

Neubau und Transformation hocheffizienter Wärmenetze im Kontext der Dekarbonisierung und Flexibilisierung unserer Energiesysteme



Fraunhofer IEE
Dr. Anna Marie Cadenbach
anna.cadenbach@iee.fraunhofer.de

CAE
Stephan Weismann
stephan.weismann
@cae-zeroarbon.de

DBFZ
Heike Gebhardt

Fraunhofer ISE
Axel Oliva
axel.oliva@ise.fraunhofer.de

ISFH
Bert Schiebler
schiebler@isfh.de

Wuppertal Institut
Dietmar Schüwer
dietmar.schuewer@wupperinst.org

Fernwärme (FW) spielt aufgrund ihres Potenzials zur effizienten Integration erneuerbarer Energien (EE) und Abwärme eine entscheidende Rolle für die Umsetzung der Wärmewende. Im Rahmen dieses Beitrags werden Herausforderungen, Maßnahmen und Trends sowie Projektbeispiele für die künftige Fernwärmeversorgung beleuchtet.

Status Quo und aktuelle Herausforderungen bei der leitungsgebundenen Wärmeversorgung

Bis 2030 verpflichtet sich die Bundesregierung im novellierten Klimaschutzplan die Treibhausgas-Emissionen um 65 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Bis 2045 soll die Treibhausgasneutralität erreicht werden [1].

Auf den Gebäudesektor entfallen für Raumwärme und Trinkwarmwasser ca. 34 % des Endenergieverbrauchs [3]. Dieser Sektor stellt aufgrund seiner Größe sowie der Langlebigkeit der Infrastrukturen eine zentrale Herausforderung und einen entscheidenden Hebel zur Umsetzung der Wärmewende dar. Die Bereitstellung der Wärme basiert derzeit bis zu 85 % auf fossilen Brennstoffen [2]. Aktuell werden rund 14 % der Gebäude mit Fernwärme versorgt, dabei handelt es sich im Wesentlichen um urbane Systeme im verdichteten Raum, welche zu 19 % auf EE basieren [4–6]. Derzeitige Entwicklungen zeigen eher zurückhaltende Neubauaktivitäten und kleinteilige Transformationsmaßnahmen. Die Zurückhaltung ist häufig auf technologische und wirtschaftliche aber auch auf rechtliche Restriktionen zurückzuführen [8].

Maßnahmen zur Dekarbonisierung, Transformation, Flexibilisierung sowie Digitalisierung der Fernwärme

Neben dem vermehrten Einsatz von z. B. Wärmepumpen und der Umsetzung weiterführender Effizienzmaßnahmen, gilt die Fernwärme als ein Schlüssel für die erfolgreiche Umsetzung der Wärmewende [9]. Für eine zukunftsorientierte und umweltfreundliche leitungsgebundene Wärmeversorgung existieren verschiedene Maßnahmen.

Die Dekarbonisierung ist eine zentrale Maßnahme für eine klimagerechte Energieversorgung. Im Allgemeinen hängt die erfolgreiche Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung von gebäude-seitigen Maßnahmen (z. B. Sanierung von Heizung und Dämmung) sowie der vermehrten Integration von EE und Abwärme ab. Vor dem Hintergrund der Transformation ist eine Umstellung der Netz- und Erzeugerinfrastrukturen zu Gunsten der Einbindung von EE und Abwärme unter Berücksichtigung der dezentralen Wärmeeinspeisung sowie der Kopplungspotenziale der Sektoren erforderlich [8]. Die Umstellung, aber auch der Neubau von thermischen Netzen erfordern den Einsatz neuer Betriebsstrategien für die effiziente Integration von regenerativen, volatilen Wärmequellen. Die Integration dieser Wärmequellen bedingt den Neubau oder den Wandel hin zur Niedertemperatur-Wärmeversorgung z. B. mit netzdienlicher Betriebsweise für erneuerbare Energiequellen.

Weitere Maßnahmen für den Ausbau hocheffizienter Wärmenetze stellen die Flexibilisierung und Digitalisierung dar. Im Zusammenhang der Flexibilisierung von thermischen Netzen ist künftig eine dargebotsorientierte Betriebsweise bei multivalenter und volatiler Nutzung von Wärmequellen notwendig [13–14]. Die Digitalisierung stellt wiederum eine weitere wichtige Schlüsselmaßnahme für den Betrieb, die Regelung und die Umsetzung innovativer Wärmenetze dar [10].

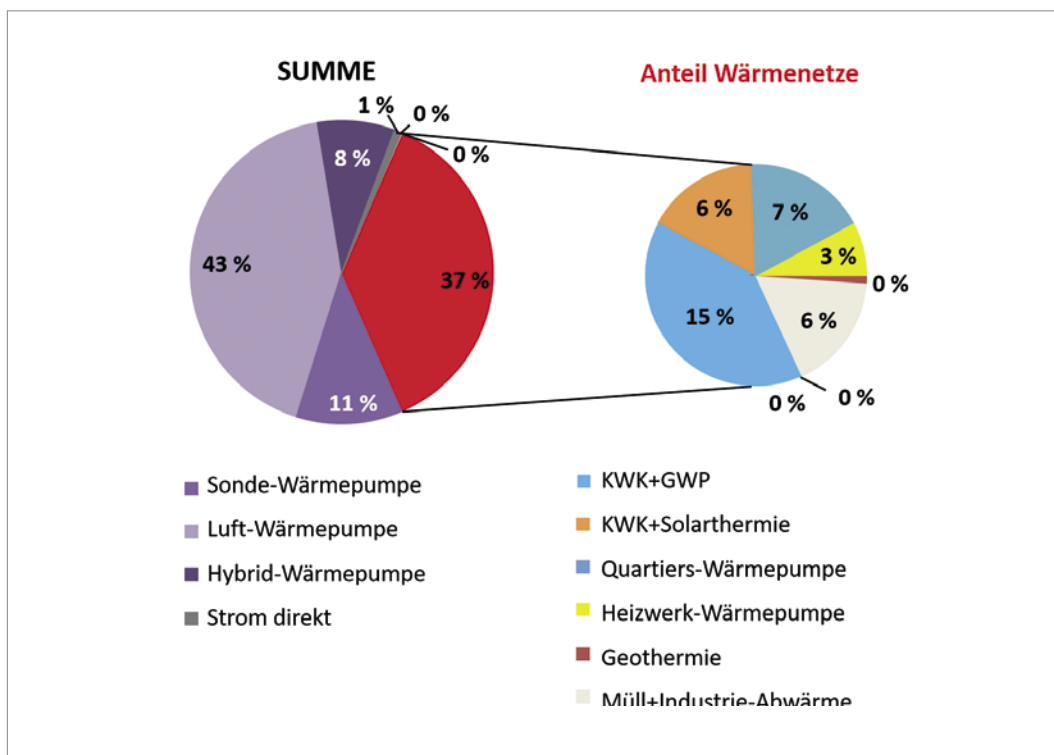


Abbildung 1
Notwendiger Ausbau sowie Neubau von Wärmenetzen bis zum Jahre 2030 [5]
 (Quelle: Wuppertal Institut)

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Maßnahmen und um den verschärften Zielen der Bundesregierung im Kontext der Wärmewende gerecht zu werden, ist die Transformation und der Neubau von Wärmenetzen bereits bis zum Jahr 2030 notwendig [9]. Verschiedene Studien prognostizieren einen frühzeitigen Ausbau der Wärmenetze von heute 14% auf 30 bis 37% bereits bis 2030 (► *Abbildung 1*) [5–6]. Dies entspricht in etwa einem Steigerungsfaktor von 6 bis 7 gegenüber dem bestehenden Netzausbau (► *Abbildung 2*) [5].

Die Verringerung der Treibhausgas-Emissionen erfordert wiederum einen Anstieg des Anteils der erneuerbaren Energien zur Fernwärmeerzeugung bereits auf 45% bis 2030 [11]. Im Kontext des Fernwärme-

ausbaus bis 2030 beziffern Prognosen geschätzte Investitionen in Höhe von insgesamt 33 Mrd. EUR, wovon 16 Mrd. EUR für den Ausbau und Neubau von Wärmenetzen veranschlagt werden [12].

Neben technologischen Maßnahmen erfordert die Umsetzung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung eine gesellschaftliche Akzeptanz, die Schaffung von Anreizen und eine Stärkung des Handwerks [8]. Neben der Erhebung und Beseitigung von Hemmnissen (z. B. Flächenverfügbarkeit) stellt die weitere Optimierung ihrer Wirtschaftlichkeit eine essenzielle Voraussetzung für die erforderliche Beschleunigung der Marktdurchdringung dar.

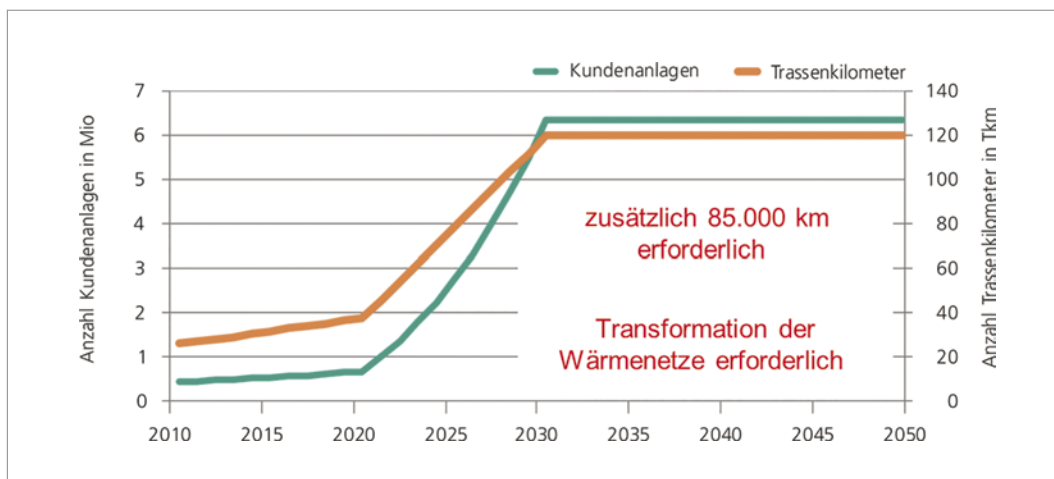
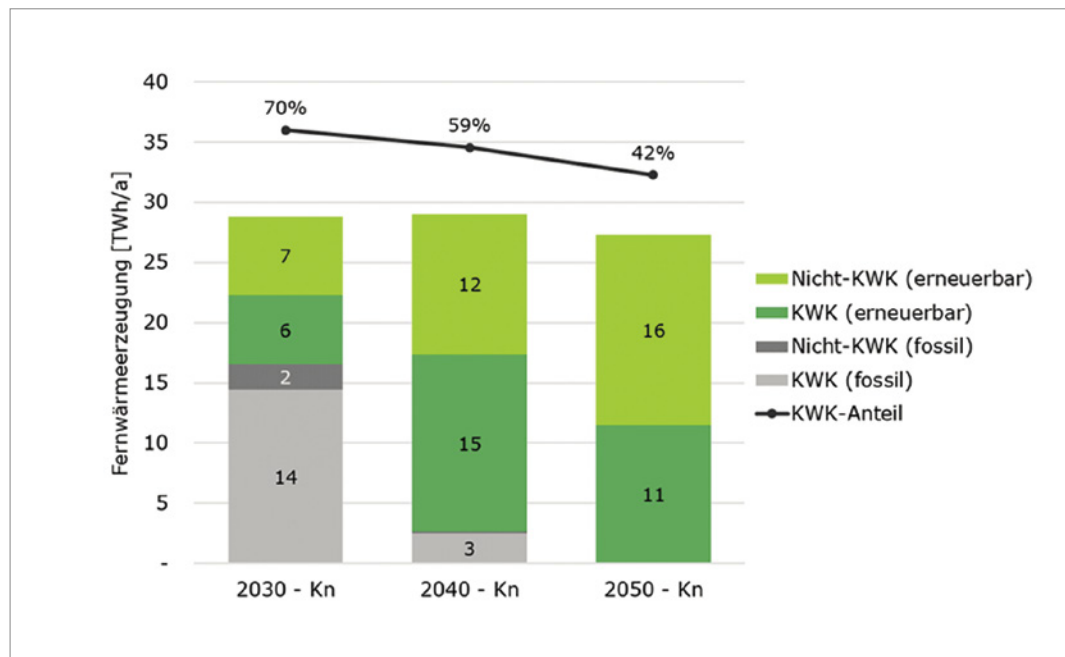


Abbildung 2
Notwendiger Zubau von thermischen Netzen und Steigerungsfaktor gegenüber dem bestehenden Netzausbau [5]
 (Quelle: Wuppertal Institut)

Abbildung 3
Anteile der KWK an der allgemeinen Fernwärme-Versorgung im Klimaschutz-szenario NRW [17]
 (Quelle: LANUV)



Ausgewählte Trends für bestehende und neue hocheffiziente Niedertemperatur-Wärmenetze

Vor dem Hintergrund der zuvor vorgestellten Maßnahmen dominieren nachfolgend ausgewählte Trends die Entwicklung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung.

- *Senkung der Temperaturen in thermischen Netzen:* Je nach Größe des Netzes kann bei großen Netzen mit Temperaturen von $<100^{\circ}\text{C}$ und bei kleineren Netzen mit $<80^{\circ}\text{C}$ gerechnet werden. In sehr kleinen Netzen mit neueren Gebäuden sind Temperaturen $<60^{\circ}\text{C}$ möglich [10].
- *Vielfältigere und komplexere Anlagenparks:* Im Kontext der multivalenten und dezentralisierten Versorgung sind aufgrund der Substitution von einzelnen, zentralen, fossilen Wärmebereitstellungsanlagen durch mehrere, ggfs. dezentrale Technologien erforderlich [13].
- *Ausbau der Sektorkopplung* [14]: Steigerung der Flexibilität von stromnetz-dienlichen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Erweiterung um elektrische Wärmeerzeuger.
- *Der Einsatz solarthermischer Großanlagen* bietet eine vielversprechende Lösung zur Dekarbonisierung von Wärmenetzen. Aktuell sind deutschlandweit 48 Anlagen in Betrieb und weitere 60 in Realisierung oder Vorbereitung. Die Industrie rechnet mit einem jährlichen Zubau von 1 Mio. m^2 ($0,5\text{ TWh}$) bis 2030 [15].
- *Der Einsatz von Speichertechnologien* bietet eine diversifizierte Einbindung von EE und Abwärme.

- *Digitale Technologien* können das gesamte Energiesystem intelligenter, effizienter und zuverlässiger machen sowie den Netz- und Anlagenbetrieb optimieren. Somit kann vermehrt fluktuierende erneuerbare Energie in das System eingespeist werden.

Forschung für die künftige Fernwärmeversorgung

Im Folgenden werden ausgewählte Forschungsprojekte für die Fernwärmeversorgung vorgestellt, die sich der Transformation, Dekarbonisierung, Flexibilisierung sowie Digitalisierung der Fernwärme widmen.

KWK-Pot-NRW:

Potenzialstudie zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Nordrhein-Westfalen.

Technische Potenziale zur thermischen Residuallastdeckung durch KWK in der allgemeinen Wärmeversorgung im Klimaneutral-Szenario NRW

Derzeit dominiert mit über 80% die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) die Wärmebereitstellung in Wärmenetzen [16]. In einer Studie für das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) wurden unter anderem der Status quo und die künftigen Potenziale der Wärmeversorgung durch KWK für die Nah- und Fernwärme ermittelt [17]. Unter der Voraussetzung einer ambitionierten Gebäudesanierung lassen sich bis 2050 ein Viertel des Wärmebedarfs von Gebäuden durch

thermische Netze klimaneutral decken. Aufgrund einer steigenden Gebäudeenergieeffizienz sinkt im Zeitraum von 2030 bis 2050 die absolute Fernwärme-Erzeugung geringfügig. Der KWK-Anteil verringert sich im gleichen Zeitraum von 70% auf 42%, wobei die fossile KWK gänzlich zugunsten erneuerbarer KWK und erneuerbarer Nicht-KWK ausläuft (► *Abbildung 3*).

Bezüglich künftig eingesetzter Energieträger wird es eine deutliche Verschiebung von Erdgas zu Abwärme, Strom (mit Wärmepumpe), Wasserstoff und Solarthermie geben (► *Abbildung 4*). Die Einsatzzeiten der KWK sinken zugunsten klimaneutraler Nicht-KWK-Technologien. Zukünftige und vorrangige Aufgabe der KWK ist somit, flexibel die residuale Wärme- und auch Stromlast abzuschließen.

HP-BIG:

Senkung des Wärmepreises bei solarthermischen Großanlagen mit Heatpipe-Vakuumröhrenkollektoren:

Der Einsatz solarthermischer Großanlagen in Wärmenetzen bietet große Potenziale für die Dekarbonisierung. Vor diesem Hintergrund besteht das Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Verbundvorhaben „HP-BIG“ (FKZ: 03EN6011A-C) in der Senkung des Wärmepreises bei Großanlagen mit Vakuumröhrenkollektoren um bis zu ca. 30%. Zur Erreichung dieses Zieles werden im Projekt neuartige Konzepte basierend auf stagnationssicheren Gravitationswärmehohr (Englisch: Heatpipes) erarbeitet, erprobt und bewertet. Aufgrund ihrer einfachen Hydraulik und

der Möglichkeit, die Kollektortemperatur gezielt zu begrenzen, bieten diese ein noch nicht erschlossenes Potenzial für den Einsatz z. B. bei der Unterstützung von Wärmenetzen mit hohen solaren Deckungsanteilen. Darüber hinaus können signifikante Kosteneinsparungen sowohl im Kollektor- als auch im Solarkreisbereich erreicht werden. Innovative Komponenten und Systeme werden in einer Demonstrationsanlage umgesetzt, die als sogenanntes „Live Lab“ über ein Jahr wissenschaftlich begleitet wird.

EnWiSol

Solarthermie in der städtischen Energieversorgung, Energiewirtschaftliche Analyse und Demonstrationsvorhaben Freiburg-Gutleutmaten

Das Ziel des vom BMWK geförderten Projekts „EnWiSol – Solarthermie in der städtischen Energieversorgung“ (FKZ: 03ETS005A/B) ist es, die Rolle der Solarthermie bei der Versorgung urbaner Quartiere unter aktuellen und zukünftigen energiewirtschaftlichen Randbedingungen zu analysieren. Um diese komplexe Zielstellung durch einen automatisierten zentralen Regler zu erreichen, wird ein modellprädiktiver Regelungsalgorithmus entwickelt. Aufbauend auf Vorhersagen des Warmwasserverbrauchs der einzelnen Gebäude und der Solarerträge berechnet der Regler den optimierten Fahrplan für die Wärmeverteilung zwischen den Häusern und die Wärmeanforderung an die zentrale Wärmeversorgung. Darüber hinaus wird ein innovatives Betriebskonzept entwickelt und implementiert, mit dem jede einzelne dezentral angeordnete Solarthermieanlage auch als Einspeiser in das Netz fungieren kann.

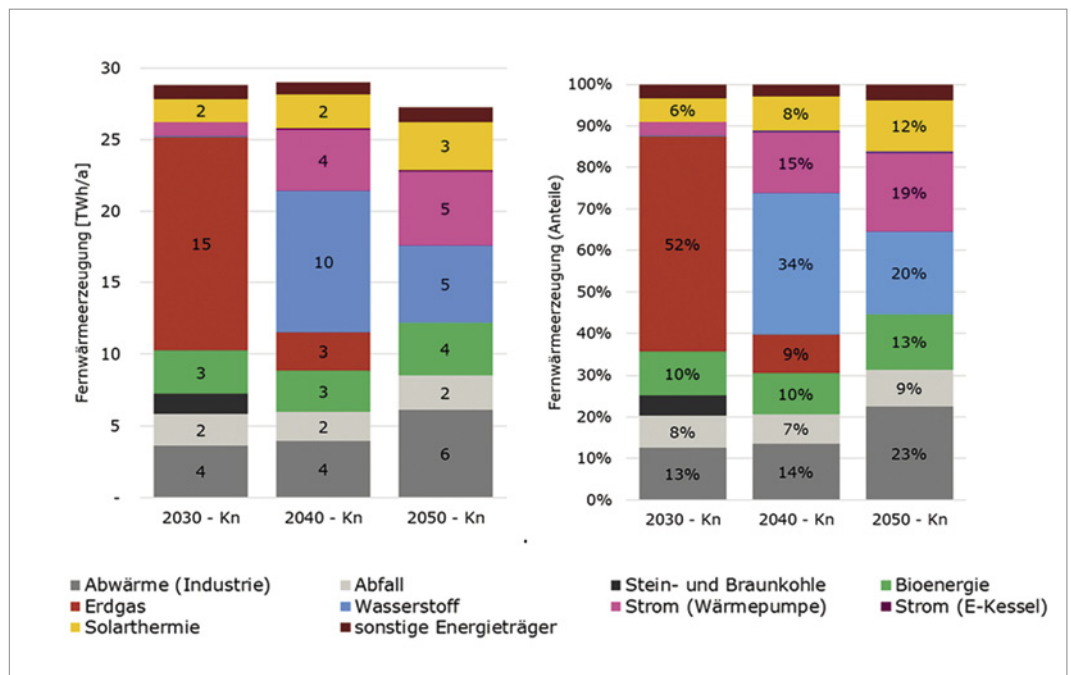


Abbildung 4
Absolute und relative Energieträgeranteile für die allgemeine Fernwärme-Versorgung im Klimaschutz-szenario NRW [17]
(Quelle: LANUV)

EnEff:Wärme:Smart Heat

Digitalisierung von Wärmeversorgungsstrukturen in einem virtuellen Wärmekraftwerk

Die Digitalisierung macht Wärmenetze nachhaltiger und zuverlässiger. Vor diesem Hintergrund widmet sich das vom BMWK geförderte Vorhaben „EnEff: Wärme:Smart Heat“ (FKZ: 03ET1673 A- C) der Untersuchung von Potenzialen und Möglichkeiten der Digitalisierung im Bereich der leitungsgelassenen Wärmeversorgung am Beispiel der energycity Netz GmbH in Hannover. Durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationsstrukturen soll die Steigerung der Effizienz bei der Wärmeversorgung erreicht werden. Darüber hinaus erfolgt die Einflussanalyse der Flexibilisierung auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmebereitstellung. Zur Demonstration der Flexibilität wird die Implementierung eines digitalen, zentralen Leitsystems sowie kommunizierender Regeleinheiten in den Übergabestationen vorgenommen.

EnEff:Wärme:HybridBOT_FW

Transformation und Betriebsoptimierung von Wärmenetzen zur netzdienlichen Quartiersversorgung

Die Flexibilisierung thermischer Netze ermöglicht die multivalente und volatile Nutzung von regenerativen Wärmequellen durch eine dargebotsorientierte Betriebsweise. Vor diesem Hintergrund untersucht das vom BMWK geförderte Projekt „EnEff:Wärme:HybridBOT_FW“ (FKZ: 03EN3041 A-F) die Möglichkeiten der Betriebsoptimierung von Wärmenetzen als Teil eines hybriden Energiesystems. Eine Geschäftsmodell- und Wirtschaftlichkeitsanalyse beleuchtet wirtschaftliche und regulatorische Anforderungen im Kontext der Sektorenkopplung. Mittels Co-Simulation von Strom-Wärme-Systemen erfolgt eine Bewertung von Transformationsoptionen und Flexibilisierungspotenzialen zur Entwicklung von Betriebsoptimierungsstrategien. Die entwickelten Ansätze werden durch experimentelle Untersuchungen in einer Laborumgebung mit Hilfe eines Digitalen Zwillings verifiziert. Zur Umsetzung und Demonstration wird die Implementierung der verifizierten Betriebsstrategien im Feld vorgenommen und einem Langzeit-Monitoring unterzogen. Als Demonstrator dienen ein Neubau- und ein Bestandsgebiet in Neuburg an der Donau.

Zusammenfassung

Der Fernwärme obliegt eine entscheidende Rolle für die Dekarbonisierung, Flexibilisierung und Digitalisierung des Wärmesektors. Um den Anforderungen eines künftigen Energiesystems zu genügen, ist der Neu- und Ausbau zugunsten multivalenter Erzeugerstrukturen auf Basis von regenerativen, volatilen Wärmequellen notwendig. Diese Wärmequellen erhalten Vorrang vor brennstoffbasierter Wärmeerzeugung. Somit ändert sich auch die Rolle der KWK von heutiger grundlastgeführter Fahrweise hin zur Bereitstellung residualer Wärme- und Stromlasten. Neben reinen technologischen Maßnahmen sind der Abbau von Hemmnissen, die Erhöhung der Akzeptanz, die Einführung von Anreizen und eine Stärkung des Handwerks erforderlich. Die im Rahmen dieses Beitrags beleuchteten Projektbeispiele verdeutlichen, dass langfristig eine vollständige Transformation und Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung mit einem Mix verschiedener Technologien möglich ist.

Quellen

- [1] BMWi Energiedaten 2019 / Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2019/01/ag-energie_in_zahlen_2019.pdf
- [2] Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zur Entwicklung im Jahr 2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2021.
- [3] BDEW (2020), Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstruktur-baugenehmigungen-aktuell/>
- [4] BDEW (2021), Nettowärmeerzeugung nach Energieträgern in Deutschland – zur leitungsgebundenen Wärmeversorgung. https://www.bdew.de/media/documents/20210122_BDEW-Zahl_der_Woche_Grafik_Fernwaerme.pdf
- [5] Gerhardt et. al (2019), Transformationspfade im Wärmesektor Betriebs- und volkswirtschaftliche Betrachtung der Sektorkopplung mit dem Fokus Fernwärme mit hohen Anteilen konventioneller KWK-Erzeugung und Rückkopplung zum Gesamtenergieversorgungssystem
- [6] AGFW (2020), AGFW Hauptbericht 2019. Statistik des Bereiches Energiewirtschaft und Politik.
- [7] Wärmewende 2030 - Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/waermewende-2030-1/>
- [8] AGFW (2022) Forschungsprojekt UrbanTurn – Fernwärmenetze im Kontext nationaler Klimaziele: Potenziale für „UrbanTurn“, <https://www.agfw.de/forschung/urbanturn>
- [9] BDEW (2021), Grüne Fernwärme für Deutschland – Potenziale, Kosten, Umsetzung, <https://www.bdew.de/energie/die-gruene-fernwaerme-ist-wichtiger-baustein-der-waermewende/>
- [10] Hay, et al, Existing District Heating Networks in Context of German Climate Goals: Potentials for “UrbanTurn”, ISEC Conference Graz, 07th April 2022
- [11] Wunsch, M., Thamling, N., Maas, C. et al. (2020), Perspektive der Fernwärme. Im Auftrag des AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., Frankfurt, Germany.
- [12] AGFW, Solites, TU Dresden (2020). DELFIN – DecentralizedFeed-In: Prognose der Auswirkungen dezentraler Einbindung von Wärme aus erneuerbaren Energien und anderen Wärmeerzeugern in Fernwärmenetze, März 2020.
- [13] Trieb, Merlin Sebastian; Papadis, Elisa; Cramer, Hannes; Tsatsaronis, George (2021): Landscape of district heating systems in Germany – Status quo and categorization. In: Energy Conversion and Management: X 9 (4), S. 100068. DOI: 10.1016/j.ecmx.2020.100068.
- [14] Markus Millinger, Philip Tafarte, Martin Dotzauer, Katja Oehmichen, Annedore Kanngießler, Benedikt Meyer, Anne Hagemeier (2017): Synergien, Wechselwirkungen und Konkurrenzen beim Ausgleich fluktuierender erneuerbarer Energien im Stromsektor durch erneuerbare Optionen. BalanceE - Gemeinsamer Endbericht. FKZ: 0325705. Hg. v. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH und Fraunhofer UMSICHT.
- [15] Springer Frank, et al. Koordinierter Schlussbericht – Zusammenfassung für das Projekt „Digitalisierung von energieeffizienten Quartierslösungen in der Stadtentwicklung mit intelligenten Fernwärme-Hausanschlussstationen – iHAST (Phasen 1–2)“. Frankfurt, Dresden, Cottbus. Stuttgart: AGFW, TU Dresden, BTU Cottbus, IER Stuttgart; 202
- [16] AGFW 2022: Effizienz & KWK. Zugriff am 04.11.2022: www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energiewende-politik/effizienz-kwk
- [17] LANUV 2021: Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung – Fachbericht 116. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Recklinghausen 2021 www.lanuv.nrw.de/publikationen/details?tx_cartproducts_products%5Bproduct%5D=1079&cHash=10d4ec3d1bce3d396d38cb6c85d2379c