwa 23 Tsd. Km auf 40 Tsd. Km bis 2030 bedeutet eine enorme bauliche Herausforderung in einem sehr kurzen Zeithorizont [7]. Ergänzend muss dabei berücksichtigt werden, dass auch bauliche Aufwendungen zur Instandhaltung der bestehenden Leitungsinfrastruktur erforderlich werden. Legt man die technische Nutzungsdauer der Fernwärmerohre von etwa 50 Jahren und den Bau vieler Fernwärmenetze in den 70er Jahren zu Grunde, lässt sich daraus ein erhöhter Instandhaltungsbedarf für die kommenden Jahre ableiten. Dabei müssen Ressourcen zielgerichtet eingesetzt werden, um diese baulichen Maßnahmen erfolgreich umzusetzen. Ziel muss es sein, den Ausbau strategisch durchzuführen, um einerseits Engpässe bei Planenden, Ausführenden und Baustoffen zu minimieren und potenzielle Chancen für den Umbau der Wärmenetze zu nutzen. Denn auch Instandhaltungsmaßnahmen können dazu dienen nachhaltig Kapazitäten für die einhergehende Netzverdichtung zu schaffen. Dazu müssen bereits bei der Planung der Instandhaltung Anforderungen an transformierte Wärmenetze berücksichtigt werden um somit Synergien in baulichen Prozessen zu entwickeln. Kombination mit strategischem Ziel zur klimaneutralen Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet erforderlich.

- » **Absenkung der Netzvorlauftemperatur in Bestandssystemen (technische, strukturelle, regulatorisch Hemmnisse):** Durch die Absenkung der Betriebstemperaturen (vor allem der Netzvorlauftemperatur) lassen sich in Fernwärmesysteme einerseits die Wärmeleitungsverluste reduzieren, andererseits die effiziente Integration von erneuerbaren Wärmequellen wie bspw. der Solarthermie realisieren. Insofern kann es in Fernwärmesystemen zielführend sein, die Betriebstemperaturen weiter abzusenken. Die Absenkung der Betriebstemperaturen in Fernwärmesystemen ist technisch anspruchsvoll, da verschiedene Bestandteile (Wärmeerzeugungsanlagen, Rohrleitungssystem und Kundenanlagen) gemäß den geänderten Betriebstemperaturen angepasst werden müssen. Neben technischen Hemmnissen kann es bei der Modernisierung von Hausanschlussstationen auch zu vertraglichen Hemmnissen kommen. Für die Anpassungen an neue Betriebstemperaturen sind die technischen Anschlussbedingungen (TAB) zu ändern. Dabei ist sicherzustellen, dass die seitens der Fernwärme bereitgestellten Temperaturen zur Wärmeversorgung des Kunden möglich sind. Sollte die Temperatur dermaßen abgesenkt werden, dass eine Modernisierung der Anlagen auf der Gebäudeseite erforderlich werden, sind die neuen Zieltemperaturen der TAB frühestmöglich anzupassen und mit ausreichendem Vorlauf vor der Umstellung der

Betriebstemperaturen anzukündigen. Inwiefern sich daraus vertragliche Änderungen ergeben, bedarf einer Prüfung der individuellen Vertragswerke.

- » **Fernaulesbarkeit der Kundenanlagen, Modernisierung und Digitalisierung von Hausanschlussstationen (technische, strukturelle, regulatorisch, wirtschaftliche Hemmnisse):** Mit dem Inkrafttreten der Verordnung über die Verbrauchserfassung und Abrechnung bei der Versorgung mit Fernwärme oder Fernkälte (Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung – kurz: FFVAV) im Oktober 2021, ist der Einbau von fernaulesbaren Wärmemengen Zählern in Kundenanlagen verpflichtend. In Bestandsanlagen können diese fernaulesbaren Zähler bis zum 31.12.2026 nachgerüstet werden [46]. Diese Verpflichtung führt zu einem enormen technischen Aufwand, da ein Großteil der ca. 380.000 bestehenden Hausanschlussstationen umgebaut und der fernaulesbare Zähler eingebaut werden muss. Darüber hinaus bindet sie aufgrund des relative kurzen Zeitraums Mitarbeiterressourcen, die u. U. für die Modernisierung und Digitalisierung benötigt werden. Im Zuge der Umsetzung der FFVAV wäre eine strategische, methodische Vorgehensweise wünschenswert, die zu einer Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems durch Digitalisierung beiträgt und neben den Wärmemengen auch wichtige Betriebsparameter erfasst sowie an das Leitsystem übermittelt. Außerdem kann es dazu kommen, dass im Umsetzungszeitraum Investitionen in Hausstationen getätigt werden, die eine spätere Erneuerung der Hausstation wegen der Umstellung der Betriebsparameter des Wärmenetzes hemmen bzw. eine wirtschaftliche Verschlechterung darstellen. Es ist davon auszugehen, dass durch die in der Regulatorik der FFVAV negative Einflüsse auf die Digitalisierung von Hausstationen bewirken können.
- » **Betriebsoptimierung von Wärmenetzen durch digitalisierte Mess- und Regelungstechnik sowie Maschinelles Lernen (technische, regulatorische und wirtschaftliche Hemmnisse):** Für die Umsetzung vieler Transformationsmaßnahmen von Wärmenetzen, insbesondere bei dezentralen Erzeugerstrukturen mit unterschiedlichen Technologien, ist es zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit erforderlich die thermohydraulischen Zustände innerhalb des Netzes deutlich genauer und flächendeckender als bisher zu erfassen und zu kontrollieren. Daher erscheint es sinnvoll die Transformation mit dem vermehrten Einsatz von digital vernetzter Mess- und Regelungstechnik in den Netzen zu koppeln. Aktuell verfügen viele in Deutschland betriebene Wärmenetze noch über keine digital vernetzte Mess- und Regelungstechnik. Um auch mit den größer werdenden Daten- und Informationsmengen effizient umgehen zu können nimmt die Bedeutung von Ansätzen

aus dem Bereich der Digitalisierung, wie beispielsweise die automatisierte Datenverarbeitung oder Maschinelles Lernen, zu. Hierbei sind insbesondere technische Hemmnisse in Wechselwirkung mit wirtschaftlichen Hemmnissen sowie regulatorische Hemmnisse zu nennen. Als technisch-wirtschaftliches Hemmnis kann die Tatsache betrachtet werden, dass die Technologien in deutschen Wärmenetzen noch nicht weit verbreitet und damit das Kosten-Nutzen-Verhältnis im Vorfeld unbekannt ist. Als wichtiges regulatorisches Hemmnis muss der Datenschutz genannt werden, der es erschwert Kundendaten zu erheben die über Abrechnungszwecke hinausgehen.

- » **Umsetzung eines Niedertemperatur-Wärmenetzes (Netztemperatur ca. 45 °C) (technische und regulatorische Hemmnisse):** Das Wärmeversorgungskonzept basiert auf einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung und dem Niedertemperaturprinzip. Während typische Wärmenetze mit Temperaturen von rund 90 -120 °C betrieben werden, liegt die Versorgungstemperatur hier nur bei rund 45 °C. Dies reicht für die Beheizung von moderat gedämmten Gebäuden über Flächenheizungen aus und die Netzverluste werden signifikant reduziert. Jedoch erfordert eine hygienisch einwandfreie Trinkwarmwasserbereitstellung, sofern keine weiteren technischen Maßnahmen ergriffen werden, ein höheres Temperaturniveau von 60 °C (DVGW Arbeitsblatt W551 [47]). In diesem Fall, können Frischwasserstationen in Kombination zu Wärmenetzanschlüssen eingesetzt werden, bei welchen das benötigte Warmwasser erst zum Zeitpunkt der Zapfung über einen elektrischen Heizstab ggf. in Kombination mit einer PV-Anlagen erhitzt wird. Dabei können je nach Konstellation zwischen elektrischer Erzeugung und elektrischem Verbrauch (bspw. PV-Heizstab) die Stromkostennebenkosten (bspw. Entgelte, Umlagen, Steuern) eine Schnittstelle zwischen wirtschaftlichen und regulatorischen Hemmnissen darstellen.
- » **Umsetzung eines kalten Wärmenetzes (Netztemperatur ca. 10 - 15 °C) (technische und wirtschaftliche Hemmnisse):** Ein kaltes Wärmenetz verfügt über eine zentrale oder mehrere dezentrale Wärmequellen. Da die Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau von 10 - 15°C bereitgestellt wird, werden dezentrale Wärmepumpen für die Nacherwärmung benötigt. Der Vorteil einer technischen Quellenanbindung über ein gesondertes kaltes Netz liegt vor allem in der Möglichkeit, verschiedene Umweltquellen zentral in das Netz einbinden zu können. Somit profitiert der Betrieb dezentraler Wärmepumpen durch die nicht ortsgebundene Einbindung von Umweltenergie. So sind beispielsweise keine Maßnahmen, wie dezentrale oberflächennahe Bohrungen, erforderlich und die Wärmepumpen können ganzjährig

in einem energetisch vorteilhaften Arbeitsbereich betrieben werden. Jedoch hemmen die höheren Investitionskosten aufgrund einer notwendigen Netzinstallation in Kombination mit dezentralen Wärmepumpen im Vergleich zu einer dezentralen Wärmeversorgung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen die Umsetzung. Darüber hinaus sollten durch die örtlichen Wärmequellen konstante Temperaturen für den Betrieb eines kalten Wärmenetzes gewährleistet werden. Die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie anhand einer Quartiersentwicklung zeigen, dass eine Realisierung des Gesamtsystems mit einem kalten Wärmenetz aufgrund der hohen Investitionskosten in die innovativen Technologien mit den berechneten Konditionen für die Endkunden ohne eine BAFA-Förderung aus ökonomischer Sicht häufig nicht tragbar ist. Jedoch wurde im Rahmen einer umfangreichen Nutzwertanalyse festgestellt, dass die Wärmeversorgungsvariante mit dem kalten Wärmenetz bei Berücksichtigung von weiteren, über die Wirtschaftlichkeit hinaus gehenden Faktoren (z.B. Image und Marketingaspekte sowie die Klimafreundlichkeit), insbesondere aufgrund der geringen CO₂-Emissionen und des hohen PV-Deckungsgrads (Sektorenkopplung) im Hinblick auf den gewichteten Gesamtnutzwert wesentlich besser zu bewerten ist, als die dezentralen und zentralen Wärmeversorgungsvarianten¹⁶. Im Rahmen der Sektorenkopplung bilden Konstellationen, welche die Stromerzeugung und den Stromverbrauch betreffen eine gängige Schnittstelle zwischen regulatorischen und wirtschaftlichen Hemmnissen auf Basis der Stromnebenkosten, ggfs. auch in Kombination mit Regelungen zur Entflechtung.

¹⁶ Machbarkeitsstudie und Nutzwertanalyse: Bericht Entwicklung eines Energieversorgungskonzepts, Leitprojekt ehemalige Trabrennbahn ISEK Hillerheide, Stadtentwicklungsgesellschaft Recklinghausen GmbH

6. Fazit

Ausgehend von den nationalen Klimazielen und einer Auswahl politischer Studien im ersten Kapitel wird in Kapitel 2 der vorliegenden Studie die Anforderungen an die zukünftige leitungsgebundene Wärmeversorgung aufgezeigt. In Verbindung der Darstellung des Status quo der leitungsgebundenen Wärmeversorgung in Kapitel 3 kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden:

Die Dekarbonisierung von Bestandssystemen erfordert u. a. die Substitution von fossilen Wärmeerzeugungsanlagen und die Anpassung bzw. Absenkung der Netztemperaturen (T_{VL}). Dies führt voraussichtlich in vielen Fernwärmesystemen zur Steigerung der Dezentralität und ist ohne die Steigerung der digitalen Erfassung von Betriebspunkten im Fernwärmesystem, wegen der parallel ansteigenden Komplexität der Bestandssystemen, schwer umzusetzen.

In Kapitel 4 wird auf die aktuellen Entwicklungen zur Umsetzung der Ziele der Wärmewende in Versorgungsunternehmen eingegangen. Dabei werden die aktuellen Trends in der Branche, wie die Erarbeitung von Transformationsstrategien, die Absenkung der Netzbetriebstemperaturen (insbesondere der Vorlauftemperatur), die Dezentralisierung der Wärmeerzeugung, die Untersuchung der thermo-hydraulischen Zustände im Wärmenetz sowie dem Ausbau digitaler Zustandserfassung zur Optimierung der Betriebsführung des Wärmenetzes, anhand von Praxisbeispielen dargestellt.

In Verbindung mit der individuellen Charakteristik von Fernwärmesystemen in Deutschland erfordern Transformationsprozesse methodisches Vorgehen, das immer wieder an die lokalen Gegebenheiten anzupassen ist. Im Zusammenhang mit dem Ausbau des bestehenden Wärmenetzes (Neubau und Anschlussverdichtung), der Modernisierung von Gebäuden und dem Anstieg an Fernwärmeanschlüssen/Hausanlagen ergeben sich **Chancen, den Wandel der leitungsgebundenen Wärmeversorgung bereits jetzt in der Erarbeitung von Transformationsstrategien zu berücksichtigen.**

Hemmnisse für die Umsetzung der Klimaziele bilden u. a. die vielfältigen Maßnahmen des Transformationsprozesses, die mit hohen Investitionen einhergehen und zeitkritisch sind. In Kapitel 5 sind die Hemmnisse aus bisherigen Projekten zusammengetragen und zunächst den Kategorien „technische“, „regulatorische“, „wirtschaftliche“, „strukturelle“ und „weitere“ Hemmnisse zugeordnet. Grundsätzliche, sich wiederholende Hemmnisse sind:

- » **Technisch:** Hoher technischer Aufwand bei Integration EE bzw. Transformation zur Nutzung EE;

- » **Wirtschaftlich:** Hohe Investitionskosten in Verbindung mit kurzfristigen Betrachtungszeiträumen;
- » **Regulatorisch:** Energie- und Umweltrecht, insbesondere Stromnebenkosten und Genehmigungen sowie Datenschutz;
- » **Strukturell:** Mangelnde Abstimmung zwischen und Einbindung von Akteuren (Kommunikation).

Es wird darüber hinaus im Kapitel 5 aufgezeigt, dass in der Praxis diese Kategorien häufig kombiniert auftreten, technische Hemmnisse Ausgangspunkt und gleichermaßen Bedingung zum Abbau der Hemmnisse sind.

Bei den Untersuchungen die ausgehend von dieser Studie an der Versuchseinrichtung District LAB des Fraunhofer IEE in Kassel durchgeführt werden, steht der Abbau technischer Hemmnisse im Vordergrund. Hier sollen anhand definierter Technologiesets die Grenzen der Dynamik der Betriebsparameter Temperatur und Druck für die leitungsgebundene Wärmeversorgung untersucht werden. Die Versuchseinrichtung District LAB wird sowohl Versuche im Quartiersmaßstab, als auch Simulationen anhand eines Digitalen Zwillings des District LABs ermöglichen. Dadurch können Untersuchungsergebnisse der Technologiesets schnell auf Anwendungen in der Praxis übertragen werden und so zur Verbesserung der Auslegung sowie der Betriebsführung von Wärmenetzen genutzt werden. Zudem wird die Nutzung digitaler Datenpunkte zur Effizienzsteigerung und zur Bewältigung der Komplexität in zukünftig dezentraleren Fernwärmesystemen wissenschaftlich überprüft. Dies stellt eine Voraussetzung für die erfolgreiche Transformation von bestehenden Fernwärmesystemen und eine Kernthese der Studie dar.

Die Ergebnisse der Simulationen und Versuche im District LAB werden wichtige Erkenntnisse zur Flexibilisierung, Digitalisierung und Transformation der leitungsgebundenen Wärmeversorgung im urbanen Raum liefern. Praxisorientierte Lösungsansätze für die Untersuchungen in „UrbanTurn“ werden es gleichzeitig ermöglichen die Ergebnisse schnell auf reale Wärmenetze zu übertragen und somit Versorgungsunternehmen bei der Bewältigung der Herausforderungen der Wärmewende und der strategischen Ausbauplanung der Wärmenetze unterstützen. Gleichmaßen ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse die Anpassung bestehender Normen und Regelwerke an zukünftige Betriebsweisen beschleunigen.

7. Literatur

- [1] AGFW (2020), AGFW Hauptbericht 2019. Statistik des Bereiches Energiewirtschaft und Politik, AGFW I Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt, Germany.
- [2] BDEW (2020), Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstruktur-wohnungsbestand-deutschland/> (Aufruf der Webseite am 19. Oktober 2021).
- [3] BDEW (2021), Nettowärmeerzeugung nach Energieträgern in Deutschland – zur leitungsgebundenen Wärmeversorgung. https://www.bdew.de/media/documents/20210122_BDEW-Zahl_der_Woche_Grafik_Fernwaerme.pdf (Aufruf der Webseite am 19. Oktober 2021).
- [4] Laura Schantey, Nicolas Witte-Humperdinck, Jürgen Roes: Status quo der Digitalisierung in Wärmnetzen, EHP 1-2/2021
- [5] BDI-Studie: Klimapfade für Deutschland The Boston Consulting Group & prognos AG (Januar 2018) im Auftrag des BDI
- [6] Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität
- [7] Perspektive der Fernwärme – Langfassung Maßnahmenprogramm 2030 Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozial-ökologischen Wärmepolitik Hamburg Institut und prognos AG im Auftrag des AGFW, 2020
- [8] EN 13941-1 (2021), District heating pipes – Design and installation of thermal insulated bonded single and twin pipe systems for directly buried hot water networks: Part 1: Design. European CEN, Brussels.
- [9] EN 13941-2 (2021), District heating pipes – Design and installation of thermal insulated bonded single and twin pipe systems for directly buried hot water networks: Part 2: Installation. European CEN, Brussels.
- [10] AGFW (2021), AGFW Arbeitsblatt FW 401-Teil 10:2021, Kunststoffmantelrohre (KMR) als Verlegesystem der Fernwärme – Grundlagen der rohrstatischen Auslegung. AGFW I Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt, Germany.
- [11] Kallert, A., Lottis, D., Shan, M., Schmidt, D.: New experimental facility for innovative district heating systems—District LAB. Energy Reports 7, 62–69 (2021), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721008453>
- [12] Ziele der Bundesregierung zum Klimaschutz, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>, Aufruf am 01.02.2022
- [13] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/bundesregierung-klimapolitik-1637146>, Aufruf am 01.02.2022
- [14] <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzprogramm-2030/>, Aufruf am 01.02.2022
- [15] Merlin Sebastian Triebs, Elisa Papadis, Hannes Cramer, George Tsatsaronis: Landscape of district heating systems in Germany – Status quo and categorization, Energy Conversion and Management 2021

- [16] Ifeu, adelphi consult, PricewaterhouseCoopers, Ecofys, Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (diverse Autoren): Wärmenetzsysteme 4.0 Endbericht: Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen“, im Auftrag des BMWI, April 2017
- [17] Dr. Georg Kobiela, Dr. Sascha Samadi, Jenny Kurwan, Annika Tönjes, Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick, Thorsten Koska, Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer, Dr. Steven März, Dietmar Schüwer): CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze, Diskussionsbeitrag für Fridays for Future Deutschland mit finanzieller Unterstützung durch die GLS Bank, 2020
- [18] M. Rämä ,T. J. Lindroos, S. Svendsen, D. S. Østergaard, M. Tunz, A. Sandvall and K. Holmgren: Stepwise transition strategy and impact assessment for future district heating systems, IEA-DHC, Annex XII final report summary for a non-technical audience 2020
- [19] RHC – European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling, STRATEGIC RESEARCH AND INNOVATION AGENDA FOR THE RENEWABLE HEATING AND COOLING SECTOR (Stand 19.08.2020)
- [20] Christian Maaß, Paula Möhring, Dr. Alexandra Purkus, Dr. Matthias Sandrock (Hamburg Institut Consulting GmbH), Britta Kleinertz, Leona Freiberger (Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH): Grüne Fernwärme für Deutschland – Potenziale, Kosten, Umsetzung – Langfassung, FfE & HHI im Auftrag des BDEW, 2021
- [21] N. Gerhardt, I. Ganai, D. M. Jentsch, D. J. Rodriguez, K. Stroh, und E. K. Buchmann, „Entwicklung der Gebäudewärme und Rückkopplung mit dem Energiesystem in -95% THG Klimaszenarien: Teilbericht im Rahmen des Projektes: Transformationspfade im Wärmesektor – Betriebs- und volkswirtschaftliche Betrachtung der Sektorkopplung mit dem Fokus Fernwärme mit hohen Anteilen konventioneller KWK-Erzeugung und Rückkopplung zum Gesamtenergieversorgungssystem: FKZ 03MAP359“, Zwischenbericht, Feb. 2019. Zugriffen: 6. Mai 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/2019/2019_Feb_Bericht_Fraunhofer_IEE_-_Transformation_Waerme_2030_2050.pdf
- [22] Stadtwerke München: Gestalter der Wärmewende Hrsg: SWM (07-2018)
- [23] Netzlänge Hamburg: <https://www.hamburger-energiwerke.de/wissen-themen/fernwaerme/fernwaermenetz-uebergabestationen>, Aufruf am 24.03.2022
- [24] Netzlänge Flensburg: <https://blog.stadtwerke-flensburg.de/artikel/das-fernwaermenetz-umweltschonender-waermelieferant-fuer-eine-ganze-stadt>, Aufruf am 24.03.2022
- [25] Netzlänge Dresden: https://www.drewag.de/wps/portal/drewag/cms/menu_main/geschaeftskunden/produkte/waerme, Aufruf am 24.03.2022
- [26] Netzlänge Mannheim: <https://www.mvv.de/partner/effizienz/ihrer-energiebeschaffung/fernwaerme>, Aufruf am 24.03.2022
- [27] Merkblatt AGFW FW 113:2017 „Versorgungsqualität in der Fernwärme“. AGFW I Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt, Germany.

- [28] AGFW, IER Stuttgart, EVN: EnEff: Wärme Technische Gebrauchsdauernanalyse von Wärmenetzen unter Berücksichtigung volatiler erneuerbarer Energien, Teil II: In situ Belastungen, Praxisanalysen und Wirtschaftlichkeit“, Förderkennzeichen: 03ET1335A/B/D, Heft 56, ISBN: 3-89999-085-4, Februar 2020
- [29] AGFW-Arbeitsblatt FW 430:2009, „Übernahme, Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme von Fernwärmeverteilungsanlagen - Verantwortlichkeit bei Neubau, Instandsetzung, Stilllegung, Übernahme und Betriebsführung“, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt, Germany 2009.
- [30] Technisches Handbuch Fernwärme, 3. Auflage (2013), ISBN 3-89999-039-0, Hrsg. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., Frankfurt a. M. 2013.
- [31] Merkblatt AGFW FW 440-Teil 1-3:2012 „Hydraulische Berechnung von Heizwasser-Fernwärmenetzen; Strategische Hinweise, vom Grundmodell zu komplexen Erweiterungsstufen“. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt, Germany.
- [32] AGFW (2011), Arbeitsblatt AGFW FW 442:2011, „Druckhaltung in Heizwasser-Fernwärmesystemen“. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt, Germany.
- [33] A. Rasheed, O. San, and T. Kvamsdal, “Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 21980–22012, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.2970143](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143).
- [34] Laura Schantey (FourManagement GmbH), Jan Scheipers, Christian Thommessen, Nicolas Witte-Humperdinck (Lagom.Energy GmbH), Jürgen Roes, Othmar Verheyen (Universität Duisburg Essen, Lehrstuhl Energietechnik), unterstützt durch AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., Bundesverband Kraft -Wärme-Kopplung e.V. (B.KWK): STUDIE ZUR DIGITALISIERUNG IN WÄRMENETZEN - DIGITALISIERUNG IN WÄRMENETZEN (November 2020)
- [35] GEF Ingenieur AG, Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Technische Werke Ludwigshafen, „EnEff:Wärme – Dynamische Netzsimulation zur Effizienzsteigerung und Emissionsreduzierung in der Fernwärmeversorgung (DYNEEF)“, Förderkennzeichen: 03ET1346A/B/C, Heft 52, ISBN: 3-89999-082-X, Veröffentlichungsdatum: November 2019
- [36] Averfalk, H, Benakopoulos, T., Best, I., Dammel, F., Engel, C., Geyer, R., Gudmundsson, O., Lygnerud, K., Nord, N., Oltmanns, J., Ponweiser, K., Schmidt, D., Schrammel, H., Skaarup Østergaard, D., Svendsen, S., Tunzi, M., Werner, S., „Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. Final Report of IEA DHC Annex TS2. Implementation of Low-Temperature District Heating Systems“, ISBN: 978-3-8396-1745-8, Fraunhofer Verlag 2021.
- [37] BAFA-Förderprogramm Wärmenetze 4.0, https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html, Aufruf am 24.03.2022
- [38] ENTWURF Förderrichtlinie BEW, Stand 18.08.2021, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie „Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ „BEW“ [Datum: „Vom 18.08.2021“, <https://www.agfw.de/transformationsplan>, Aufruf am 19.05.2022

- [39] Gebäude Energiegesetz (GEG)
besser: Bundesförderprogramm für effiziente Gebäude (BEG)
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2021/09/14-neue-bundesforderung-fur-effiziente-gebaude.html>, Aufruf: 28.03.2022
- [40] Ifeu, GEF AG & AGFW (diverse Autoren): Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien – Heft 24 Forschung & Entwicklung Endbericht: FKZ 0325184, AGFW 2014
- [41] FUG, GEF AG, Zieher technic, Uh, UWS: EnEff:Wärme Methodische Ansätze zur Temperaturabsenkung eines gewachsenen Fernwärmenetzes – Leitfaden – Förderkennzeichen 0327447A, Heft 26 – F&E, AGFW 2014
- [42] AGFW, Solites, TU Dresden: DELFIN – Decentralized Feed-In „Prognose der Auswirkungen dezentraler Einbindung von Wärme aus erneuerbaren Energien und anderen Wärmeerzeugern in Fernwärmenetze“, Förderkennzeichen: 03ET1358 A/B/C, Heft 54, ISBN: 3-89999-084-6, Veröffentlichungsdatum: März 2020
- [43] W 101 Arbeitsblatt: 03-2021, „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser“, Hrsg. DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, 2004.
- [44] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, Städtische Werke AG Kassel, Universität Kassel, AGFW, „EnEff:Wärme – Kassel Zum Feldlager, Geosolare Nahwärmeversorgung für die Neubausiedlung ‚Zum Feldlager‘ - Abschlussbericht“, Förderkennzeichen: 03ET1336, Heft 47, ISBN: 3-89999-076-5, Veröffentlichungsdatum: Dezember 2018.
- [45] „Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)“, dejure.org. <https://dejure.org/gesetze/EnWG>, zugegriffen 19. April 2022.
- [46] Verordnung über die Verbrauchserfassung und Abrechnung bei der Versorgung mit Fernwärme oder Fernkälte (Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung - FFVAV), <https://www.gesetze-im-internet.de/ffvav/BJNR459110021.html>, Aufruf am 19. April 2022
- [47] DVGW W 551:2004-04, „Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen - Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums - Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen“, ISSN 0176-3504, Hrsg. DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, 2004.

8. Anhang

8.1 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 1

Allgemeines

Bundesland:	Hessen
Einwohnerzahl Kommune:	<10.000
Charakteristika Stadt/Region:	ländliche Gemeinde
Demographische Entwicklung:	leicht wachsende Einwohnerzahl
Wärmeabsatz:	25 GWh/a

Netze

Netztopologie:	Maschennetz
Netzhierarchien:	Sekundärnetz und Tertiärnetze (hydraulisch getrennt)
Trassenlänge gesamt:	27 km
Druckstufen:	PN 16
Versorgungsmedien:	Wasser
VL-Temperatur:	100 °C
RL-Temperatur:	55 °C
Netzeinspeisung:	32 GWh/a
Netzverluste (bzg. auf Netzeinsp.):	22%
Anteil der FW (ges. Wärmebedarf):	80 %
Dämmstandard Netz (vorwiegend):	Dämmreihe 2
Mittlere Absatzdichte:	0,9 GWh/km
Ältester Netzteil:	1988
Größte geodät. Höhendifferenz:	4,5 m
Anzahl Druckerhöhungsstationen:	0 Stück

Erzeugung

EE-Anteil Netzeinspeisung:	0 %
KWK-Anteil Netzeinspeisung:	80 %
Primärenergiefaktor (FW 309-1):	0,52
CO ₂ -Emissionsfaktor (FW 309-6):	k. A.
Höchstlast [MW]:	12

Übersicht Erzeugungsanlagen

Anlage	th. Leistung MW _{th}	el. Leistung MW _{el}	Brennstof f	IBN	ABN	Vbh
Im Eigentum des Versorgers						
Im Eigentum von Dritten						
Block 5			Steinkohle	1992	2025	
Erdgaskessel			Erdgas	1992	2025	

Übersicht Speicher

Anlage			
Anzahl Speicher	1		
Art der Speicher	Kurzzeitspeicher		
Speichertyp	druckloser Speicher		
Speichergröße [MWh]	100		
Speichervolumen [m³]	2.500		
Leistung Speicher Be-/Entladung [MW]	15		

Abnehmer

Gesamtanschlusswert :	20,59 MW
Anzahl HAST :	680 Stück
Mittlerer Anschlusswert:	30kW
Typ HAST:	100 % indirekte Stationen

Eigentum HAST: 100 % im Eigentum des Versorgers

Auslegungsparameter

Leistung:

Höchstlast: 15 MW

Gleichzeitigkeitsfaktor: 72,8 %

Temperaturen:

Auslegungstemperatur (Rohrstatik): 130 °C

Auslegungstemperatur (Hydraulik): VL 100 °C/RL 55°C

Temperaturspreizung: 45 K

Drücke:

Max. zul. Druck: 15 bar ü

Min. Differenzdruck: 0,7 bar

Max. geod. Höhenunterschied: 10 m

Puffer für Druckstöße: 1,0 bar

Betrieb und Regelung des Fernwärmesystems

Temperaturregelung

Regelregime: nach Außentemperatur

Dämpfungselement: k.A.

Max. Temperaturänderungs-
geschwindigkeit: 10 K/h

Temperaturüberhöhung zur

Netzpufferung: nein

Druckregelung

Regelregime: nach Differenzdruck am Netzschlecht-punkt

Dämpfungselement: k.A.

Max. Druckänderung: k.A.

Grad der Digitalisierung

Datenerfassung:

Erzeugung: Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Leistungen, Betriebszustände

Anzahl Erzeugerpunkte: k.A.

Netzpunkte: k.A.

Anzahl Netzpunkte: k.A.

Hausübergabestationen: k.A.

Anzahl Digi-HAST: k.A.

Thermo-hydraulisches Netz Modell: vorhanden

Datenbasierte Betriebsoptimierung: nein

Perspektive Transformation

Erzeugung:

Bis 2030: Solarthermie 20.000m², Flusswärmepumpe 5 MWth

Bis 2040: Abwasser-WP 5 MWth

Netztemperaturen:

Bis 2030: $T_v/T_{rl} = 90/50^{\circ}\text{C}$

Bis 2040: $T_v/T_{rl} = 85/45^{\circ}\text{C}$

Wärmenetzausbau (Anschlussverdichtung / Neubau)

Bis 2030: k.A.

Bis 2040: k.A.

Wärmeabsatzprognose

Bis 2030: 31 GWh/a

Bis 2040: 27 GWh/a

Sanierungsrate: k.A.

Anteil FW Wärmeversorgung am Wärmebedarf:

Bis 2030: k.A.

Bis 2040: k.A.

8.2 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 2

Allgemeines

Bundesland:	Sachsen
Einwohnerzahl Kommune:	<300.000
Charakteristika Stadt/Region:	Großstadt
Demographische Entwicklung:	stagnierend
Wärmeabsatz:	740 GWh/a

Netze

Netztopologie:	Maschennetz
Netzhierarchien:	Primärnetz und Sekundärnetze (hydraulisch getrennt)
Trassenlänge gesamt:	291 km
Druckstufen:	primär: PN 25; sekundär: PN 10/6
Versorgungsmedien:	Wasser
VL-Temperatur:	125 °C (Pri), 95 °C (Sek)
RL-Temperatur:	65 °C (Pri), 60 °C (Sek)
Netzeinspeisung:	925 GWh/a
Netzverluste (bzgl. auf Netzeinsp.):	20%
Anteil der FW (ges. Wärmebedarf):	k.A.
Dämmstandard Netz (vorwiegend):	Dämmreihe 1
Mittlere Absatzdichte:	2,6 GWh/km
Ältester Netzteil:	1961
Größte geodät. Höhendifferenz:	74 m
Anzahl Druckerhöhungsstationen:	1 Stück (in einem Sekundärnetz)

Erzeugung

EE-Anteil Netzeinspeisung:	0,1 % (Solarthermie)
KWK-Anteil Netzeinspeisung:	97 %
Primärenergiefaktor (FW 309-1):	0,7
CO ₂ -Emissionsfaktor (FW 309-6):	0,356 t CO ₂ /MWh
Höchstlast [MW]:	350

Übersicht Erzeugungsanlagen

Anlage	th. Leistung MW _{th}	el. Leistung MW _{el}	Brennstoff	IBN	ABN	Vbh
Im Eigentum des Versorgers						
Kohle-KWK	165	58	Braunkohle	1988	2023	2901
Kohle-KWK	130	73	Braunkohle	1990/2010	2028	2920
Kessel	20		Erdgas	2017	2024	553,8
Kessel	86		Erdgas	1974	2023	0,56
Kessel	100		Erdgas	2018		259

Übersicht Speicher

Anlage			
Anzahl Speicher	3 Stk		
Art der Speicher	Kurzzeitspeicher		
Speichertyp	Verdrängungsspeicher		
Speichergröße [MWh]	730,76		
Speichervolumen [m³]	10630,00		
Leistung Speicher Be-/Entladung [MW]	200,99 / 159,64		

Abnehmer

Gesamtanschlusswert :	507 MW
Anzahl HAST :	3.012 Stück
Mittlerer Anschlusswert:	164 kW
Typ HAST:	70 % direkt, 30 % indirekt
Eigentum HAST:	ca. 2/3 im Eigentum des Versorgers

Auslegungsparameter

Leistung:

Höchstlast:	350 MW
Gleichzeitigkeitsfaktor:	69 %

Temperaturen:

Auslegungstemperatur (Rohrstatik):	140 °C
Auslegungstemperatur (Hydraulik):	VL 125 °C/RL 60°C
Temperaturspreizung:	65 K

Drücke:

Max. zul. Druck:	17 bar ü
Min. Differenzdruck:	ca. 1,0 bar
Max. geod. Höhenunterschied:	74 m
Puffer für Druckstöße:	k.A.

Betrieb und Regelung des Fernwärmesystems

Temperaturregelung

Regelregime:	nach Außentemperatur
Dämpfungselement:	k.A.
Max. Temperaturänderungs- geschwindigkeit:	10 K/h
Temperaturüberhöhung zur Netzpufferung:	k.A.
Druckregelung	

Regelregime:	nach Differenzdruck am Netzschlechtunkt
Dämpfungselement:	k.A.
Max. Druckänderung:	k.A.

Grad der Digitalisierung

Datenerfassung:

Erzeugung: Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Leistungen, Betriebszustände

Anzahl Erzeugerpunkte: k.A.

Netzpunkte: k.A.

Anzahl Netzpunkte: k.A.

Hausübergabestationen: k.A.

Anzahl Digi-HAST: k.A.

Thermo-hydraulisches Netz Modell: vorhanden

Datenbasierte Betriebsoptimierung: nein

Perspektive Transformation

Erzeugung:

Bis 2030: Solarthermie 50.000m², Biomasse 20 MWth

Bis 2040: Solarthermie 50.000 m², Abwasser-WP 7 MWth

Netztemperaturen:

Bis 2030: T_{vl}/T_{rl} = 115/58°C

Bis 2040: T_{vl}/T_{rl} = 110/54°C

Wärmenetzausbau (Anschlussverdichtung / Neubau)

Bis 2030: k.A.

Bis 2040: k.A.

Wärmeabsatzprognose

Bis 2030: ca. 820 GWh/a

Bis 2040: ca. 790 GWh/a

Sanierungsrate: ca. 1,2 %/a

Anteil FW Wärmeversorgung am Wärmebedarf:

Bis 2030: ca. 40 %

Bis 2040: ca. 40 %

8.3 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 3

Allgemeines

Bundesland:	Thüringen
Einwohnerzahl Kommune:	<50.000
Charakteristika Stadt/Region:	Mittelzentrum
Demographische Entwicklung:	leicht rückgängige Einwohnerzahl
Wärmeabsatz:	51 GWh/a (Hauptnetz)

Netze

Netztopologie:	Maschennetz
Netzhierarchien:	Primärnetz und Sekundärnetze (hydraulisch getrennt)
Trassenlänge gesamt:	21 km
Druckstufen:	PN 16
Versorgungsmedien:	Wasser
VL-Temperatur:	105 °C
RL-Temperatur:	65 °C
Netzeinspeisung:	61 GWh/a
Netzverluste (bzg. auf Netzeinsp.):	17%
Anteil der FW (ges. Wärmebedarf):	32 %
Dämmstandard Netz (vorwiegend):	k.A.
Mittlere Absatzdichte:	2,9 GWh/km
Ältester Netzteil:	k.A.
Größte geodät. Höhendifferenz:	42 m
Anzahl Druckerhöhungsstationen:	0 Stück

Erzeugung

EE-Anteil Netzeinspeisung:	0 %
KWK-Anteil Netzeinspeisung:	80 %
Primärenergiefaktor (FW 309-1):	0,29
CO ₂ -Emissionsfaktor (FW 309-6):	0,12 t CO ₂ /MWh
Höchstlast [MW]:	25

Übersicht Erzeugungsanlagen

Anlage	th. Leistung MW_{th}	el. Leistung MW_{el}	Brennstoff	IBN	ABN	Vbh
Im Eigentum des Versorgers						
BHKW (4 Stk.)	8,1	7,7	Erdgas	2016		
Kessel (3 Stk.)	49,8		Erdgas/Öl	1994		

Übersicht Speicher

Anlage			
Anzahl Speicher	0		
Art der Speicher			
Speichertyp			
Speichergröße [MWh]			
Speichervolumen [m³]			
Leistung Speicher Be-/Entladung [MW]			

Abnehmer

Gesamtanschlusswert :	36 MW
Anzahl HAST :	180 Stück
Mittlerer Anschlusswert:	202 kW
Typ HAST:	100 % indirekte Stationen
Eigentum HAST:	100 % im Eigentum des Versorgers

Auslegungsparameter

Leistung:

Höchstlast:	25 MW
Gleichzeitigkeitsfaktor:	69,4 %

Temperaturen (Primärnetz):

Auslegungstemperatur (Rohrstatik): 130 °C

Auslegungstemperatur (Hydraulik): VL 110 °C/RL 60°C

Temperaturspreizung:	50 K
----------------------	------

Drücke:

Max. zul. Druck:	15,5 bar ü
------------------	------------

Min. Differenzdruck:	0,7 bar
----------------------	---------

Max. geod. Höhenunterschied:	42 m
------------------------------	------

Puffer für Druckstöße:	k.A.
------------------------	------

Betrieb und Regelung des Fernwärmesystems

Temperaturregelung

Regelregime:	nach Außentemperatur
--------------	----------------------

Dämpfungselement:	k.A.
-------------------	------

Max. Temperaturänderungs- geschwindigkeit:	k.A.
---	------

Temperaturüberhöhung zur Netzpufferung:	k.A.
--	------

Druckregelung

Regelregime:	nach Differenzdruck am Netzschlechtunkt
--------------	---

Dämpfungselement:	k.A.
-------------------	------

Max. Druckänderung:	k.A.
---------------------	------

Grad der Digitalisierung

Datenerfassung:

Erzeugung:	k.A.
------------	------

Anzahl Erzeugerpunkte:	k.A.
------------------------	------

Netzpunkte:	k.A.
-------------	------

Anzahl Netzknoten: k.A.
Hausübergabestationen: k.A.
Anzahl Digi-HAST: k.A.
Thermo-hydraulisches Netz Modell: vorhanden
Datenbasierte Betriebsoptimierung: nein

Perspektive Transformation

Erzeugung:

Bis 2030: Abwasser-WP 1,2 MWth, Solarthermie 15.000 m²

Bis 2040:

Netztemperaturen:

Bis 2030: $T_{vl}/T_{rl} = 90/59^{\circ}\text{C}$

Bis 2040: $T_{vl}/T_{rl} = 85/55^{\circ}\text{C}$

Wärmenetzausbau (Anschlussverdichtung / Neubau)

Bis 2030: k.A.

Bis 2040: k.A.

Wärmeabsatzprognose

Bis 2030: k.A.

Bis 2040: k.A.

Sanierungsrate: k.A.

Anteil FW Wärmeversorgung am Wärmebedarf:

Bis 2030: k.A.

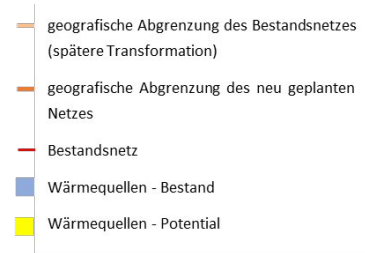
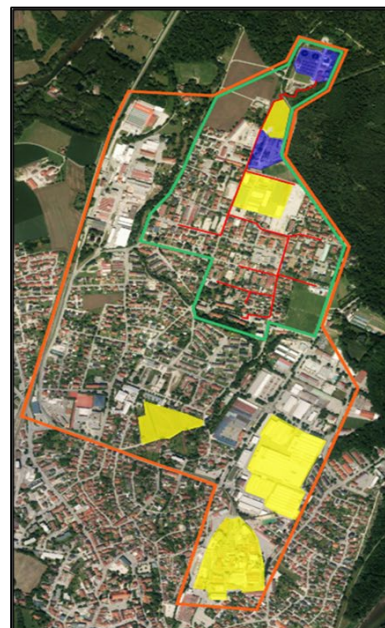
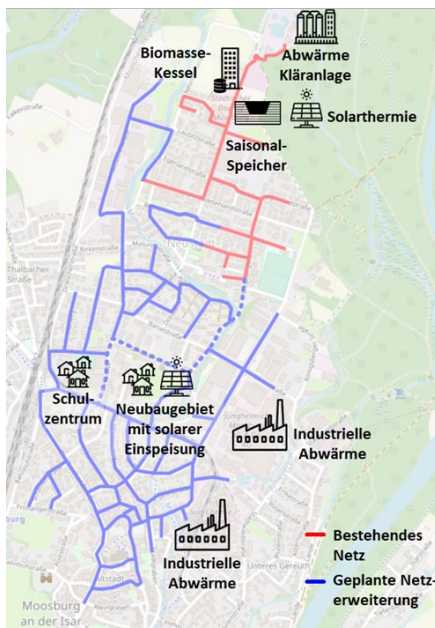
Bis 2040: k.A.

8.4 Wärmenetz-Steckbrief – Stadt 4

Allgemeines

Bundesland:	Bayern
Einwohnerzahl Kommune:	< 20.000
Charakteristika Stadt/Region:	Ländliche Gemeinde / Metropolregion München
Demographische Entwicklung:	leicht wachsende Einwohnerzahl
Wärmeabsatz:	7,5 GWh/a

Abbildung 12 Netzplan



Netze

Netztopologie:	Strahlennetz
Netzhierarchien:	Primärnetz, evtl. mit einem Sekundärnetz (hydr. getr.)
Trassenlänge gesamt:	ca. 10 km
Druckstufen:	PN 16
Versorgungsmedien:	Wasser
VL-Temperatur:	80 °C (Winter); 70 °C (Sommer)
RL-Temperatur:	50 °C
Netzeinspeisung:	8,8 GWh/a
Netzverluste (bzgl. auf Netzeinsp.):	15%
Anteil der FW (ges. Wärmebedarf):	< 10% (grobe Schätzung)
Dämmstandard Netz (vorwiegend):	Dämmreihe 3 (Vorlauf)

Mittlere Absatzdichte: 0,75 GWh/km
 Ältester Netzteil: k. A.
 Größte geodät. Höhendifferenz: k. A.
 Anzahl Druckerhöhungsstationen: k. A.

Erzeugung

EE-Anteil Netzeinspeisung: 99 %
 KWK-Anteil Netzeinspeisung: 10,75 %
 Primärenergiefaktor (FW 309-1): 0,00 (gemäß GEG: 0,202)
 CO₂-Emissionsfaktor (FW 309-6): 0,01 Mg(CO₂)/MWh
 Höchstlast [MW]: 4,5

Übersicht Erzeugungsanlagen

Anlage	th. Leistung MW _{th}	el. Leistung MW _{el}	Brennstoff	IBN	ABN	Vbh
Im Eigentum des Versorgers				k. A.	k. A.	
Biomasse-Heizkessel	2	-	HHS	k. A.	k. A.	2.331
Solarthermie 1	0,99 (Spitze)	-	-	k. A.	k. A.	549
Solarthermie 2	0,39 (Spitze)	-	-	k. A.	k. A.	516
Erdgas-Heizkessel (Besicherung)	0,6	-	Erdgas	k. A.	k. A.	0
Im Eigentum von Dritten						
Klärgas KWK	0,15	k. A.	Klärgas	k. A.	k. A.	6.327

Anlage	th. Leistung MW_{th}	el. Leistung MW_{el}	Brennstoff	IBN	ABN	Vbh
Ind. Abwärme 1	0,51	-	-	k. A.	k. A.	3.885
Ind. Abwärme 2	0,1	-	-	k. A.	k. A.	4.797

Übersicht Speicher

Anlage			
Anzahl Speicher	1		
Art der Speicher	Kurzzeitspeicher		
Speichertyp	druckloser Speicher		
Speichergröße [MWh]	35		
Speichervolumen [m³]	1.000		
Leistung Speicher Be-/Entladung [MW]	5		

Abnehmer

Gesamtanschlusswert :	6 MW
Anzahl HAST :	180 Stück
Mittlerer Anschlusswert:	33kW
Typ HAST:	100 % indirekte Stationen
Eigentum HAST:	100 % im Eigentum des Netzbetreibers

Auslegungsparameter

Leistung:	
Höchstlast:	4,5 MW
Gleichzeitigkeitsfaktor:	75 %

Temperaturen:

Auslegungstemperatur (Rohrstatik): k. A.

Auslegungstemperatur (Hydraulik): VL 80 °C/RL 50°C

Temperaturspreizung: 30 K

Drücke:

Max. zul. Druck: 15 bar ü

Min. Differenzdruck: k. A.

Max. geod. Höhenunterschied: k. A.

Puffer für Druckstöße: k. A.

Betrieb und Regelung des Fernwärmesystems

Temperaturregelung

Regelregime: k. A. (Betriebsstrategie noch nicht festgelegt)

Dämpfungselement: k. A.

Max. Temperaturänderungs-
geschwindigkeit: k. A.

Temperaturüberhöhung zur
Netzpufferung: k. A.

Druckregelung

Regelregime: k. A.

Dämpfungselement: k. A.

Max. Druckänderung: k. A.

Grad der Digitalisierung

Datenerfassung:

Erzeugung: vsl. Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Leistungen,
Betriebszustände

Anzahl Erzeugerpunkte: vsl. 10 Stk.

Netzpunkte: k. A.

Anzahl Netzpunkte: k. A.

Hausübergabestationen: vsl. Temperaturen, Drücke, Durchflüsse
Anzahl Digi-HAST: wsl. alle HAST (ca. 180 Stk.)
Thermo-hydraulisches Netz Modell: Visualisierung / Leitsystem geplant
Datenbasierte Betriebsoptimierung: nein

Perspektive Transformation

Das Netz wird aktuell auf die oben dokumentierte Größe erweitert. Ein weiterer Ausbau in den folgenden 20 Jahren ist wahrscheinlich, aber aktuell nicht abzuschätzen. Die Wärmeerzeugung ist bereits klimaneutral und wird es auch planmäßig bleiben.

Erzeugung:

Bis 2030: k. A.

Bis 2040: k. A.

Netztemperaturen:

Bis 2030: k. A.

Bis 2040: k. A.

Wärmenetzausbau (Anschlussverdichtung / Neubau)

Bis 2030: k. A.

Bis 2040: k. A.

Wärmeabsatzprognose

Bis 2030: k. A.

Bis 2040: k. A.

Sanierungsrate: k. A.

Anteil FW Wärmeversorgung am Wärmebedarf:

Bis 2030: k. A.

Bis 2040: k. A.

8.5 Wärmenetz-Steckbrief – Feldlager, Kassel (Machbarkeitsstudie)

Allgemeines

Bundesland:	Hessen
Einwohnerzahl Kommune:	ca. 600
Charakteristika Stadt/Region:	Außenbezirk Großstadt
Demographische Entwicklung:	leicht wachsende Einwohnerzahl
Wärmeabsatz:	ca. 1,5 GWh/a

Abbildung 13 Netzplan



Netze

Netztopologie:	Strahlennetz
Netzhierarchien:	ein Primärnetz
Trassenlänge gesamt:	ca. 5.7 km
Druckstufen:	k. A.
Versorgungsmedien:	Wasser
VL-Temperatur:	40 °C
RL-Temperatur:	30 °C
Netzeinspeisung:	ca. 1,6 GWh/a

Netzverluste (bzgl. auf Netzeinsp.): 4 %

Anteil der FW (ges. Wärmebedarf): variierte aufgrund der dezentralen Solarthermie-Anlagen

Dämmstandard Netz (vorwiegend): k.A.

Mittlere Absatzdichte: ca. 0,2 GWh/km

Ältester Netzteil: Neubau

Größte geodät. Höhendifferenz: vernachlässigbar

Anzahl Druckerhöhungsstationen: k.A.

Erzeugung

EE-Anteil Netzeinspeisung: zum großen Teil durch EE (siehe Tabelle 1)

KWK-Anteil Netzeinspeisung: 0 %

Primärenergiefaktor (FW 309-1): k. A.

CO₂-Emissionsfaktor (FW 309-6): k. A.

Höchstlast [MW]: 927 kW nach DIN EN 12831

Übersicht Erzeugungsanlagen

Anlage	th. Leistung MW _{th}	el. Leistung MW _{el}	Brennstof f	IBN	ABN	Vbh
Im Eigentum des Versorgers						
Sole-Wasser Wärmepumpe	0,57		Strom	-	-	-
Regenerationsfläche Absorber (unbedeckte Solarthermie-Anlagen)	1.400 m ²					
Im Eigentum von Dritten						
Dezentrale Solarthermie- Anlagen	k.A.					

Anlage	th. Leistung MW_{th}	el. Leistung MW_{el}	Brennstoff	IBN	ABN	Vbh
El. Heizstäbe in TWW-Speichern	Ca. 2-3 kW/Haus (EFH)		Strom			

Übersicht Speicher

Anlage	Dez. TWW Speicher	Zent. Pufferspeicher	
Anzahl Speicher	TWW Speicher pro Haus	1	
Art der Speicher	Kurzzeitspeicher	Kurzzeitspeicher	
Speichertyp	druckloser Speicher	druckloser Speicher	
Speichergröße [MWh]	k.A.	k.A.	
Speichervolumen [m³]	300 Liter/Haus (EFH)	20 m³	
Leistung Speicher Be-/Entladung [MW]	k.A.	k.A.	

Abnehmer

Gesamtanschlusswert :	0,93 MW
Anzahl HAST :	131 Stück
Mittlerer Anschlusswert:	9,2 kW
Typ HAST:	100 % indirekte Stationen
Eigentum HAST:	100 % im Eigentum der Stadtwerke

Auslegungsparameter

Leistung:

Höchstlast: 0,93 MW
Gleichzeitigkeitsfaktor: 84 %

Temperaturen:

Auslegungstemperatur (Rohrstatik): k.A.
Auslegungstemperatur (Hydraulik): VL 40 °C/RL 30°C
Temperaturspreizung: 10 K

Drücke:

Max. zul. Druck: k.A.
Min. Differenzdruck: 1 bar
Max. geod. Höhenunterschied: vernachlässigbar
Puffer für Druckstöße: k.A.

Betrieb und Regelung des Fernwärmesystems

Temperaturregelung

Regelregime: nach Außentemperatur
Dämpfungselement: Tagesmitteltemperatur

Max. Temperaturänderungs-
geschwindigkeit: k.A.

Temperaturüberhöhung zur

Netzpufferung: Anhebung der VL-Temperatur mit einem El. Spitzenlastkessel

Druckregelung

Regelregime: k.A.
Dämpfungselement: k.A.
Max. Druckänderung: k.A.

Grad der Digitalisierung

Datenerfassung: Machbarkeitsstudie keine Umsetzung

Erzeugung: k.A.
Anzahl Erzeugerpunkte: k.A.

Netzpunkte:	k.A.
Anzahl Netzpunkte:	k.A.
Hausübergabestationen:	k.A.
Anzahl Digi-HAST:	k.A.
Thermo-hydraulisches Netz Modell:	k.A.
Datenbasierte Betriebsoptimierung:	k.A.

Perspektive Transformation

Erzeugung: Machbarkeitsstudie keine Umsetzung (Neubauquartier)

Bis 2030:	k.A.
Bis 2040:	k.A.

Netztemperaturen:

Bis 2030:	k.A.
Bis 2040:	k.A.

Wärmenetzausbau (Anschlussverdichtung / Neubau)

Bis 2030:	k.A.
Bis 2040:	k.A.

Wärmeabsatzprognose

Bis 2030:	k.A.
Bis 2040:	k.A.

Sanierungsrate:	k.A.
-----------------	------

Anteil FW Wärmeversorgung am Wärmebedarf:

Bis 2030:	k.A.
Bis 2040:	k.A.



Eine Studie des
AGFW | Der Energieeffizienzverband
für Wärme, Kälte und KWK e. V

Stresemannallee 30 | D-60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6304-1 | Telefax: +49 69 6304-391
info@agfw.de | www.agfw.de