

Fallstudie

Fernwärme auf Niedertemperatur oder kalte Nahwärme? Es kommt darauf an ...

Oddgeir Gudmundsson und Jan Eric Thorsen, Danfoss Application Center



Fernwärme auf Niedertemperatur oder kalte Nahwärme? Es kommt darauf an ...

Da Wärme und Kälte die Hälfte des Energieverbrauchs der EU ausmachen, hängt die Energiewende hin zu klimafreundlicheren Technologien in hohem Maße von der Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung ab. Bei der Suche nach energieeffizienten Lösungen, die erneuerbare Energien integrieren und Synergien zwischen den Energiesektoren nutzen, sind Wärmenetze der kostengünstigste und energieeffizienteste Weg, um die Ziele zu erreichen.

Anhand des derzeitigen Erfolgs der Niedertemperatur-Fernwärme (LTDH), die häufig als Fernwärmesystem der 4. Generation (4GDH) bezeichnet wird, hat der Sektor gezeigt, dass er eine Schlüsselrolle für zukünftige erneuerbare Energiesysteme spielen kann. Um seine Relevanz zu bewahren, erforscht der Sektor aktiv die zukünftige Rolle und das zukünftige Potenzial von Fernwärme in Energiesystemen. Eine der wichtigsten Fragen ist, wie Wärmenetze den nächsten Schritt zur Verbesserung der Energieeffizienz, Flexibilität, Widerstandsfähigkeit und Kosteneffizienz der Energiesysteme unterstützen können. Gleichzeitig hat die zunehmende Verfügbarkeit erneuerbarer und lokaler Energiequellen das Zusammenspiel zwischen dem Wärme- und dem Stromsektor zu einem aktiven Forschungsgebiet gemacht.

Eines der Forschungsthemen betrifft die sogenannte kalte Nahwärme bzw. die Umgebungstemperatur-Fernwärmesysteme (ATDH), die gemeinhin als 5GDH bezeichnet werden. In kalten Nahwärmesystemen werden die Systemtemperaturen so nahe wie möglich an der Umgebungstemperatur gehalten, um Wärmeverluste zu minimieren. Der Nachteil dieser Systeme besteht jedoch darin, dass sie in jedem Gebäude eine eigene Wärmepumpe benötigen, um die Vorlauftemperatur auf die Anforderungen der Gebäudeinstallationen anzuheben. Dadurch sind kalte Nahwärmesysteme tendenziell teurer, komplexer, weniger flexibel und weniger widerstandsfähig als Niedertemperatur-Fernwärmesysteme.

Das Ziel der in diesem Dokument zusammengefassten Studie besteht darin, zu untersuchen, wie die derzeit beste

Technologie, die Niedertemperatur-Fernwärme, im Vergleich mit der kalten Nahwärme abschneidet. Wärmenetze können klein oder groß sein, einfach oder komplex, und es müssen viele Parameter berücksichtigt werden, um die wirksamste Lösung zu ermitteln, darunter lokale Gebäudestandards, Zugang zu verschiedenen Wärmequellen und Kombinationen dieser, lokale Energietarife, nationale Subventionsprogramme, Klimabedingungen usw. Für die untersuchten Standorte, d.h. Dänemark und das Vereinigte Königreich, zeigt die Studie, dass Niedertemperatur-Fernwärme angesichts der Kosten für die Einrichtung und den Betrieb

des Systems nach wie vor die attraktivste Lösung darstellt. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass Niedertemperatur-Fernwärme nicht nur kosteneffizienter ist als kalte Nahwärme, sondern auch in Bezug auf Sicherheit, Zuverlässigkeit, Flexibilität und Widerstandsfähigkeit eine bessere Leistung erzielt.

In der Studie wurden auch erhebliche Unterschiede in Bezug auf die Kosten von Wärmenetzen in Dänemark und im Vereinigten Königreich ermittelt. Der Hauptgrund sind die hohen Kosten für den Aufbau des Verteilnetzes im Vereinigten Königreich im Vergleich zu Dänemark. Der zweite Grund sind die unterschiedlichen Strompreise in den beiden Ländern.

Was ist Niedertemperatur-Fernwärme/Fernwärme der 4. Generation und kalte Nahwärme/Fernwärme der 5. Generation?

Niedertemperatur-Fernwärme/ Fernwärme der 4. Generation	Kalte Nahwärme/Fernwärme der 5. Generation
<ul style="list-style-type: none">• Bekannt als Niedertemperatur-Fernwärme, die mit Temperaturen von 50–65°C arbeitet, um alle Heizanforderungen zu erfüllen.• Verteilt in isolierten Röhren von jeder zentralen Wärmequelle, einschließlich Abwärme von z.B. Rechenzentren oder Industrieprozessen. Wenn die Temperatur der Wärmequelle unter der Vorlauftemperatur des Systems liegt, werden zentrale Wärmepumpen verwendet, um die Temperatur zu erhöhen.• Es können alle Arten von Wärmequellen genutzt werden.	<ul style="list-style-type: none">• Betrieb bei sehr niedrigen Temperaturen (10–25°C).• Verteilt in nicht isolierten Röhren.• Erfordert immer eine dezentrale Temperaturerhöhung mit einzelnen Wärmepumpen, um die Anforderungen an Raumheizung und Trinkwarmwasser zu erfüllen.• Typische Wärmequellen sind: Meer, Seen, Flüsse, Abwasser, Grubenwasser, Niedertemperatur-Geothermie oder Abwärme aus Prozessen.

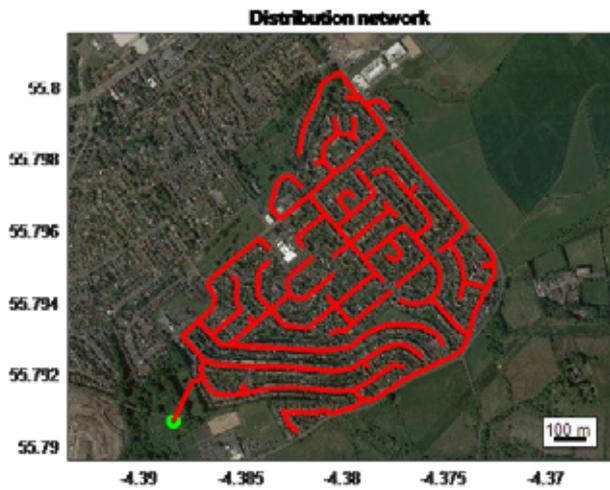


ABBILDUNG 1: Der Vergleich basiert auf einem generischen Versorgungsgebiet auf der grünen Wiese, welches hauptsächlich aus Reihenhäusern mit jeweils 2-6 Wohneinheiten, Einfamilienhäusern und einigen Mehrfamilienhäusern besteht. Es werden zwei Wärmebedarfsfälle betrachtet: Niedrig- oder Hochenergiegebäude.

Grundannahmen der Studie

Um einen fairen Vergleich der verschiedenen von der Studie umfassten Lösungen sicherzustellen, werden die Systeme unter Verwendung der gleichen Wärmenetzauslegung und der gleichen Wärmeverbraucher verglichen. Die Wärmenetzauslegung basiert auf einem Wohngebiet in Nordeuropa. Für die Analysen basiert der jährliche thermische Bedarf an Raumheizung auf dem Klimaprofil des gewählten Standorts. Die Dimensionierung des Wärmenetzes richtet sich nach der gebäudetechnischen Spitzenlast, angepasst auf die lokale Wärmezufuhr und Verluste aus dem Betrieb der Fernwärmeübergabestationen sowie der definierten Vor- und Rücklauftemperatur für jeden Systemtyp. Die Studie untersucht vier verschiedene Wärmequellenszenarien von 10°C bis 60°C. Abhängig von der Betriebstemperatur des Versorgungssystems verfügen die

Wärmeübergabestationen entweder über Wärmepumpen, Wärmeübertrager oder eine Kombination aus beidem.

Mit der gewählten Systemgrenze, dargestellt in Abbildung 2, ist die Studie von der Art der Wärmequelle entkoppelt. Dies ist eine sinnvolle Vereinfachung, da die Kosten für die Einrichtung der Wärmequelle zu vernachlässigbaren Unterschieden zwischen den verschiedenen Versorgungssystemen führen. Die in der Studie enthaltenen Kosten umfassen daher die Installation, den Betrieb und die Wartung einer zentralen Wärmeerzeugung, dezentraler Wärmepumpen, von Übergabestationen, des Verteilungsnetzes und die Kosten für die Wärmeverteilung, einschließlich der Wärmeverluste während der Verteilung. Die Studie geht von konstanten Temperaturniveaus der Wärmequelle aus. Wenn die Temperatur im Laufe des Jahres schwanken würde,

hätte dies zwei Auswirkungen auf das System. Zum einen würde sie den COP der Wärmepumpen in allen Szenarien beeinflussen, zum anderen hätte sie erhebliche Auswirkungen auf die Kapazität des Verteilnetzes in der kalten Nahwärme. Es ist anzumerken, dass die Investitions- und Installationskosten von Technologien je nach Land erheblich variieren können. In Ermangelung landesspezifischer Kostendaten werden in der Studie die Kaufkraftparitäten von Eurostat verwendet, um die Preisunterschiede von Komponenten und Dienstleistungen zu schätzen, einschließlich thermischer Erzeugungsanlagen und Endnutzerkomponenten zwischen den Ländern. Der Preis für die Errichtung des Wärmenetzes basiert auf den Projekterfahrungen von Ramboll A/S für Dänemark und Logstor A/S für das Vereinigte Königreich. Für maximale Transparenz sind die in den wirtschaftlichen Berechnungen verwendeten Energiepreise die von Eurostat veröffentlichten Energiepreise der einzelnen Länder.

Ergebnisse der Studie: Dänemark

Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass Niedertemperatur-Fernwärme in Dänemark unabhängig vom Temperaturniveau der Wärmequelle die kalte Nahwärme als kostengünstigste Lösung übertrifft.

Die relative Kostenwirksamkeit ist in erster Linie auf die Größenvorteile zentraler Wärmepumpen, einfachere Übergabestationen in den Gebäuden und die Stromkosten zurückzuführen. Diese Faktoren gleichen die zusätzlichen Kosten des isolierten Rohrnetzes und die Wärmeverluste bei der Verteilung in Niedertemperatur-Fernwärmesystemen im Vergleich zur kalten Nahwärme mehr als aus.

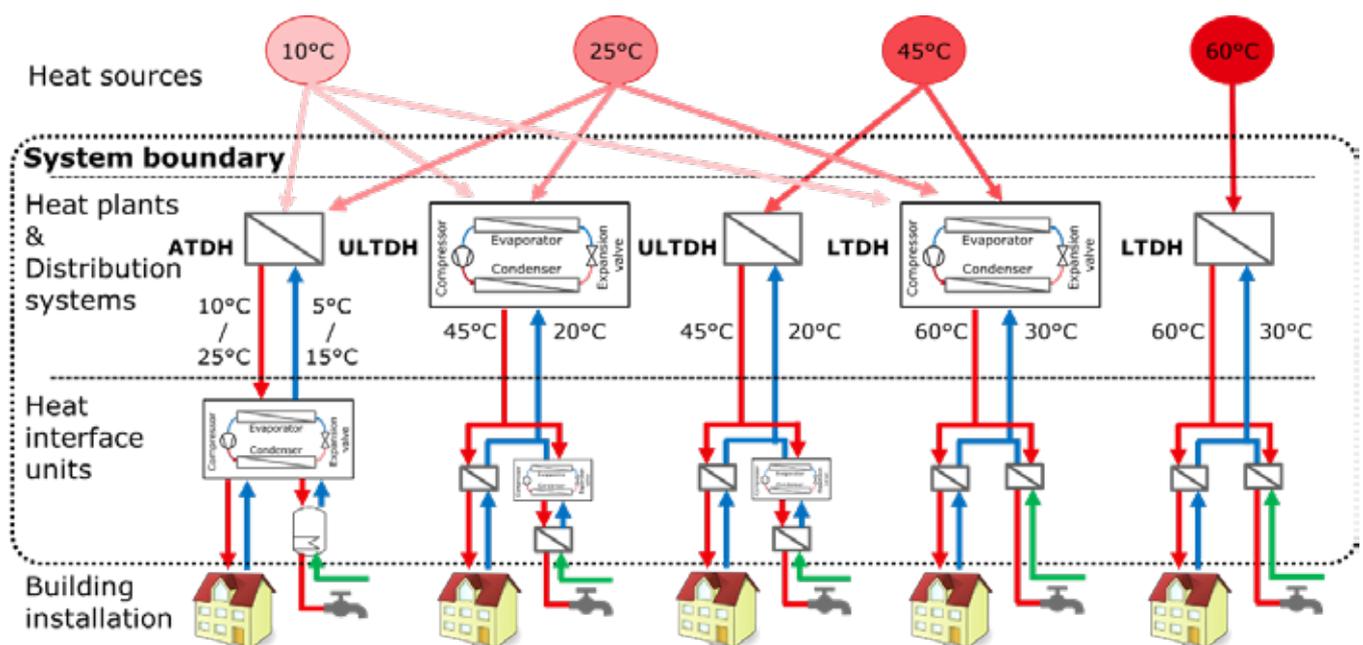


ABBILDUNG 2: Die Abbildung zeigt die vier Wärmequellen und die daraus resultierenden fünf verschiedenen Konfigurationen des Versorgungssystems, die in der Studie betrachtet wurden. Kalte Nahwärme, Ultraniedertemperatur-Fernwärme, Niedertemperatur-Fernwärme.

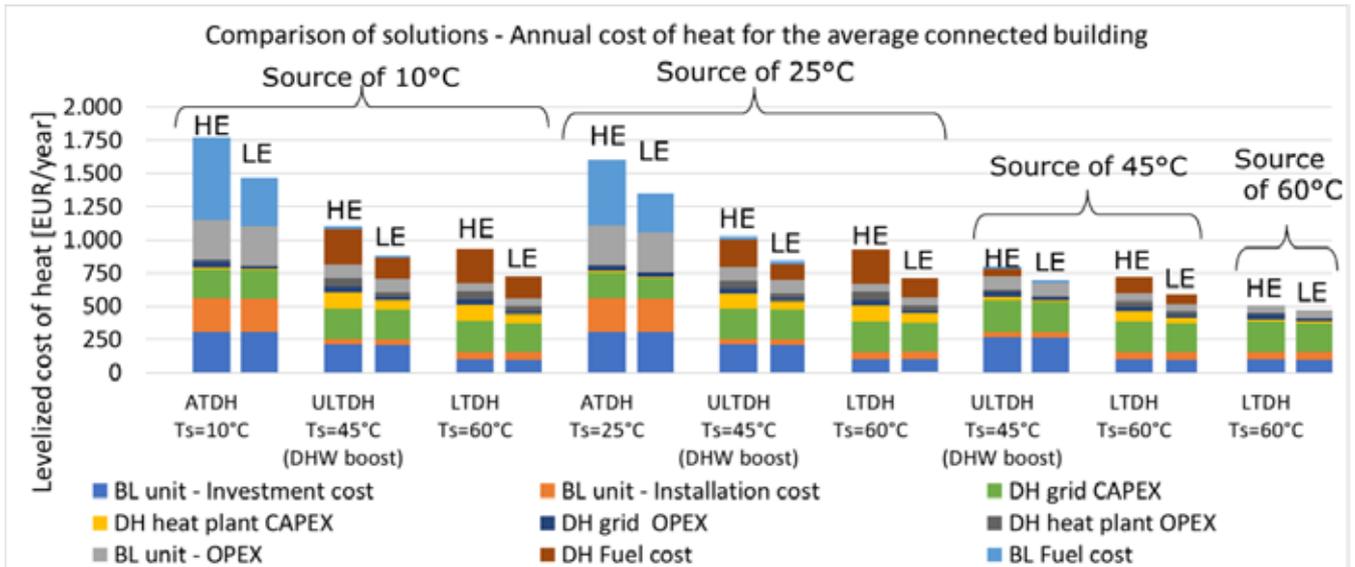


ABBILDUNG 3: Die jährlichen Heizkosten für das durchschnittliche Hochenergie- (HE) und Niedrigenergiegebäude (LE) in Dänemark für verschiedene Versorgungssysteme und Wärmequellentemperaturen. T_s ist die Vorlauftemperatur des Verteilersystems. Der durchschnittliche Raumheizungsbedarf für das Hochenergiegebäude wird auf 15 MWh/Jahr geschätzt. Der durchschnittliche Raumheizungsbedarf für das Niedrigenergiegebäude wird auf 7,5 MWh/Jahr geschätzt. Für beide Gebäudetypen wird ein Trinkwarmwasserbedarf von 2 MWh/Jahr angenommen.

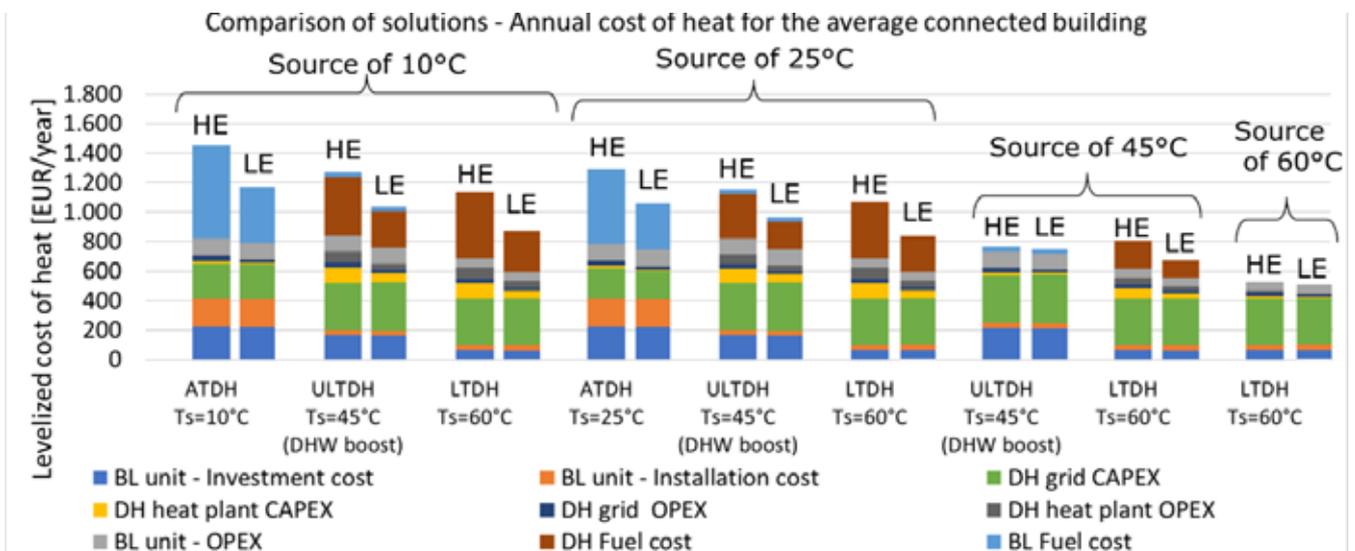


ABBILDUNG 4: Die jährlichen Heizkostenniveaus für das durchschnittliche Hochenergie- (HE) und Niedrigenergiegebäude (LE) im Vereinigten Königreich für verschiedene Versorgungssysteme und Wärmequellentemperaturen. T_s ist die Vorlauftemperatur des Verteilersystems. Der durchschnittliche Raumheizungsbedarf für Hochenergiegebäude wird auf 11,4 MWh/Jahr geschätzt. Der durchschnittliche Raumheizungsbedarf für das Niedrigenergiegebäude wird auf 5,7 MWh/Jahr geschätzt. Für beide Gebäudetypen wird ein Trinkwarmwasserbedarf von 2 MWh/Jahr angenommen.

Ergebnisse der Studie: UK

Obwohl die Kosteneffektivität von Niedertemperatur-Fernwärme im Vereinigten Königreich im Vergleich zu Dänemark weniger markant ist, ist der Unterschied immer noch groß. Für Gebäude mit einem hohen Wärmebedarf ist Niedertemperatur-Fernwärme kostengünstiger als kalte Nahwärme. Bei Quellentemperaturen von 10°C um 22% bzw. bei 25°C um 17%. Der Kostenvorteil von Niedertemperatur-Fernwärme ist bei Niedrigenergiegebäuden sogar noch höher, bei Quellentemperaturen der kalten Nahwärme von 10°C um 25% bzw. bei 25°C um 21%. Der Hauptgrund für die Unterschiede zwischen dem Vereinigten Königreich und Dänemark ist auf die angewandten Verlegepraktiken zurückzuführen, wobei die Verlegung von Einzelrohren im Vereinigten Königreich die Norm darstellt, während in Dänemark Doppelrohre üblich sind. Erfahrungen aus Dänemark zeigen, dass die Verwendung von Doppelrohren anstelle von Einzelrohren im Allgemeinen

zu Einsparungen von 15% beim Aufbau des Verteilnetzes führen kann. Darüber hinaus reduzieren Doppelrohre den Netzwärmeverlust um mehr als 30%. Obwohl die allgemeinen Kosten für die Errichtung von Fernwärmeverteillrohren im Vereinigten Königreich in den letzten Jahren drastisch zurückgegangen sind, gibt es nach wie vor eine Kostendifferenz von 15% gegenüber den gleichen Rohrsystemen in Dänemark. Mit der zunehmenden Reifung des Marktes im Vereinigten Königreich dürfte dieser Unterschied zurückgehen, wodurch die Fernwärme noch kostengünstiger wird.

Vor- und Nachteile von Niedertemperatur-Fernwärme und kalten Nahwärmesystemen

Obwohl Niedertemperatur- und kalte Nahwärmesysteme einige Elemente gemein haben, z.B. eine zentrale Wärmequelle und eine Verteilungsinfrastruktur, gibt es einen bedeutenden Unterschied zwischen den beiden Systemtypen.

Während Niedertemperatur-Fernwärme mit einer zentralisierten thermischen Wärmeerzeugung und einem isolierten Rohrnetz betrieben wird, arbeitet die kalte Nahwärme mit einem nicht isolierten Rohrnetz und verfügt über dezentrale Wärmepumpen, die sich in den angeschlossenen Gebäuden befinden. Dieser Unterschied hat einen großen Einfluss auf die Möglichkeiten zur Optimierung des Systems, die Versorgungssicherheit und die thermische Belastbarkeit des Versorgungssystems. Werfen wir einen genaueren Blick auf einige der entscheidenden Faktoren, die die Auswahl der Technologie und Infrastruktur für Wärmenetze in jeder Gemeinde beeinflussen.

Flexibilität

Einer der Parameter, die Niedertemperatur-Fernwärme und kalte Nahwärme voneinander unterscheidet, ist die Fähigkeit der Systeme, Zeiträume mit kostengünstiger Energie optimal zu nutzen.

Übersicht über die Vor- und Nachteile der Niedertemperatur-Fernwärme bzw. der kalten Nahwärme:

Niedertemperatur-Fernwärme – Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Einfache Entkoppelung von Wärmeerzeugung und -bedarf durch den Einsatz von Wärmespeichern.• Kann günstige Spotmarkt-Energiepreise sehr gut nutzen.• Einfacher Anschluss neuer Wärmequellen.• Professionell betriebene Wärmeerzeugungsanlagen.• Einfache und robuste Kundenanlagen.• Kosteneffiziente Backup-Wärmeerzeuger.• Geringer Aufwand zur Implementierung neuer Technologien.	<ul style="list-style-type: none">• Die Temperatur von Abwärmequellen muss eventuell erhöht werden, um die Anforderungen an die Systemvorlaufemperatur zu erfüllen.• Höherer Wärmeverlust bei der Verteilung. Dieser muss durch effizientere Wärmeerzeugungsanlagen oder einen wirtschaftlicheren Betrieb ausgeglichen werden.• Kälteversorgung benötigt entweder eine zusätzliche Kälteanlage oder ein separates Kältenetz..• Die Reduzierung der Vorlaufemperatur ist auf die Anforderungen der kritischen Verbraucher beschränkt.

Kalte Nahwärme – Vor- und Nachteile

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Neue Wärmequellen auf Umgebungstemperaturniveau können einfach und kostengünstig angeschlossen werden.• Geringster Wärmeverlust bei der Verteilung.• Das Verteilungsrohr ist günstiger, da die Tiefbaukosten gesenkt werden und keine Rohrisolierung erforderlich ist.• Möglichkeit der Umschaltung auf Kühlung durch dezentrale Wärmepumpen.	<ul style="list-style-type: none">• Keine Wärmeversorgung bei Ausfall der Spannungsversorgung.• Kein Backup bei Ausfall lokaler dezentraler Wärmepumpen.• Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz im Verteilnetz sind Rohre mit großem Durchmesser erforderlich.• Lokale Wartung/Service an den dezentralen Wärmepumpen.• Hoher Wärmeverlust bei Anschluss einer Hochtemperatur-Wärmequelle aufgrund nicht isolierter Rohre.• Komplexe und teure Gebäudeeinheiten.• Technologie-Lock-in, kostenintensiver Wechsel.

Diese Flexibilität kann große Einsparungen für Versorger und Endverbraucher in Niedertemperatur-Fernwärmesystemen bedeuten, die z.B. mit zentralen Wärmepumpen und thermischen Speicheranlagen arbeiten. Zentralisierte Großwärmepumpen verfügen in der Regel während eines Großteils des Jahres über überschüssige Kapazitäten, die zum Laden von Wärmespeichern in Zeiten niedriger Stromkosten verwendet werden können. Die zentralisierten thermischen Erzeugungs- und Verteilungssysteme mit isolierten Rohren ermöglichen außerdem die kosteneffiziente und energieeffiziente Integration neuer Wärmequellen, wie z.B. Abwärme aus Prozessen, Supermärkten, Rechenzentren usw.

Robustheit

Wenn es um die Robustheit der Lösung geht, d.h. die Fähigkeit des Wärmenetzes bei extrem kalter Witterung ausreichend Raumheizung zu liefern, bietet kalte Nahwärme aufgrund von Durchflusskapazitätsbeschränkungen im Verteilungsnetz möglicherweise eine schlechtere Leistung. Niedertemperatur-Fernwärmesysteme wären hingegen in der Lage, die Systemvorlauftemperatur anzuheben und die Kapazität des Verteilnetzes effektiv zu erhöhen.

Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit hängt von der Betriebszeit des Systems ab. Wenn eine kritische Komponente wie die Wärmepumpe ausfällt, können Systeme mit integrierter Redundanz wie Niedertemperatur-Fernwärmesysteme mit mehreren zentralen Wärmepumpen und Spitzenlastkesseln eine höhere Zuverlässigkeit bieten als die kalte Nahwärme. Die Letztere hängt von Wärmepumpen für den Hausgebrauch ab. Im Falle eines Ausfalls besteht im Haus keine Wärmeversorgung, bis das Gerät repariert oder ausgetauscht wurde, es sei denn, das Gerät verfügt über eine zusätzliche Wärmeerzeugung,

was aufgrund der hohen Kosten von Doppelgeräten in der Regel nicht der Fall ist.

Widerstandsfähigkeit

Im Allgemeinen gilt Fernwärme als widerstandsfähige Energieinfrastruktur im Falle von Großereignissen wie Naturkatastrophen, Unwettern, Cyberangriffen usw. Wenn das Stromnetz unter rauen Winterbedingungen zusammenbricht, würde der Mangel an Wärme in strombetriebenen Wärmeerzeugungsanlagen bald kritisch werden. In diesem Fall hätte das zentralisierte Niedertemperatur-Fernwärmesystem die besseren Chancen, Notfallversorgungen schnell und für alle angeschlossenen Verbraucher aufzubauen. Die kalten Nahwärmesysteme, die auf die Stromversorgung auf Gebäudeebene angewiesen sind, wären jedoch nicht in der Lage, die Wärmepumpe zu betreiben, was dazu führen würde, dass das System bei einem Stromausfall nicht betriebsbereit wäre.

Wechsel zwischen Heizung und Kühlung

Kalte Nahwärme wird häufig für ihre Fähigkeit gerühmt, zwischen Heizung und Kühlung zu wechseln, was dem einzelnen Verbraucher mehr Flexibilität und Komfort bietet. Während die Kühlung gemeinhin als einzigartiger Vorteil von kalten Nahwärmesystemen angesehen wird, der mit begrenzten Zusatzkosten verbunden ist, wird sie auch zunehmend bei Niedertemperatur-Fernwärmesystemen als kostengünstige und energieeffiziente Option in Betracht gezogen. In Niedertemperatur-Fernwärmesystemen würde eine kleine Kühlmodul-Wärmepumpe zur Wärmeübergabestation hinzugefügt. Im Kühlbetrieb kann die während einer Kühlphase dem Haus entzogene Wärme entweder in einem Trinkwarmwasserspeicher gespeichert oder an das Wärmnetz abgegeben werden.

Fazit

Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass Niedertemperatur-Fernwärme sowohl in Dänemark als auch im Vereinigten Königreich kalte Nahwärme als kostengünstigste Lösung übertrifft. Mit der Reifung des Sektors im Vereinigten Königreich und der zunehmenden Einführung von Doppelrohren wird sich die Kosteneffizienz von Niedertemperatur-Fernwärme im Vergleich zu kalten Nahwärmesystemen weiter verbessern. Der hohe Stromanteil im Niedertemperatur-Kostenszenario im Vereinigten Königreich bietet Möglichkeiten, Kosten zu sparen, indem zentrale Wärmespeicher und Wärmeerzeugung in Zeiten niedriger Strompreise genutzt werden. Unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Systemtypen übertrifft Niedertemperatur-Fernwärme auch die „3-R“-Kennzahlen (Reliability, Robustness, and Resilience – Zuverlässigkeit, Robustheit und Widerstandsfähigkeit). Dies zeigt sich am deutlichsten bei einem Ausfall des Stromnetzes, der das kalte Nahwärmesystem außer Betrieb setzen würde, während die Niedertemperatur-Fernwärmesysteme in der Lage wären, auf thermische Reservequellen und Notstromaggregate umzuschalten.

Je zentralisierter die thermische Erzeugung ist, desto flexibler kann das System bei der zeitlichen Verschiebung von Lasten sein und die Vorteile kostengünstiger Stromperioden nutzen. Die zentralisierte thermische Erzeugung und das isolierte Verteilungssystem ermöglichen darüber hinaus die kosteneffiziente und energieeffiziente Einführung neuer Wärmequellen, z.B. Abwärme aus Prozessen, Supermärkten, Rechenzentren usw. Bei kalter Nahwärme ist jedoch eine Verringerung der Energieeffizienz unvermeidlich, wenn Abwärmequellen mit höheren Temperaturen als die Systemvorlauftemperatur angeschlossen werden.

Weitere Informationen

Weitere Informationen zu Produkten und Anwendungen von Danfoss finden Sie auf unserer Homepage: www.danfoss.com

Danfoss GmbH, Deutschland: Climate Solutions • danfoss.de • +49 69 8088 5400 • cs@danfoss.de
Danfoss Ges.m.b.H., Österreich: Climate Solutions • danfoss.at • +43 720548000 • cs@danfoss.at
Danfoss AG, Schweiz: Climate Solutions • danfoss.ch • +41 615100019 • cs@danfoss.ch

Alle Informationen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Informationen zur Auswahl von Produkten, ihrer Anwendung bzw. ihrem Einsatz, zur Produktgestaltung, zum Gewicht, den Abmessungen, der Kapazität oder zu allen anderen technischen Daten von Produkten in Produkthandbüchern, Katalogbeschreibungen, Werbungen usw., die schriftlich, mündlich, elektronisch, online oder via Download erteilt werden, sind als rein informativ zu betrachten, und sind nur dann und in dem Ausmaß verbindlich, als auf diese in einem Kostenvoranschlag oder in einer Auftragsbestätigung explizit Bezug genommen wird. Danfoss übernimmt keine Verantwortung für mögliche Fehler in Katalogen, Broschüren, Videos und anderen Drucksachen. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung Änderungen an seinen Produkten vorzunehmen. Dies gilt auch für bereits in Auftrag genommene, aber nicht gelieferte Produkte, sofern solche Anpassungen ohne substantielle Änderungen der Form, Tauglichkeit oder Funktion des Produkts möglich sind.
Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum von Danfoss A/S oder Danfoss-Gruppenunternehmen. Danfoss und das Danfoss Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.