



Themenkurzprofil Nr. 75
November 2024

Integrierte kommunale Wärme- und Kälteerzeugung

Tobias Hungerland

In Kürze

Der Gebäudesektor in Deutschland ist weit davon entfernt, das Dekarbonisierungsziel mit Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 zu erreichen. Während durch das Wärmeplanungsgesetz und das Gebäudeenergiegesetz wichtige rechtliche Rahmenbedingungen für eine treibhausgasneutrale Gestaltung der Wärmeversorgung geschaffen wurden, findet eine vergleichbare Berücksichtigung der Bereitstellung von Kühlung bislang nicht statt. Angesichts des voranschreitenden Klimawandels dürfte künftig die Bedeutung von Kälteerzeugung deutlich zunehmen: Das gilt sowohl im Kontext einer Vermeidung von Treibhausgasemissionen als auch des Umgangs mit steigenden Temperaturen insbesondere in städtischen Ballungsgebieten.

Fernwärmenetze, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, sind ein Baustein der Wärme wende. Ihr Ausbau kann dazu beitragen, Gebäude und Stadtteile über eine zentrale Quelle mit Wärme zu versorgen, und so vorhandene individuelle

Heizungen ersetzen. In ähnlicher Weise können Fernkältenetze mit zentralen Anlagen für die Kältebereitstellung Gebäude bei hohen Temperaturen kühlen. Die Integration von Fernkälte- und Fernwärmenetzen kann dazu beitragen, vorhandene Synergiepotenziale, wie beispielsweise die Verwendung von Abwärme zur Kälteerzeugung, zu nutzen.

In der öffentlichen Diskussion ist vorrangig die kommunale Wärmeplanung Gegenstand der Debatte, nicht aber eine vergleichbare Kälteplanung. Dabei gibt es in Deutschland bereits Ansätze, Fernkälte- und Fernwärmenetze zu integrieren, um z. B. Gebäude im Sommer wie im Winter angemessen temperieren zu können. Eine rechtzeitige politische Weichenstellung kann dabei helfen, mittelfristig Investitionsbedarfe an die Klimaanpassung zu senken und eine effiziente Energienutzung zu ermöglichen.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Auswirkungen der Kälte- und Wärmeerzeugung in Deutschland
 Der Gebäudesektor¹ in Deutschland hat 2023 schätzungsweise 102 Mio. t CO₂-Äquivalente an Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) ausgestoßen. Damit liegt er im Vergleich mit den anderen vier Sektoren Energiewirtschaft (205 Mio. t), Industrie (155 Mio. t), Verkehr (146 Mio. t) und Landwirtschaft (60 Mio. t) auf dem vierten Platz. Ein erheblicher Teil (78 Mio. t CO₂-Äquivalente) wird durch Privatgebäude² verursacht. Obwohl für den Gebäudesektor ein Rückgang der Emissionen um rund 28 Mio. t seit 2010 festgestellt werden kann, droht der Sektor das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu verfeheln (UBA 2024b). Um das Ziel zu erreichen, müssten aktuellen Prognosen zufolge im Zeitraum von 2021 bis 2030 die Emissionen um weitere 33 Mio. t CO₂-Äquivalente gemindert werden, also jährlich um rund 3,3 Mio. t (Expertenrat für Klimafragen 2024, S. 46; Wehnemann/Schultz 2024, S. 14 f.).

Nicht nur das Beheizen von Gebäuden im Winter, sondern auch die Kühlung im Sommer verursachen THG-Emissionen. Rund drei Viertel der Emissionen im Gebäudesektor entstehen durch das Heizen (UBA 2023). In Deutschland werden rund 78 % der Heizungen (insgesamt 24,9 Mio. Einheiten) mit fossilen Energieträgern betrieben: 14,3 Mio. Gas-, 5,1 Mio. Öl- und 84.000 Kohleheizungen waren 2022 in Betrieb (BDEW 2023, S. 10 ff.; dena 2023, S. 27). Die dafür eingesetzte Energie macht rund 67 % des gesamten Energieverbrauchs privater Haushalte aus. Für Kühlung wird dagegen mit ca. 0,2 % deutlich weniger Energie verwendet (dena 2023, S. 60; UBA 2024a). Klimaanlagen sind im gewerblichen Bereich weiter verbreitet (ca. 50 % aller Gebäude) als im Wohngebäudebereich (schätzungsweise 6 %).³ Indirekte THG-Emissionen durch Kälteerzeugung entstehen, wenn der zum Betrieb von Klimaanlagen erforderliche Strom aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. Direkte Emissionen können durch die unbeabsichtigte Freisetzung genutzter Kältemittel, wie z. B. teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) oder Propan, entstehen. Allein 2021 verursachten freigesetzte HFKW in Deutschland ca. 1,34 Mio. t CO₂-Äquivalente an Emissionen (UBA 2024c).

Eine Wärmewende zur Dekarbonisierung Deutschlands

Um Deutschland bis 2045 klimaneutral zu gestalten, wird eine Vielzahl von Maßnahmen⁴ notwendig. Eine wichtige Rolle

kommt dabei der Energiewende zu, also der Reduktion des Verbrauchs fossiler Brennstoffe in den Bereichen Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung. Die schrittweise klimaneutrale Gestaltung der Wärmeerzeugung wird als Wärmewende bezeichnet. Durch den Einsatz erneuerbarer Energien und die Erhöhung der Energieeffizienz sollen die THG-Emissionen im Gebäudesektor in den nächsten 20 Jahren auf null gesenkt werden (WD 2023b).

Obwohl der Gebäudesektor nicht derjenige mit den höchsten Emissionen ist, ist die vollständige Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung ein wichtiger Baustein, da ein Großteil der THG-Emissionen durch das Heizen verursacht wird. Im Vergleich dazu stellen die durch Klimaanlagen verursachten Emissionen nur einen kleinen Bruchteil der THG-Emissionen des Gebäudesektors dar. Dennoch sollte die frühzeitige Berücksichtigung der klimaneutralen Kälteerzeugung im Rahmen der Wärmewende eine Maßnahme für das Erreichen der deutschen Klimaziele sein. Bislang werden rund 16,2 % der Energie für den Wärmesektor aus erneuerbaren Quellen gewonnen. Da der Wärmesektor einschließlich Prozesswärme der Industrie über die Hälfte des deutschlandweiten Endenergieverbrauchs ausmacht und für ca. 40 % der CO₂-Emissionen verantwortlich ist, sind bis zur Zielerreichung (Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien bis 2030 auf 50 %) noch erhebliche Anstrengungen erforderlich. Neben der Gebäudesanierung, dem Ausbau von Wärmepumpen sowie der Nutzung von Abwärme spielen die kommunale Wärmeplanung und der Ausbau von Fernwärmennetzen eine entscheidende Rolle (WD 2023b).

Fernwärmennetze als Teil der Wärmewende

Die Wärmewende wird auf verschiedenen Ebenen vorangetrieben: Vom Einzelgebäude über Quartierslösungen bis hin zu ganzen Kommunen kommen zahlreiche Technologien und verschiedene Maßnahmen in Frage. Fernwärmennetze sind dabei ein Teil der möglichen Technologien, die dazu beitragen können, klimaneutral Wärme für Gebäude bereitzustellen.

Fernwärme dient dazu, Industrie, Gewerbe und Haushalte mit Wärme für das Beheizen von Räumen, aber auch mit Warmwasser, zu versorgen (IEA 2023). Die Wärme wird in einer zentralen Anlage unter Nutzung verschiedener Energiequellen erzeugt. Als technische Verfahren bzw. Energiequellen kommen die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), die Verwendung von Biomasse, Geothermie oder Abwärme in Frage. Über ein üblicherweise in der Erde verlegtes Verteilungsnetz mit isolierten Rohrleitungen gelangt die erzeugte Wärme zu den Endverbraucher/innen. Dabei kann es sich um mehrere Gebäude bzw. ganze Quartiere handeln. Wärmeübergabestationen leiten die Wärme an die jeweiligen Heizungsanlagen der Nutzer/innen weiter. Um eine bedarfsgerechte Steuerung zu ermöglichen sowie die Effizienz zu erhöhen, wird moderne Regelungstechnik einge-

1 Der Gebäudesektor wird unterteilt in Gewerbe-, Wohn- und Militärgebäude.

2 Gewerbe, Handel, Dienstleistung verursachten 2023 ca. 23 Mio. t, das Militär ca. 800.000 t CO₂-Äquivalente.

3 Andere Quellen gehen von höheren Zahlen (zwischen 12 % und 16 %) aus und konstatieren einen zunehmenden Trend zum Einsatz von Klimaanlagen in Wohngebäuden (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserversorgung e. V. 2023, S. 14).

4 Für den Gebäudesektor sind dabei insbesondere die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und das Gebäudeenergiegesetz (GEG) wirksame Instrumente (Wehnemann/Schultz 2024, S. 15).

setzt (Nguyen/Hakenes o. J.). Fernwärmenetze können flexibel verschiedene Wärmequellen integrieren, sodass auf unterschiedliche Lastprofile und saisonale Schwankungen reagiert werden kann. Für die Einrichtung von Fernwärmenetzen sind allerdings langfristige Planungen und erhebliche Anfangsinvestitionen erforderlich, um sie über längere Zeiträume wirtschaftlich betreiben zu können.

Bislang wird Fernwärme zu beinahe zwei Dritteln aus den fossilen Energieträgern Erdgas und Kohle erzeugt, rund 15 % aller Wohnungen in Deutschland werden mit ihr versorgt (BMWK/ BMWSB 2023; Nguyen/Hakenes o. J.). Gesetzliche Rahmenbedingungen sollen dazu beitragen, Fernwärmenetze künftig klimaneutral zu gestalten, also insbesondere vermehrt erneuerbare Energien und Abwärme zur Wärmeerzeugung zu nutzen sowie die Netzeffizienz zu steigern. Fernwärme soll anstelle von Einzellösungen, z. B. Gas- und Ölheizungen, vor allem in Ballungsgebieten eine effizientere Wärmeversorgung ermöglichen und beispielsweise durch Integration von Wärmespeichern die Nutzung erneuerbarer Energiequellen erleichtern.

Kälteerzeugung als künftige Herausforderung

Das Kühlen bzw. die Klimatisierung von Gebäuden im Sommer war bislang noch nicht in dem Maße erforderlich, wie es aufgrund des voranschreitenden Klimawandels künftig sein wird (TAB 2023, S. 76 f.). Bislang hat der Klimawandel dazu geführt, dass die mittlere Temperatur in Deutschland sich bereits um 2 °C – verglichen mit dem vorindustriellen Zeithalter – erhöht hat (Helmholtz Klima Initiative o. J.; UBA 2024d). Die Folgen davon sind heißere Sommer und mehr Extremwetterereignisse, wie Hitzewellen, Starkregen und Überflutungen. Es wird prognostiziert, dass der Kühlbedarf steigen wird, da die Anzahl der

heißen Tage und Tropennächte in Deutschland zunimmt und sich die Sommerperiode auf April bis Oktober ausdehnt (Hutter et al. 2023, S. 50 ff.).

Höhere Temperaturen bzw. Hitze im Sommer führen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen vulnerabler Gruppen (TAB 2023, S. 77 ff.). Insbesondere für städtische Umgebungen ist daher ein zunehmender Bedarf an Kühl- und Klimaanlagen festzustellen, da diese unter dem Hitzeinseleffekt leiden, also durchschnittlich wärmer sind als ihr Umland und mehr Menschen betroffen sind (TAB 2023, S. 18 f. u. 55 f.). Dieser Bedarf bringt wiederum Herausforderungen mit sich: Zum einen ist mit einem steigenden Energiebedarf bzw. Stromverbrauch zu rechnen (Yoksoulian 2024). Zum anderen erzeugen Klimaanlagen Abwärme, die den Hitzeinseleffekt verstärken und durchschnittliche Temperaturen um bis zu 2 °C erhöhen können (ES-MAP 2020, S. 13; Jin et al. 2020; Santamouris 2014). Dadurch steigt wiederum der Bedarf an Kühlung und eine Rückkopplungsschleife mit negativen Folgen entsteht. Weltweit könnten 2050 ca. 5,6 Mrd. Klimaanlagen genutzt werden, die zusammen einen Stromverbrauch haben, wie ihn derzeit die gesamte chinesische Volkswirtschaft aufweist (IEA 2018).

Als ein Lösungsansatz werden vermehrt Fernkältenetze in urbanen Ballungsgebieten eingerichtet, um den Kühlbedarf mehrerer Gebäude zentral zu decken. Gegenüber einer dezentralen Bereitstellung von Kälte durch zahlreiche einzelne Klimaanlagen soll eine zentrale Bereitstellung von Kälte emissionsärmer sowie effizienter möglich sein (Sustainable Energy for All 2018, S. 9). Fernkältenetze funktionieren nach ähnlichen Prinzipien wie Fernwärmenetze: In zentralen Anlagen wird Kälte erzeugt, die dann an Endverbraucher in Industrie, Gewerbe



und Haushalten über ein Rohrleitungsnetz (Vorlauftemperatur zwischen 4 und 6 °C) weitergeleitet wird (Sustainable Energy for All 2018, S. 8 f.). Für die Kälteerzeugung kommen grundsätzlich zwei unterschiedliche Prinzipien infrage: die Nutzung vorhandener Kälte, z. B. Wasser aus Seen oder Flüssen, oder die Umwandlung von Wärme in Kälte mittels Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen (Bettzieche 2020). Letztgenanntes Prinzip weist bereits auf bestehende Synergiepotenziale zwischen der Wärme- und der Kälteerzeugung hin, die eine Integration in Fernwärmesysteme sowie die Nutzung von Abwärme möglich machen. Die Nutzung natürlicher Wasserquellen, wie See- und Flusswasser (auch aus unterirdisch verlaufenden Wasserläufen bzw. Grundwasser), oder künstlicher Wasserquellen, wie Wasserreservoirs, Abwasserleitungen oder Rückhaltebecken, kann je nach Bedingungen (Erreichbarkeit, Temperatur, Durchflussmengen etc.) eine sinnvolle Lösung sein. Grundwasser hat beispielsweise über das Jahr gesehen eine relativ konstante Temperatur, während die Temperatur von Oberflächenwasser stärker schwankt. Unter bestimmten Umständen muss Wasser also zunächst gekühlt werden (Pellegrini/Bianchini 2018, S. 4 f.), ehe es für die Gebäudekühlung eingesetzt werden kann.

Ein häufig genanntes Beispiel für ein umfangreiches Fernkältenetz ist das der Stadt München (Stadtwerke München GmbH 2024). Dort wird u. a. Wärme aus Geothermie und KWK genutzt, um Kälte zu erzeugen. Auch Grundwasser bzw. unterirdisch verlaufende Flussläufe werden zur Kälteerzeugung genutzt. Über ein mittlerweile 28 km langes Leitungssystem werden rund 120 Gebäude im Sommer gekühlt. Zwar gehen der Auf- und Ausbau eines Fernkältenetzes mit erheblichen Investitionen einher – rund 80 Mio. Euro investierte die Stadt München bislang –, jedoch stehen dem nicht nur ein reduzierter Stromverbrauch im Vergleich mit dezentralen Klimaanlagen (rund 70 %), sondern auch geringere laufende Kosten sowie langfristige Emissionseinsparungen gegenüber. Ein weiterer Ausbau wird vorangetrieben (Neff 2022; Trümper 2022).

Kombinierte Wärme- und Kältenetze sind ein relativ neues Thema

Obwohl sowohl Fernwärme- als auch Fernkältenetze bereits in den 1880er Jahren etabliert wurden und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt worden sind (TAB 2023, S. 63 f.; Zeh et al. 2021, S. 2 f.), ist die Kombination solcher Netze ein relativ neues Thema (Pellegrini/Bianchini 2018). Ein deutlicher Zuwachs von geplanten bzw. betriebenen Netzwerken ist seit 2018 zu verzeichnen (Wirtz et al. 2022, S. 4 f.). Nicht zuletzt die an Dynamik gewinnende (politische) Diskussion über die Notwendigkeit einer Wärmewende und die dafür erforderlichen Rahmenbedingungen und Maßnahmen, sondern auch verschärfte

Richtlinien auf EU-Ebene (u. a. Richtlinie (EU) 2018/2001⁵) (TAB 2023, S. 47), dürften dazu geführt haben, dass eine verstärkte theoretische und praktische Auseinandersetzung mit kombinierten Wärme- und Kältenetzen stattfindet (Buffa et al. 2019).

Auf europäischer Ebene zeigt sich ein sehr differenziertes Bild des Implementierungsstands von kombinierten Wärme- und Kältenetzen, eine uneindeutige Datenlage sowie sehr unterschiedliche regulatorische Rahmenbedingungen auf nationaler und lokaler Ebene (Bacquet et al. 2022), sodass Schlussfolgerungen für die künftige Implementierung nur bedingt möglich sind. Nichtsdestotrotz bietet die EU mit einer Roadmap einen Orientierungsrahmen für die klimaneutrale Gestaltung des Wärme- und Kältesektors (Gerard et al. 2022). Darin findet sich u. a. der Hinweis auf die Notwendigkeit eines koordinierten Vorgehens auf lokaler, kommunaler und nationaler Ebene sowie der ganzheitlichen Betrachtung von Wärme- und Kälteerzeugung (Gerard et al. 2022, S. 7 f.). Die Roadmap soll in Form eines systematischen Überblicks vor allem politische Entscheidungsträger/innen sowie sonstige Stakeholder aus Industrie und Gesellschaft unterstützen.

Technische Umsetzung kombinierter Wärme- und Kältenetze

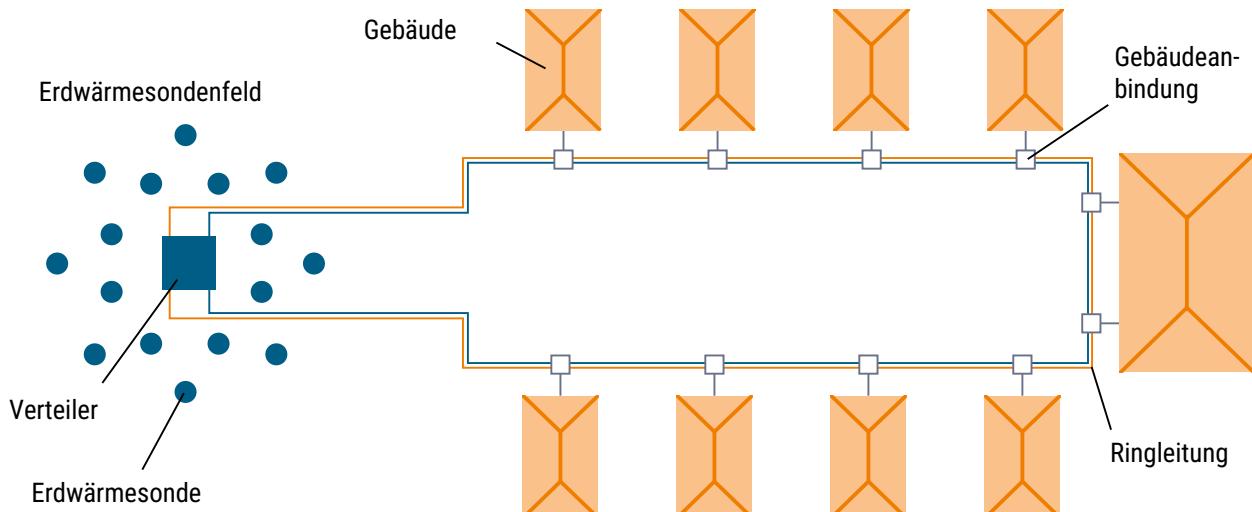
Kombinierte Wärme- und Kältenetze werden mitunter auch als 5. Generation⁶ oder kalte Fernwärmesysteme bezeichnet (5th generation district heating and cooling – 5GDHC; nPro Energy GmbH 2024b; Rueter 2023). Je nach Reichweite kann man Fernkälte- und -wärmesysteme (mit Transportstrecken von mehreren Kilometern) sowie Nahkälte- und -wärmesysteme (mit Distanzen unter einem Kilometer) unterscheiden; eine trennscharfe Grenze zwischen beiden Anwendungsfällen existiert jedoch nicht (Buffa et al. 2019, S. 507; nPro Energy GmbH 2024a).

Kalte Fernwärmesysteme sind dadurch charakterisiert, dass sie bei einem vergleichsweise niedrigen Temperaturniveau zwischen -5 und 20 °C betrieben werden und nicht direkt zum Heizen genutzt werden können (Buffa et al. 2019, S. 506; Wirtz et al. 2022, S. 1 u. 3). Dafür sind Wasser-Wasser-Wärmepumpen erforderlich, die das Temperaturniveau des Wärmeträgers auf die im Gebäude benötigte Vorlauftemperatur anheben und sowohl Wärme als auch Kälte für Endverbraucher/innen bereitstellen können (TAB 2023, S. 71; Wirtz 2023, S. 2).

5 Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung)

6 Die Generationen 1 bis 4 bezeichnen unterschiedliche Entwicklungsstadien von zunächst Wärmenetzen: Generation 1 waren Dampfleitungen zum Beheizen kleinerer Nachbarschaften, Generation 2 waren dann unter Druck stehende Heißwasserleitungen, die Generationen 3 und 4 sind durch besser isolierte und mit niedrigeren Temperaturen betriebene Netze gekennzeichnet (Zeh et al. 2021, S. 2 f.).

Abbildung 1 Modellhaftes Schaltbild eines kalten Nahwärmenetzes



Quelle: nach Giel (2021, S. 5)

Über ein thermisches Netz mit zwei unterirdisch verlegten Rohrleitungen kann sowohl Wärme als auch Kälte bedarfsgerecht bereitgestellt werden (Abb. 1). Der Wärmeträger ist nicht mehr Wasser oder Sole, sondern kann ein Frostschutzmittel sein (Zeh et al. 2021, S. 2 f.). Die Rohrleitungen können aus Kunststoff bestehen und müssen nicht zusätzlich isoliert sein, weil das Temperaturgefälle zwischen Umgebung und Kältemittel gering ist und kaum Wärmeverluste zu erwarten sind (Buffa et al. 2019, S. 506).

Die integrierte Erzeugung und Bereitstellung von Wärme und Kälte weist eine Reihe von charakteristischen Merkmalen auf (Abb. 2). Das grundlegende Prinzip ist das eines Wärmetauschers bzw. einer Absorptionskältemaschine, in der ein Verdampfer, ein Absorber, ein Generator und ein Verflüssiger einen Kreislauf bilden. Ein Kältemittel aus dem Verflüssiger verdampft und entzieht dem Leitungssystem Energie, wodurch Wasser abkühlt und zur Gebäudekühlung genutzt werden kann. Mittels eines Absorptionsmittels wird der Wasserdampf gebunden und gekühlt. Anschließend wird das Absorptionsmittel in den Generator geleitet und dort durch Fernwärme vom Wasser getrennt. Der Wasserdampf gelangt in den Verflüssiger, das Absorptionsmittel in den Absorber. Im Verflüssiger kondensiert der Dampf an den Kühleinheiten, wird gesammelt und ist wieder für die Kälteerzeugung nutzbar (Drzimalla 2022).

Die für den Prozess benötigte Energie kann auf unterschiedliche Weise erzeugt werden. Neben Abwärme aus Industrieprozessen oder Rechenzentren, die in das Wärmenetz eingespeist oder zur Erzeugung von Kälte mittels Kältemaschinen oder Adsorptionskälteanlagen genutzt werden kann, kommt Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zum Einsatz. Aus erneuerbaren Energiequellen, wie Solarthermie, Geothermie und Biomasse,

kann auf nachhaltige Weise Wärme und Kälte erzeugt werden (Giovannetti et al. 2021).

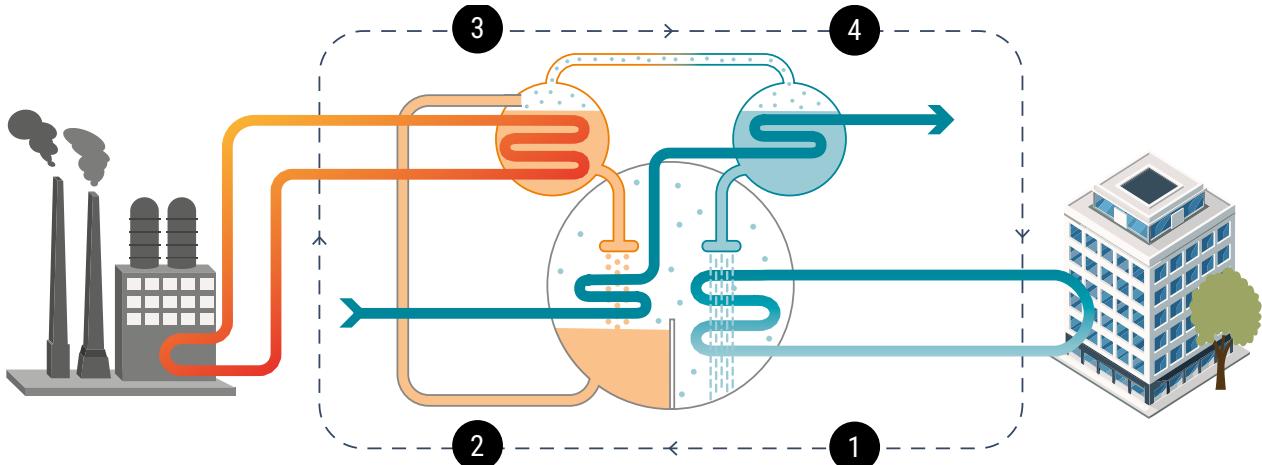
Eine weiteres Merkmal ist die Flexibilisierung der Versorgung, um auf unterschiedliche Nachfragesituationen reagieren zu können. Hierfür sind Wärmespeicher Bestandteil von Wärme- und Kältenetzen. Mittels intelligenter Netzsteuerungssysteme kann eine effiziente Verteilung der Wärme und Kälte sichergestellt werden. Um die Erzeugung von Wärme und Kälte an den Bedarf anzupassen, werden Lastmanagementstrategien implementiert. Natürliche Kältemittel, wie Ammoniak, Kohlenwasserstoffe (Propan, Butan) oder Wasser, zusammen mit innovativen Kühltechnologien, beispielsweise Festkörperkühlsysteme (TAB 2023, S. 72 f.), können genutzt werden, um den ökologischen Fußabdruck weiter zu reduzieren.

Die wesentlichen Schlüsselakteure zur Einrichtung und zum Betrieb kombinierter Wärme- und Kältenetze sind die Kommunen, die lokalen Energieversorger und die Abnehmer, also Gewerbetreibende, Träger öffentlicher Einrichtungen sowie Eigentümer/innen von Wohngebäuden (Buffa et al. 2019; Wirtz et al. 2022).

Im Kontext einer klimaneutralen Erzeugung von Wärme und Kälte ist eine Sektorkopplung mit der Stromerzeugung möglich. Durch im Netz integrierte Wärmespeicher kann überschüssige Energie genutzt und eine Abregelung – z. B. von Windkraftanlagen⁷ – vermieden bzw. saisonale Schwankungen ausgeglichen werden (Buffa et al. 2019, S. 506). Auch die Nutzung von überschüssiger Wärme, z. B. aus industriellen

⁷ Ein Beispiel für eine derartige Sektorkopplung bietet das Fernkältenetz der Stadt Hamburg (Hamburger Energiewerke GmbH 2024).

Abbildung 2 Prinzip einer integrierten Erzeugung und Bereitstellung von Wärme und Kälte



Quelle: nach Drzimalla (2022)

Prozessen oder Rechenzentren, trägt dazu bei, die Wärme- und Kälteversorgung effizient zu gestalten (Edtmayer et al. 2021).

Beispiele für eine integrierte kommunale Kälte- und Wärmeversorgung

In Deutschland finden sich bereits zahlreiche Beispiele für Wärme-Kälte-Netzwerke der 5. Generation. In einer Übersichtsstudie wurden insgesamt 53 solcher Netzwerke⁸ identifiziert und analysiert (Wirtz et al. 2022). Gemeinsam ist einem Großteil der Netzwerke, dass sie in Neubaugebieten realisiert wurden bzw. geplant sind. 40 der analysierten Netzwerke nutzen Geothermie als Wärmequelle, wobei in 23 Fällen oberflächennahe⁹ Geothermiekollektoren und in 17 Fällen tiefe¹⁰ Geothermiesonden eingesetzt werden (Wirtz et al. 2022, S. 3). Es finden sich auch Beispiele, in denen Abwärme genutzt wird, so z. B. in Jülich und Herne (Wirtz et al. 2022, S. 3).

Ein Beispiel für ein in Planung befindliches Netz bietet das Areal der Urban Tech Republic und des Schumacher Quartiers in Berlin-Tegel. Hier soll mit 12,5 km Länge das bislang größte Netzwerk in Deutschland entstehen, wobei nicht nur Neubauten an das Netz angeschlossen werden, sondern auch ca. 10 % Bestandsgebäude. Mit 43 MW würde das Netz die größte installierte Leistung aller integrierten Wärme-Kälte-Netze in Deutschland bieten. Als Wärmequellen sollen u. a. Geothermie, Seewasser, Abwasser, Abwärme aus industriellen Prozessen sowie Biomasse genutzt werden (Wirtz et al. 2022, S. 3 ff.). Damit einhergehend soll eine Art von Marktplatz als Geschäftsmodell etabliert werden, bei dem gewerbliche Verbraucher/

innen überschüssige Wärme, z. B. aus industriellen Prozessen, an andere Verbraucher/innen verkaufen können (Tegel Projekt GmbH o. J.).

Auch im europäischen Ausland finden sich zahlreiche Beispiele, wie eine Übersichtsstudie über 40 Anwendungsfälle von Buffa et al. (2019) zeigt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen September 2017 und Januar 2018 waren in der Schweiz und in Deutschland mit jeweils fünfzehn die meisten Netze in Betrieb. Die beiden Länder können somit als Technologieführer angesehen werden (Buffa et al. 2019, S. 509).

Herausforderungen von integrierten Fernkälte- und Fernwärmenetzen

Trotz mehrjähriger Erfahrung mit der Implementierung kombinierter Wärme- und Kältenetze existieren erhebliche Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der zu erwartenden Investitionskosten, des Umgangs mit Umweltrisiken sowie der Versorgung großer Quartiere und der Umrüstung des Gebäudebestands.

Wenn bestehende Fernwärmenetze umgerüstet werden sollen, um künftig auch Kälte bereitstellen zu können, so ist das technisch zwar möglich (Buffa et al. 2019, S. 507), aber mit erheblichen Investitionskosten verbunden (Edtmayer et al. 2021, S. 1; Gudmundsson et al. 2021, S. 4 f.). Insofern bietet es sich an, bei der Planung von Neubaugebieten von Anfang an eine kombinierte Bereitstellung von Wärme und Kälte zu berücksichtigen. Eine Umrüstung des Gebäudebestands sowohl bei einer Umstellung von fossil betriebenen Heiz- und Kühlösungen als auch bei bereits an klimaneutral betriebene Fernwärmenetze angeschlossenen Gebäuden, ist ebenfalls möglich. Allerdings fehlt es hierfür noch an technischen Standards (Buffa et al. 2019, S. 505).

8 Dabei wurden nicht alle Netzwerke in Deutschland erfasst. Insgesamt sind ca. 80 Netzwerke in Betrieb bzw. in Planung (Wirtz 2023, S. 4 f.).

9 Oberflächennahe oder horizontale Geothermie nutzt die gespeicherte Energie der obersten Erdschicht bis 400 m Tiefe.

10 Als tiefe Geothermie wird Energiegewinnung bezeichnet, die unterhalb von 400 m unter dem Erdboden durchgeführt wird.

Beim Betrieb kombinierter Netze besteht eine Herausforderung darin, umweltverträgliche Kältemittel einzusetzen. Bislang werden oft als umweltschädlich eingestufte Wasser-Glykol-Gemische oder Ethanol genutzt. Beim Austritt dieser Kältemittel besteht das konkrete Risiko einer Umweltverschmutzung. Diese potenziellen Umweltrisiken müssen schon im Genehmigungsprozess berücksichtigt werden. Infolgedessen erweisen sich die Genehmigungsprozesse für kombinierte Netze in Deutschland als äußerst aufwendig (Wirtz et al. 2022, S. 9). Sowohl der Genehmigungsprozess als auch der Umgang mit Umweltrisiken im Betrieb können Umsetzungsbarrieren sein.

Da die in Deutschland analysierten Netze vor allem kleine Quartiere bzw. Stadtteile (< 200 Gebäude; Wirtz et al. 2022, S. 6 f.) mit Wärme und Kälte versorgen, fehlen bislang Erfahrungswerte bei der Netzgestaltung zur Versorgung von mehreren tausend Endverbraucher/innen (Wirtz et al. 2022, S. 11). Ohne diese Erfahrungswerte ist die Entwicklung von Umsetzungsstandards herausfordernd.

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Die Etablierung kombinierter Wärme- und Kältenetze im Rahmen der Wärmewende kann aus ökologischer, gesellschaftlicher und politischer Perspektive sinnvoll sein.

Angesichts des voranschreitenden Klimawandels ist die Dekarbonisierung des Gebäudesektors ein wichtiger Baustein der Energiewende. Vor dem Hintergrund steigender Temperaturen nimmt die Bedeutung von Gebäudekühlung im Sommer zu. Fernwärme- und Fernkältenetze können klimaneutral Wärme und Kälte bereitstellen. Ihr Ausbau wird bereits vorangetrieben, die Potenziale einer integrierten Bereitstellung von Wärme und Kälte sind allerdings noch nicht gehoben. Gerade die Nutzung von Abwärme zur Kühlung, der Betrieb mit erneuerbaren Energiequellen und die Vermeidung von direkten THG-Emissionen, die von dezentralen Klimaanlagen verursacht werden, sind ökologisch relevante Aspekte.

Aus gesellschaftlicher Perspektive sind die Aspekte der individuellen Kosten für das Heizen und Kühlen, die Akzeptanz sowie die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels relevant.

Ob eine zentrale Versorgung mit Wärme und Kälte in Anschaffung und Betrieb für Endverbraucher/innen kostengünstiger ist als eine dezentrale Versorgung, lässt sich bislang nicht pauschal beantworten, da zahlreiche Faktoren wie Investitions-, Anschluss-, Energie-, Betriebs- und Wartungskosten etc. eine Rolle bei der Preisgestaltung der lokalen Versorger spielen (Gudmundsson et al. 2021; nPro Energy GmbH 2024c). Anzumerken ist allerdings, dass häufig langfristige Versorgungsver-



träge über 10 Jahre abgeschlossen werden und ein Anbieterwechsel aufgrund der jeweiligen Monopolstellung der lokalen Versorger nur schwer möglich ist (Bacquet et al. 2022, S. 67 ff.; Buffa et al. 2019, S. 516).

Bei der Implementierung neuer Technologien hat sich in der andauernden gesellschaftlichen Debatte über Wärmepumpen gezeigt, wie wichtig Akzeptanz aufseiten der Endverbraucher/innen ist. Eine Einbindung von Nutzer/innen in die Planung und den Betrieb der Systeme kann nicht nur die Akzeptanz, sondern auch die Effizienz erhöhen. Effizienzsteigerungen sind dadurch möglich, dass Nutzer/innen ihren individuellen Bedarf intelligent steuern und Kälte bzw. Wärme bedarfsgerecht bereitgestellt werden können.

Letztlich ist aus gesellschaftlicher Sicht auch die Abmilderung der negativen Folgen des Klimawandels insbesondere durch zunehmende Hitze relevant. Vor allem in städtischen Ballungsgebieten spielt Kühlung in Gebäuden eine besondere Rolle und eine aktive Kühlung ist neben passiven Maßnahmen ein Bestandteil eines ganzheitlichen Ansatzes zum Umgang mit steigenden Temperaturen (TAB 2023, S. 55 ff.). An Hitze angepasste Umgebungen – also u. a. gekühlte Wohn- und Gewerbegebäude – helfen, gesundheitliche Beeinträchtigungen zu reduzieren und Folgekosten für das Gesundheitssystem zu vermeiden (TAB 2023, S. 77 ff.).

Auch aus (wirtschafts)politischer und ordnungsrechtlicher Perspektive handelt es sich bei kombinierten Kälte- und Wärmennetzen um ein relevantes Thema. Ein wirtschaftspolitischer Aspekt ist u. a. die Energiesicherheit, die gewährleistet werden kann, wenn der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energien im Kontext der Wärmewende und insbesondere beim Ausbau kombinierter Wärme- und Kältenetze dazu führt, dass die Abhängigkeit vom Import fossiler Energieträger zurückgeht. Gleichzeitig könnte ein verstärkter Ausbau kombinierter Wärme- und Kältenetze in Deutschland dazu beitragen, die bereits wahrgenommene Technologieführerschaft Deutschlands im europäischen Vergleich weiter zu stärken.

Um Investitionsanreize zu setzen, ist ein (wirtschafts)politischer Rahmen erforderlich, der langfristige Planungssicherheit gewährleistet. Hinzu kommt die Notwendigkeit, bestehende Effizienzpotenziale für einen wirtschaftlicheren Betrieb solcher Netze, verglichen mit der Nutzung fossiler Energieträger oder individueller, dezentraler Lösungen wie Gas- und Ölheizungen sowie Raumklimaanlagen, herauszuarbeiten und verfügbar zu machen.

Allerdings zeigt sich, dass der Markt für die Versorgung von Wärme und Kälte lokal oftmals von nur einem Versorger bedient wird. Durch diese Monopolstellung der lokalen Versorger haben Verbraucher/innen keine Möglichkeit, ihren Anbieter zu wechseln und somit potenziell günstigere Preise zu realisieren (Buffa et al. 2019, S. 516; Wirtz et al. 2022, S. 5 ff.).

Auch unter dem Aspekt einer verlässlichen Energieversorgung kann die Implementierung kombinierter Wärme- und Kältenetze sinnvoll sein. Die hierbei integrierten Speichertechnologien helfen, die unterschiedlichen Anforderungen an Kälte- und Wärmebereitstellung zu befriedigen, und sie können Leistungsschwankungen ausgleichen, wie sie bei der Nutzung von Wind- oder Sonnenenergie durch tageszeitliche und saisonale Unterschiede auftreten können.

Den wesentlichen rechtlichen Rahmen auf Bundesebene bilden das Wärmeplanungsgesetz (WPG)¹¹ und das Gebäudeenergiegesetz (GEG).¹² Allerdings finden sich in beiden Gesetzen noch Regelungslücken. So legt das GEG zwar fest, dass ein sommerlicher Wärmeschutz für Wohngebäude erforderlich ist und dass auf energieintensive Maßnahmen verzichtet werden sollte, es regelt aber nicht die Temperaturbereiche, die als nicht gesundheitsschädlich bzw. behaglich angesehen werden (TAB 2023, S. 89). Mit dem Wärmeplanungsgesetz werden Länder und Kommunen verpflichtet, die Wärmebereitstellung bis 2045 klimaneutral zu gestalten.¹³ Nicht Bestandteil des Gesetzes ist das Thema Kältebereitstellung bzw. Kältenetze und auch nicht die Kombination mit Wärmenetzen. Wenngleich einzelne Aspekte des WPG durch den Bundestag bzw. seinen wissenschaftlichen Dienst (WD 2022, 2023a, 2023b u. 2024) bearbeitet wurden, wird das Thema Kälte und Kälteerzeugung nicht eingehend betrachtet. Das unterstreicht die nachgelagerte Rolle, die das Thema Kälteversorgung bislang im politischen Diskurs gespielt hat.

Der wichtigste politische Akteur auf nationaler Ebene ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Unter sei-

ner Federführung wurden u. a. die Umsetzung von Regelungen zur Fernwärme und -kälte, wie sie die Energieeffizienzrichtlinie (EED)¹⁴ vorsieht, sowie von Vorgaben für den Ausbau erneuerbarer Energien in Fernwärme und -kälte gemäß Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EER III)¹⁵ beschlossen (Deutscher Bundestag 2023, S. 9). Auf nationaler Ebene kommt die Umsetzung der Anforderungen an die Kälteversorgung von Gebäuden im Rahmen des GEG sowie die Planung zur Fernkältenutzung und -ausbau hinzu. Dies könnte im Rahmen einer Novellierung des WPG berücksichtigt werden. Sowohl GEG als auch WPG werden gemeinsam mit dem Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen verantwortet (Deutscher Bundestag 2023, S. 9). In alleiniger Verantwortung des Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz liegt u. a. die Forschungsstrategie zur Klimaneutralen Wärme und Kälte im Rahmen des Energieforschungsprogramms und der Förderbekanntmachung „Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung im 8. Energieforschungsprogramm Innovationen für die Energiewende“ (Deutscher Bundestag 2023, S. 9 f.; BMWK 2023).

Die praktische Umsetzung der Wärmewende findet vorwiegend auf kommunaler Ebene statt. Insofern kann eine integrierte Wärme- und Kältebereitstellung ein Baustein umfassender kommunaler und übergeordneter Klimaschutzstrategien sein. Zudem sollte die integrierte Bereitstellung von Wärme und Kälte Teil der städtebaulichen Planung sein, um die Energieeffizienz zu steigern und den Bedarf an Kälte zu decken. Dabei sind künftig nicht nur Neubaugebiete zu berücksichtigen, sondern insbesondere der bestehende Gebäudebestand in den Fokus zu nehmen.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Das Kurzprofil bietet einen Überblick über den Entwicklungsstand und die Rahmenbedingungen für eine weitergehende Implementierung integrierter kommunaler Wärme- und Kältenetze. Hierbei handelt es sich um eine relativ neue Entwicklung, für die es zwar zahlreiche Anwendungsfälle gibt, bislang aber noch keine Standards abgeleitet wurden, die es ermöglichen, künftige Vorhaben effizient und bedarfsoorientiert umzusetzen. Vor allem die Aufrüstung bestehender Fernwärme- bzw. Fernkältenetze und die Versorgung großer Quartiere mit mehreren tausend Gebäuden ist bislang noch nicht verwirklicht worden.

Es zeigen sich bereits jetzt konkrete Handlungsoptionen für die weitergehende Implementierung:

11 Wärmeplanungsgesetz vom 20. Dezember 2023

12 Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020, zuletzt am 16. Oktober 2023 geändert.

13 Zur Unterstützung der Umsetzung bietet das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen einen entsprechenden Leitfaden an (BMWSB 2024 ; Ortner et al. 2024).

14 Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG

15 Richtlinie zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652

- systematische Analyse von Umsetzungstreibern und -barrieren bei der Realisierung von Großprojekten,
- Anpassung bzw. Novellierung des WPG und des GEG und daraus abgeleiteter Maßnahmen wie Wärmeplanungsleitfäden und anderer Planungsinstrumente,
- Weiterentwicklung von Forschungsprogrammen unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse und die
- Unterstützung erforderlicher Maßnahmen durch geeignete Förderinstrumente, wie z. B. der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).

Eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema durch das TAB erscheint derzeit nicht erforderlich. Sowohl zur Ableitung von Standards, dem Sammeln von Erfahrungswerten bei Großprojekten als auch einer Weiterentwicklung des rechtlichen Rahmens kann das TAB wenig beitragen. Die weitere Bearbeitung sowie die Umsetzung der zuvor genannten Handlungsoptionen sollten daher an anderer Stelle erfolgen

Literatur

- Bacquet, A.; Fernández, M.; Oger, A. et al. (2022): District heating and cooling in the European Union. Overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive. Luxemburg
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2023): Wie heizt Deutschland 2023? BDEW-Studie zum Heizungsmarkt. <https://www.bdew.de/media/documents/231221-BDEW-WHD2023.pdf> (4.11.2024)
- Bettzieche, J. (2020): Coole Sache. Fernkälte. Süddeutsche Zeitung, <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/fernkaelte-coole-sache-1.4988771> (4.11.2024)
- BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) (2023): 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung – Forschungsmissionen für die Energiewende. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/8-energieforschungsprogramm-zur-angewandten-energieforschung.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (4.11.2024)
- BMWK; BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen) (2023): Breites Bündnis für mehr Tempo beim Aus- und Umbau der Wärmenetze. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/06/20230612-aus-und-umbau-waermenetze.html> (4.11.2024)
- BMWSB (2024): Kommunale Wärmeplanung. Für eine deutschlandweit zukunftsweise und bezahlbare WärmeverSORGUNG. <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/stadt-wohnen/WPG/WPG-node.html> (4.11.2024)
- Buffa, S.; Cozzini, M.; D'Antoni, M.; Baratieri, M.; Fedrizzi, R. (2019): 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 104, S. 504–522
- Dena (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (2023): DENA-GEBAUDEREPORT 2024. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. (Becker, S.; Hagen, J.; Joshi, S.; Krüger, R.; de la Serna, S.). https://www.dena.de/file-admin/dena/Publikationen/PDFs/2023/dena-Gebaedereport_2024.pdf (4.11.2024)
- Deutscher Bundestag (2023): Schriftliche Fragen mit den in der Woche vom 21. August 2023 eingegangenen Antworten der Bundesregierung. Deutscher Bundestag, Drucksache 20/8109, Berlin
- Drzimalla, P. (2022): So wird Fernwärme zu Fernkälte. Industrielle Werke Basel, <https://www.iwb.ch/klimadreh/magazin-uebersicht/so-wird-fernwaerme-zu-fernkaelte> (4.11.2024)
- Edtmayer, H.; Nageler, P.; Heimrath, R.; Mach, T.; Hohenauer, C. (2021): Investigation on sector coupling potentials of a 5th generation district heating and cooling network. In: Energy 230, Art. 120836
- ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) (2020): Primer For Cool Cities. Reducing Excessive Urban Heat – with a focus on passive measures. Knowledge Series 031/20, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/605601595393390081/pdf/Primer-for-Cool-Cities-Reducing-Excessive-Urban-Heat-with-a-Focus-on-Passive-Measures.pdf> (4.11.2024)
- Expertenrat für Klimafragen (2024): Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024. Sondergutachten gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz. <https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2024/06/ERK2024-Sondergutachten-Pruefung-Projektionsdaten-2024.pdf> (4.11.2024)
- Gerard, F.; Guevara Opinska, L.; Smit, T. et al. (2022): Policy support for heating and cooling decarbonisation. Brüssel

- Giel, T. (2021): Leitfaden Kalte Nahwärme. Ein Zukunftskonzept der kommunalen Energieversorgung. Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH, https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Leitfaden_Kalte_Nahwaerme.pdf (4.11.2024)
- Giovannetti, F.; Hüsing, F.; Büchner, D. et al. (2021): Solar- und Umweltenergie für effiziente Wärme- und Kälteerzeugung. In: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE): Forschung für den European Green Deal. Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2020. Berlin, S. 71–77
- Gudmundsson, O.; Dyrelund, A.; Thorsen, J. (2021): Comparison of 4th and 5th generation district heating systems. In: E3S Web of Conferences 246, Art. 9004
- Hamburger Energiewerke (2024): Wie funktioniert Fernkälte? <https://unternehmen.hamburger-energiewerke.de/wissen-themen/fernkaelte/wie-funktioniert-fernkaelte> (4.11.2024)
- Helmholtz Klima Initiative (o. J.): Um wie viel Grad hat sich Deutschland bereits erwärmt? <https://www.helmholtz-klima.de/faq/um-wie-viel-grad-hat-sich-deutschland-bereits-erwaermt> (4.11.2024)
- Hutter, C.; Eberle, A.; Wöhrle, H. et al. (2023): Kühle Gebäude im Sommer. Anforderungen und Methoden des sommerlichen Wärmeschutzes. Abschlussbericht. Climate Change 14, UBA, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_14-2023_kuehle_gebaeude_im_sommer.pdf (4.11.2024)
- IEA (International Energy Agency) (2018): The Future of Cooling. Opportunities for energy-efficient air conditioning. https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf (4.11.2024)
- IEA (2023): District Heating. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/district-heating> (4.11.2024)
- Jin, L.; Schubert, S.; Salim, M.; Schneider, C. (2020): Impact of Air Conditioning Systems on the Outdoor Thermal Environment during Summer in Berlin, Germany. In: International journal of environmental research and public health 17(13), Art. 4645
- Neff, B. (2022): Kälte, die aus Sendling kommt. Energieversorgung. Süddeutsche Zeitung, <https://www.sueddeutsche.de>/muenchen/muenchen-fernkaelte-stadtwerke-1.5636496 (4.11.2024)
- Nguyen, M.; Hakenes, J. (o. J.): Fernwärme – Definition, Kosten, Förderung. co2online, <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/heizung/fernwaerme/> (4.11.2024)
- NPro (2024a): Kalte Fernwärme, <https://www.npro.energy/main/de/5gdhc-networks/cold-district-heating> (4.11.2024)
- NPro (2024b): Kalte Nahwärme, <https://www.npro.energy/main/de/5gdhc-networks> (4.11.2024)
- NPro (2024c): Preise und Kosten für kalter Nahwärme. <https://www.npro.energy/main/de/5gdhc-networks/price-cost-data> (4.11.2024)
- Ortner, S.; Paar, A.; Johannsen, L.; Wachter, P.; Hering, D.; Pehnt, M.; Acker, Y.; Köhler, B.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Keimeyer, F. et al. (2024): Leitfaden Wärmeplanung. Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche. https://api.kww-halle.de/fileadmin/PDFs/Leitfaden_W%C3%A4rmeplanung_final_17.9.2024_gesch%C3%BCtzt.pdf (4.11.2024)
- Pellegrini, M.; Bianchini, A. (2018): The Innovative Concept of Cold District Heating Networks: A Literature Review. In: Energies 11(1), Art. 236
- Rueter, G. (2023): Fernkälte statt Fernwärme – Münchens riesige Klimaanlage der Zukunft. Focus Online, https://www.focus.de/earth/report/umwelt-fernkaelte-statt-klima-geraet-die-bessere-alternative_id_203053561.html (4.11.2024)
- Santamouris, M. (2014): Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. In: Solar Energy 103, S. 682–703
- Stadtwerke München GmbH (2024): Fernkälte: Klimatisierungssystem der Zukunft. <https://www.swm.de/magazin/energie/fernkaelte> (4.11.2024)
- Sustainable Energy for All (2018): Cooling Solutions for Urban Environments. Sustainable Energy for All, <https://www.seforall.org/system/files/2019-05/CoolingSolutionsforUrbanEnvironments.pdf> (4.11.2024)
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2023): Sustainable Cooling – nachhaltige

Kühlungsstrategien (Hungerland, T.; Meißner, L.; Czerniak-Wilmes, J.; Kind, S.; Bogenstahl, C.). TAB-Kurzstudie 4, Berlin

- Tegel Projekt GmbH (o. J.): Der Energie-Marktplatz – das innovative Energiekonzept für Berlin TXL. https://urbantechrepublic.de/wp-content/uploads/2022/11/221123_Energiekonzept_DE.pdf (4.11.2024)
- Trümper, A. (2022): Wenn die Kälte aus Rohren kommt. Alternative zu Klimaanlagen. tagesschau.de, <https://www.tagesschau.de/wissen/klima/fernkaelte-klimaanlage-101.html> (4.11.2024)
- UBA (Umweltbundesamt) (2023): Kohlendioxid-Emissionen im Bedarfsfeld „Wohnen“. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/kohlendioxid-emissionen-im-bedarfsfeld-wohnen> (4.11.2024)
- UBA (2024a): Energieverbrauch privater Haushalte, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#hochster-anteil-am-energieverbrauch-zum-heizen> (4.11.2024)
- UBA (2024b): Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Gebäudesektors in Deutschland von 1990 bis 2023. Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1411542/umfrage/treibhausgas-emissionen-von-gebäuden-in-deutschland/> (4.11.2024)
- UBA (2024c): Gebäudeklimatisierung. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/anwendungen/gebäudeklimatisierung#gebäudeklimatisierung-in-deutschland> (4.11.2024)
- UBA (2024d): Trends der Lufttemperatur. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#mildere-herbste-und-winter-in-deutschland> (4.11.2024)
- WD (Wissenschaftliche Dienste) (2022): Finanzierungsbedarfe für das Erreichen der CO₂-Emissionsreduktionsziele im Gebäudektor. Deutscher Bundestag, WD 5 – 3000 – 048/22, WD 8 – 3000 – 027/22, Berlin
- WD (2023a): Aspekte der Wärmewende im europäischen Vergleich. Deutscher Bundestag, WD 5 – 3000 – 083/23, Berlin
- WD (2023b): Die Wärmewende in Deutschland. Bedeutung, Ziele und Umsetzbarkeit. Deutscher Bundestag, WD 5 – 3000 – 010/23, Berlin
- WD (2024): Datenerhebung zur kommunalen Wärmeplanung. Deutscher Bundestag, WD 3 – 3000 – 149/23; WD 5 – 3000 – 108/23, Berlin
- Wehnemann, K.; Schultz, K. (2024): Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt. Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/thg-projektionen_2024_ergebnisse_kompakt.pdf (4.11.2024)
- Wirtz, M. (2023): Kalte Nahwärme in Deutschland. nPro Energy GmbH, <https://www.npro.energy/static/files/White-paper-Kalte-Nahw%C3%A4rme-in-Deutschland-nPro-Energy.pdf> (4.11.2024)
- Wirtz, M.; Schreiber, T.; Müller, D. (2022): Survey of 53 Fifth-Generation District Heating and Cooling (5GDHC) Networks in Germany. In: Energy Tech 10(11), Art. 2200749
- Yoksoulian, L. (2024): Urban heating and cooling to play substantial role in future energy demand under climate change. Tech Xplore, <https://techxplore.com/news/2024-09-urban-cooling-play-substantial-role.html> (4.11.2024)
- Zeh, R.; Ohlsen, B.; Philipp, D. et al. (2021): Large-Scale Geothermal Collector Systems for 5th Generation District Heating and Cooling Networks. In: Sustainability 13(11), Art. 6035

Herausgeber

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag (TAB)

Bildnachweise

janiecbros/iStock (S. 1); AndreyPopov/iStock (S. 3);
Elena Medoks/iStock (S. 7)

ISSN: 2629-2874

DOI: 10.5445/IR/1000179500

**Horizon
SCANNING**

Das Horizon-Scanning ist Teil der Foresight-Aktivitäten des TAB und wird vom Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH durchgeführt.
www.tab-beim-bundestag.de/horizon-scanning