



Kalte Nahwärme in Deutschland

Marco Wirtz

nPro Energy GmbH (www.npro.energy)

Kontakt: m.wirtz@npro.energy

- White Paper -

Keywords: Energienetz, Wärmenetz der 5. Generation, LowEx-Netz, 5GDHC

Dieses Dokument stellt eine technologische Übersicht zu kalten Nahwärmenetzen in Deutschland dar und fasst dabei unter anderem die **wissenschaftliche Publikation** „M. Wirtz, T. Schreiber, D. Müller: Survey of 53 5th Generation District Heating and Cooling (5GDHC) Networks in Germany, Energy Technology, 2022. DOI: 10.1002/ente.202200749“ zusammen.

1. Juni 2023

Vorwort

Kalte Nahwärmenetze weisen ein großes Potential für die Wärmewende in Deutschland auf. Verglichen mit klassischen Nahwärmenetzen existieren bislang zwar nur wenige Systeme, die Wachstumsraten kalter Nahwärmenetze in den letzten Jahren zeigen jedoch welches Potential in der Technologie steckt. Dieses White Paper gibt einen Überblick über kalte Nahwärmenetze in Deutschland und wertet eine wissenschaftliche Erhebung der RWTH Aachen aus dem Jahr 2022 aus, in der der Bestand kalter Nahwärme in Deutschland analysiert wurde.

Einführung

Die Bundesregierung Deutschlands hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 eine klimaneutrale Energie- und Wärmeversorgung zu erreichen. Eine der größten Herausforderungen auf diesem Weg ist die Dekarbonisierung des Wärmesektors. Insbesondere die Sanierung von Millionen von Bestandsgebäuden stellt eine gewaltige Herausforderung dar. Die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern bei der Wärmeversorgung führt uns die Energiekrise im Rahmen des Ukraine-Kriegs sehr deutlich vor Augen: Die Wärmeversorgung stützt sich vor allem auf die Verbrennung fossiler Energieträger, wie Öl und Gas. Eine Abkehr von diesen klimaschädlichen Technologien bedarf eines entschlossenen politischen Handelns und großer wirtschaftlicher Anstrengungen. Die Wärmeversorgung der Zukunft wird vor allem auf **Wärmepumpen** basieren, da diese thermodynamisch die höchste Effizienz aufweisen, um Niedertemperaturwärme (Raumwärme und Trinkwarmwasser) bereitzustellen. In Zukunft wird die Wärmeversorgung daher auf vier Säulen basieren:

- Dezentrale Wärmepumpen (v.a. Erdwärme und Umgebungsluft),
- konventionelle Wärmenetze (Nah- und Fernwärme),
- kalte Nahwärmenetze, sowie
- Verbrennung von Biomasse und Gas (v.a. Wasserstoff).

Im Folgenden wird die Technologie der kalten Wärmenetze näher beleuchtet. Kalte Wärmenetze werden auch Anergienetze, Wärmenetze der 5. Generation (*5th generation district heating and cooling*, kurz: *5GDHC*) oder LowEx-Netze genannt.

Funktionsweise kalter Nahwärme

Ähnlich wie in normalen Wärmenetzen zirkuliert in einem kalten Nahwärmenetz Wasser als Wärmeträgermedium in einem Rohrnetz und transportiert Wärme von einer Wärmequelle (z. B. einem Geothermiefeld) zu den Wärmeabnehmern. Konventionelle (heiße) Wärmenetze werden auf einem Temperaturniveau von in der Regel über 70 °C (häufig sogar über 100 °C) betrieben. Bei kalten Nahwärmenetzen ist das Temperaturniveau hingegen sehr viel geringer und liegt nahe der Umgebungstemperatur: Die meisten kalten Netze werden bei **Temperaturen von rund -5 bis 20 °C** betrieben [1]. Das Temperaturniveau hängt dabei u.a. von der erschlossenen Wärmequelle ab. Da derartig geringe Netztemperaturen nicht ausreichen, um ein Gebäude zu beheizen, werden zusätzlich **Wasser-Wasser-Wärmepumpen in jedem Gebäude** installiert, die das Temperaturniveau der Wärme auf die benötigte Vorlauftemperatur des Heizsystems des Gebäudes anheben.

Definition

Um kalte Nahwärmenetze und klassische Wärmenetze zu unterscheiden, wurde in einer wissenschaftlichen Publikation [2] eine Definition für kalte Nahwärmenetze eingeführt: Kalte Nahwärmenetze sind Wärmenetze, deren Temperaturniveau so gering ist, dass dieses nicht ausreicht, um die angeschlossenen Gebäude *direkt* mit Wärme zu versorgen. In kalten Nahwärmenetzen müssen daher dezentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpen installiert werden, um das Temperaturniveau auf das benötigte Niveau des Heizsystems des Gebäudes anzuheben. Die Definition ist daher nicht direkt an eine fixe Temperatur gebunden, sondern an die Tatsache, ob Raumwärme mit oder ohne dezentrale Wärmepumpen bereitgestellt werden kann. In der Literatur werden **fünf Generationen von Wärmenetzen** unterschieden: Die **1. Generation** sind Dampfnetze, die auf sehr hohem Temperaturniveau und unter hohem Druck betrieben werden. Heutzutage gibt es nur noch wenige dieser Systeme. Bei der **2. Generation** Wärmenetze wird nicht mehr Dampf sondern Heißwasser unter Druck zu den Wärmeabnehmern geleitet. Die Temperaturen betragen hierbei über 100 °C. Bei der **3. Generation** handelt es sich ebenfalls um Heißwassernetze, welche jedoch auf einem Temperaturniveau von unter 100 °C betrieben werden. Diese Art von Wärmenetz ist heutzutage am verbreitetsten. Moderne Wärmenetze sind Wärmenetze der **4. Generation** (Wärmenetze 4.0) oder **Wärmenetze der 5. Generation** (im Deutschen vor allem *kalte Nahwärmenetze* genannt). Im Englischen werden diese als *4th generation district heating* (4GDH) bzw. als *5th generation district heating and cooling* (5GDHC) bezeichnet [3, 4]. Wärmenetze der 4. Generation werden auf einem Temperaturniveau von rund 40 bis 70 °C betrieben und weisen aufgrund der niedrigen Betriebstemperaturen geringere Wärmeverluste auf als konventionelle Wärmenetze der 3. Generation. Wärmenetze der 4. Generation benötigen zur Raumwärme-Bereitstellung keine dezentralen Wärmepumpen, können jedoch auch nicht zur Kühlung verwendet werden. Wärmenetze der 5. Generation werden üblicherweise auf einem Temperaturniveau von -5 bis 20 °C betrieben, in Einzelfällen auch bis zu 35 °C. Großer Vorteil kalter Netze ist, dass sie eine Vielzahl unterschiedlicher Wärmequellen nutzen können, v.a. Umgebungswärme aus dem Erdreich, der Umgebungsluft oder Gewässern, wie Flüsse oder Seen.

Tabelle 1: Entwicklung von Wärmenetzen (1. bis 5. Generation)

Generation	Temperaturniveau	Wärmeerzeugung	Entwicklung
1.	< 200 °C	Kohle-/Abfallverbrennung	1880 – 1930
2.	> 100 °C	Verbrennung/KWK: Kohle, Abfall, Öl	1930 – 1980
3.	< 100 °C	Verbrennung/KWK: Abwärme, Biomasse, Kohle, Erdgas, Öl, Abfall	1980 – 2020
4. (4GDH)	40 – 70 °C	Geothermie, Solarthermie, Abwärme, Biomasse, KWK	v.a. ab 2010
5. (5GDHC)	-5 – 20 °C (bis zu ca. 35 °C)	Oberflächennahe Geothermie, Abwärme, Abwasserwärme, Fluss-/Seewasser, u.v.m.	v.a. ab 2020

Verbreitung kalter Nahwärme

Die Verbreitung kalter Nahwärme hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Spätestens mit der Energiekrise im Jahr 2022 und dem Abkehr von Erdgas als bis dahin kostengünstigem Energieträger ist ein großes Interesse an kalten Nahwärmenetze zu beobachten. Die Anzahl der geplanten und realisierten Projekte nimmt daher in den letzten Jahren stark zu, wie aus Abbildung 1 hervorgeht. Kalte Nahwärme ist allerdings keine neue Technologie: Das erste kalte Nahwärmenetz wurde in Dorsten-Wulfen im Jahr 1981 realisiert. Insgesamt steigt die Popularität kalter Nahwärmenetze stark mit der Verbreitung der Wärmepumpen-Technologie. In der Studie der RWTH Aachen [1] wurden zu 53 kalten Nahwärmenetzen Daten erhoben. Insgesamt sind jedoch mindestens 80 kalte Nahwärmenetze in Deutschland errichtet bzw. in der Umsetzung, wie in Abbildung 2 dargestellt.

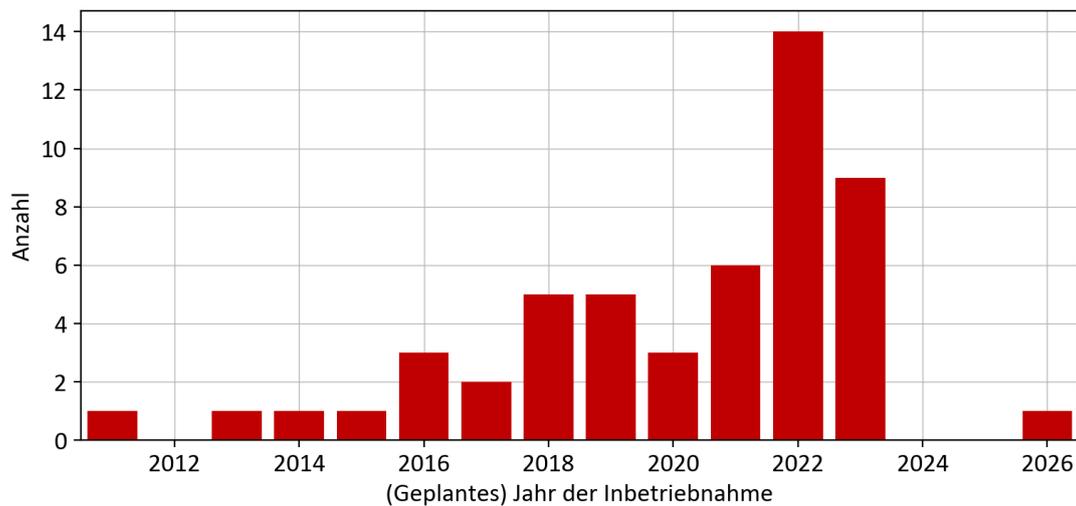


Abbildung 1: Jahr der Inbetriebnahme von 52 kalten Nahwärmenetze, Daten entnommen aus [1].



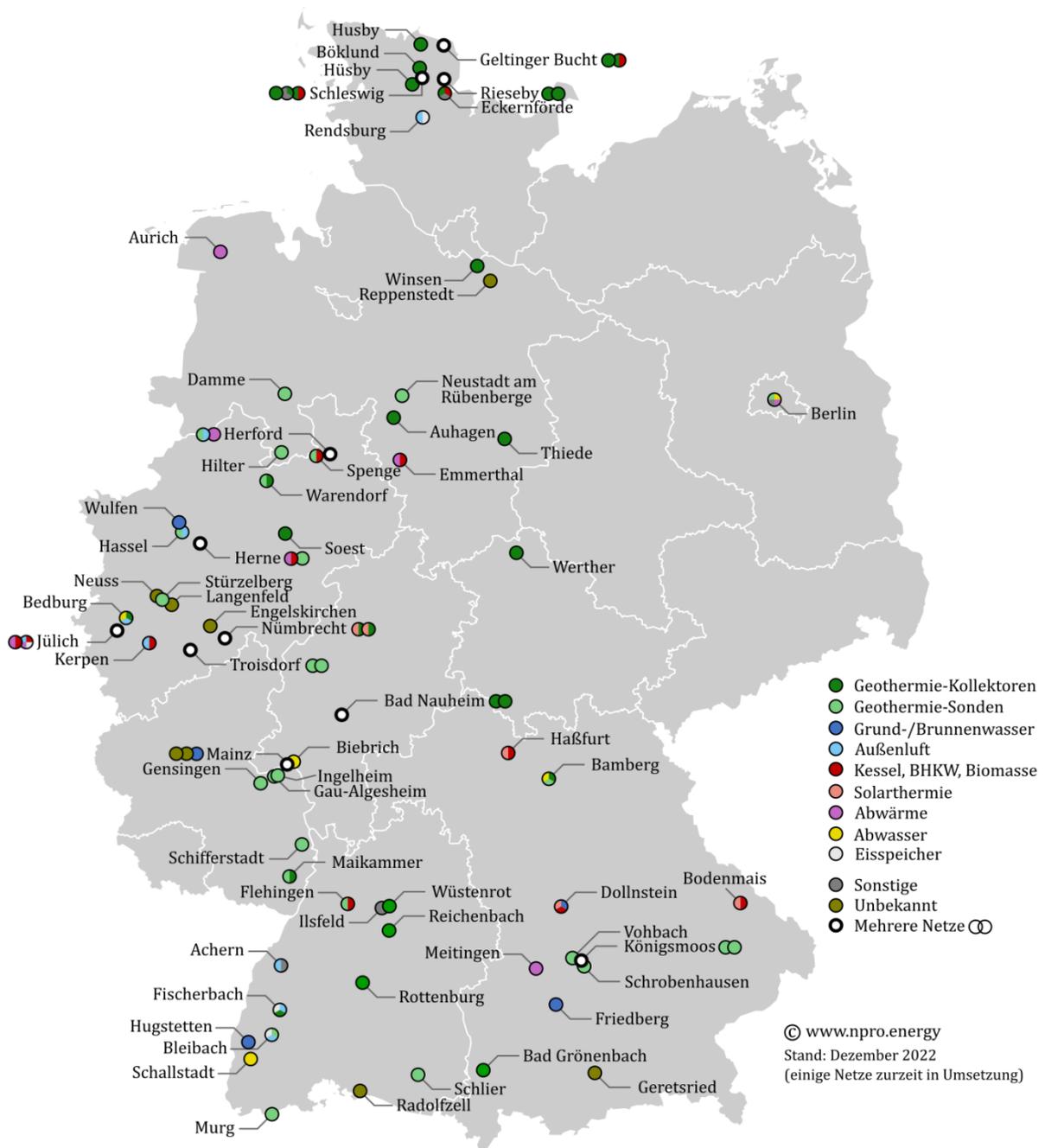


Abbildung 2: Überblick über 80 realisierte bzw. in der Umsetzung befindliche Projekte mit kalter Nahwärme in Deutschland (Stand: September 2022, Quelle: www.npro.energy).

Eigenschaften kalter Nahwärmenetze

Die wichtigsten technischen Eigenschaften kalter Nahwärmenetze werden im Folgenden erläutert. Die Angaben entstammen überwiegend aus der Studie der RWTH Aachen [1].

Wärmequellen

Für kalte Nahwärmenetze steht aufgrund der geringen Temperaturanforderungen eine **Vielzahl unterschiedlicher Wärmequellen** zur Verfügung. Welche Wärmequellen in einem Quartier erschlossen werden, hängt sehr stark von den lokalen Gegebenheiten ab. In der Studie zu den 53 kalten Nahwärmenetzen wurden insgesamt **16 unterschiedliche Arten von Wärmequellen** identifiziert, siehe Abbildung 3. Die am häufigsten erschlossene Wärmequelle ist das **Erdreich**. Bei der Art der geothermischen Nutzung kann hierbei zwischen **horizontal verlegten Kollektoren** und **vertikal in den Boden eingebrachten Geothermiesonden** unterschieden werden. Die häufigste Wärmequelle sind horizontal verlegte Geothermie-Kollektoren, welche in insgesamt 23 von 53 Quartieren genutzt werden. Geothermie-Sonden sind die zweithäufigste Quelle mit 17 installierten Systemen. Eine weitere überall verfügbare Wärmequelle ist die **Außenluft**. Die Außenluft wird in 9 Quartieren als Wärmequelle erschlossen und entweder direkt über einen (Luft-Wasser-)Wärmeübertrager oder indirekt über eine Luftwärmepumpe genutzt. Weitere regenerative Wärmequellen für kalte Nahwärmenetze sind **Abwärme, Abwasserwärme** sowie **Brunnen- und Grundwasser**. In 4 Quartieren kommen **Eisspeicher** zum Einsatz. Solarthermie kommt vor allem in hybriden Netzen (4./5. Generation) zum Einsatz, da die erzeugten Temperaturen von über 60 °C in der Regel zu hoch sind für die effiziente Speisung eines kalten Nahwärmenetzes. Als Back-up oder zur Spitzenlastdeckung werden in einigen Systemen konventionelle Verbrennungstechnologien eingesetzt, wie beispielsweise Kessel oder Blockheizkraftwerke (BHKW). Die kumulierte Wärmeerzeuger-Kapazität aller Wärmequellen reicht bei den 53 ausgewerteten Quartieren von 50 kW (Achern) bis 43 MW (Berlin-Tegel).

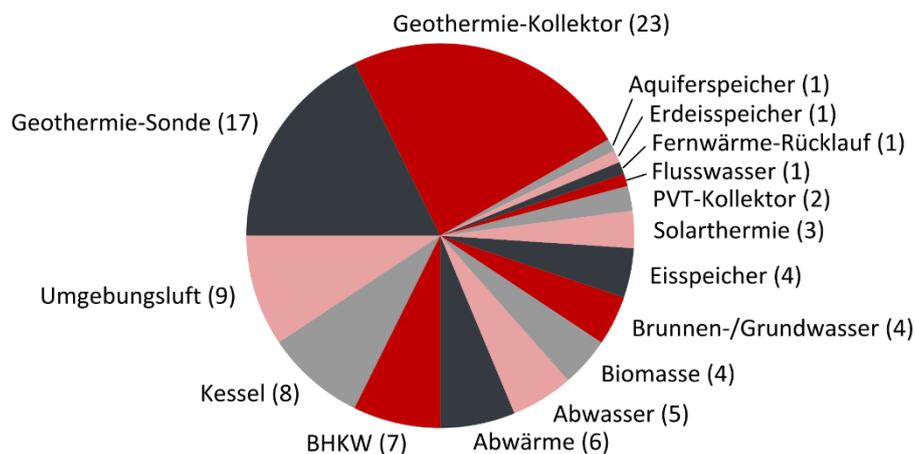


Abbildung 3: Wärmequellen von 53 kalten Nahwärmenetzen, Daten entnommen aus [1].

Netztemperaturen

Die Netztemperatur kalter Nahwärmenetze bewegt sich in den meisten Fällen **zwischen -5 und 20 °C**. In der Studie [1] wurden 7 der 53 Netze als hybride Netztypen identifiziert. Diese hybriden Netze werden saisonal unterschiedlich betrieben: Im Sommer werden sie auf geringerem Temperaturniveau betrieben, um Wärmeverluste zu verringern (Betrieb als kaltes Nahwärmenetz). Im Winter ist die

Netztemperatur höher, um Raumwärme direkt bereitzustellen (konventioneller Wärmenetzbetrieb). Kalte Nahwärmenetze mit höheren Temperaturen als 20 °C nutzen häufig industrielle Abwärme, welche auf einem höheren Temperaturniveau vorliegt. Der Temperaturhub durch die dezentralen Wasser-Wasser-Wärmepumpen fällt bei höherer Netztemperatur geringer aus und die Effizienz der Wärmepumpen steigt.

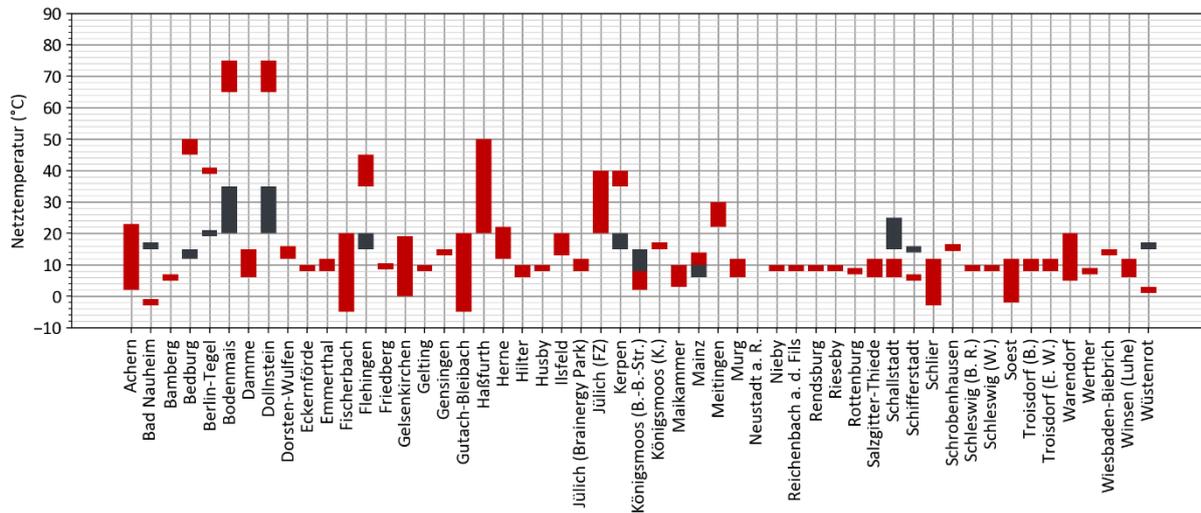


Abbildung 4: Netztemperaturen von 53 kalten Nahwärmenetzen, Daten entnommen aus [1]. In grau dargestellt sind die Betriebstemperaturen im Sommer (wenn saisonal unterschiedliche Betriebsmodi vorliegen).

Rohrtypen

Ungedämmte Plastikrohre kommen bei 42 der 53 Netze zum Einsatz. Hybride Netzformen (4./5. Generation) nutzen gedämmte Rohre, da sonst die Verluste im Winter zu hoch werden. In einigen Wärmenetzen werden sowohl ungedämmte als auch gedämmte Rohre eingesetzt. Dies kann beispielsweise sinnvoll sein, um Wärmeeinträge in den kalten Leiter zu vermeiden oder Wärmeverluste des warmen Leiters zu minimieren.

Netzlänge

32 der 53 kalten Nahwärmenetze (60 %) weisen eine **Netzlänge von weniger als 2 km** auf. Das kleinste in der Studie erfasste kalte Nahwärmenetz verfügt über eine Länge von 150 m und versorgt 4 Gebäude. Das längste Wärmenetz ist das für das Berlin-Tegel-Areal geplante kalte Nahwärmenetz mit einer Länge von 12,5 km.

Anteil Neubaufäche

Die überwiegende Anzahl von kalten Nahwärmenetzen wird in **reinen Neubauquartieren** errichtet (43 von 53 Netze). Lediglich in 10 Quartieren werden **auch Bestandgebäude** versorgt.

Kälteversorgung

Ein zentraler Vorteil kalter Nahwärme ist, dass die Netze im Winter Wärme bereitstellen und im Sommer mit der gleichen Netzinfrastruktur Kälte zur Raumklimatisierung bereitstellen können. Ob ein kaltes Netz zur Kühlung genutzt werden kann, hängt im Einzelfall von den Netztemperaturen sowie den Vorlauftemperaturen des Kühlsystems in den Gebäuden ab. In der Erhebung wird in **39 der 53 Quartiere** über das kalte Nahwärmenetz auch Kälte für die angeschlossenen Gebäude bereitgestellt. Ein Vorteil der Kälteversorgung durch ein kaltes Nahwärmenetz ist, dass die Abwärme aus der Kältebereitstellung wiederum zur Wärmebedarfsdeckung in anderen Gebäuden genutzt werden kann, z. B. zur Trinkwarmwasser-Erwärmung mit Hilfe der dezentralen Wärmepumpen (**Bedarfsausgleich von Wärme- und Kältebedarfen** in kalten Nahwärmenetzen) [5].

Primärenergiefaktoren (PEF)

Typische Primärenergiefaktoren (berechnet nach AGFW - FW309 Teil 1) für kalte Nahwärmenetze bewegen sich **zwischen 0,4 und 0,5**. Dieser Bereich resultiert unmittelbar aus dem aktuell gültigen PEF für Strombezug sowie den üblicherweise zu erwartenden Leistungszahlen für die dezentralen Wärmepumpen von ca. 4. In der Studie [1] werden folgende PEF beispielhaft aufgelistet: Hilter (0,46), Rottenburg, (0,42), Neustadt am Rübenberge (0,45), Salzgitter-Thiede (0,45), Soest (0,44), Warendorf (0,47) und Winsen/Luhe (0,45).

Anschlusszwang

Eine wichtige politische Entscheidung bei der Planung eines Quartiers ist, ob ein Anschlusszwang verordnet wird oder nicht. Aus energetischer Perspektive ist ein Anschlusszwang sinnvoll, da das Netz effizienter und wirtschaftlicher betrieben werden kann, wenn eine hohe Anzahl an Gebäuden versorgt wird. Die Durchsetzung eines Anschlusszwangs ist jedoch in einigen Fällen politisch nicht gewollt. In der Studie wird **in 27 Quartieren ein Anschlusszwang** durchgesetzt, in 22 Quartieren nicht.

Besitzverhältnisse der Wärmepumpen und Preismodelle

Die bislang verwendeten Preismodelle für kalte Nahwärmenetze sind von den Netzbetreibern sehr unterschiedlich ausgestaltet worden. Grundsätzlich befinden sich in vielen Fällen die **dezentralen Gebäude-Wärmepumpen** aufgrund der bisherigen Förderbestimmungen **im Besitz des Wärmenetzbetreibers**. Nach 10 Betriebsjahren gehen diese dann oftmals in das Eigentum des Gebäudebesitzers über. In 29 der 53 Quartiere sind die dezentralen Wärmepumpen im Eigentum des Netzbetreibers. In 18 Quartieren gehören die Wärmepumpen dem Gebäudebesitzer. Ein weiterer wichtiger Freiheitsgrad bei der Erstellung des Preismodells ist die **Abrechnungsgrenze** für die Wärmelieferung. Diese kann grundsätzlich vor (netzseitig) oder hinter (gebäudeseitig) der Wärmepumpe angesetzt werden. In 34 der 53 Quartiere wird die Wärme am Kondensator der Wärmepumpe, also hinter der Wärmepumpe (gebäudeseitig) gemessen und abgerechnet. Das häufigste **Preismodell** ist dabei eine jährliche Grundgebühr (€/Jahr) und ein Arbeitspreis (€/kWh). Dieses Preismodell wird in 30 Quartieren angewendet. In 8 Quartieren findet zudem ein Flat-Rate-Modell Anwendung, bei dem die Wärmemenge nicht abgerechnet wird. In anderen Preismodellen wird auch die installierte Leistung der Wärmepumpe bzw. die abgerufene Wärmeleistung bepreist (Leistungspreis). Bei der **Abrechnung der Kälteversorgung** sind in 11 Quartieren keine zusätzlichen Kosten für die Kältebereitstellung vorgesehen. In 8 Quartieren wird lediglich eine jährliche

Grundgebühr erhoben. In weiteren 8 Quartieren wird die gelieferte Kältemenge gemessen und abgerechnet.

Politische Hemmnisse

Bei der Entwicklung und Planung von Quartieren mit kaltem Nahwärmenetz bestehen einige politische Hemmnisse: Eines der wichtigsten Hemmnisse betrifft die ungenügende Regelung von erlaubten Wärmeträgermedien für das Wärmenetz. In vielen Fällen wird für kalte Nahwärmenetze ein **Wasser-Glykol-Gemisch** verwendet. Dieses fällt jedoch unter die **Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1)**. Biologisch unschädliche Alternativen wie Bioethanol fallen ebenfalls unter die WGK 1. In der Folge werden in einigen Kommunen projektspezifische Auflagen für kalte Wärmenetze erlassen, wie beispielsweise doppel-wandige Rohrleitungen. Diese reduzieren jedoch die Effizienz kalter Wärmenetze erheblich, da die Wärmegewinne aus dem Erdboden stark reduziert werden. Ein weiteres Hemmnis tritt bei der **Eigennutzung von Photovoltaik-Strom** für die dezentralen Wärmepumpen auf. Aus energetischer Sicht ist es am besten, den im Gebäude erzeugten Photovoltaik-Strom direkt für die dezentralen Wasser-Wasser-Wärmepumpen zu nutzen. Die Umsetzung gestaltet sich jedoch aufgrund der Regulatorik als komplex und sollte zukünftig vereinfacht werden. Hemmnisse bestehen auch bei der Nutzung von Geothermie-Sonden, vor allem wenn diese eine Tiefe von 100 m überschreiten. In diesem Fall finden die komplexen **Regularien des Bergrechts** Anwendung. Ein letztes häufig genanntes Hemmnis sind die **langen Bewilligungsprozesse** für die staatlichen Förderprogramme.

Über nPro

*nPro Energy ist ein Start-up, welches sich auf die Entwicklung von **Softwaretools für die Gebäude- und Quartiersplanung** spezialisiert hat. Die webbasierte nPro-Software wurde entwickelt, um die frühe Planungs- und Konzeptphase für Quartiers- und Gebäudeenergiesysteme zu vereinfachen. Die Software vereinfacht die Erstellung von Lastprofilen für Wärme, Kälte und Strom, die Berechnung von kalten Nahwärmenetzen, konventionellen Wärmenetzen sowie die Auslegung von Energiezentralen. Die Software steht unter www.npro.energy zur Verfügung.*



References

- [1] M. Wirtz, T. Schreiber, D. Müller: Survey of 53 5th Generation District Heating and Cooling (5GDHC) Networks in Germany, *Energy Technology*, 2022. <https://doi.org/10.1002/ente.202200749>
- [2] S. Buffa, M. Cozzini, M. D'Antoni, M. Baratieri, R. Fedrizzi: 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 504-522, 104, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059>
- [3] H. Lund, P. A. Østergaard, T. B. Nielsen, S. Werner, J. E. Thorsen, O. Gudmundsson, A. Arabkoohsar, B. V. Mathiesen, *Perspectives on fourth and fifth generation district heating*, *Energy*, 120520, 227, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120520>
- [4] M. Sulzer, S. Werner, S. Mennel, M. Wetter, *Vocabulary for the fourth generation of district heating and cooling*, *Smart Energy*, 100003, 1, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100003>
- [5] M. Wirtz, L. Kivilip, P. Remmen, D. Müller, *Quantifying Demand Balancing in Bidirectional Low Temperature Networks*, *Energy and Buildings*, 110245, 224, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110245>

