

# **IEA Fernwärme und -Kälte (DHC) Annex TS2: Implementierung von Nieder- temperatur-Fernwärmesystemen**

R. Geyer, H. Schrammel,  
K. Ponweiser, Ch. Engel

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**39/2021**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Interimistischer Leiter: DI Theodor Zillner

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# IEA Fernwärme und -Kälte (DHC) Annex TS2: Implementierung von Niedertemperatur- Fernwärmesystemen

Roman Geyer, Harald Schrammel  
AEE - Institut für Nachhaltige Technologien

Karl Ponweiser  
TU Wien - Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Christian Engel  
Austroflex Rohr-Isoliersysteme GmbH

Wien, Juli 2021

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

DI Theodor Zillner

Interimistischer Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>13</b>
	4.1. Kurzbeschreibung der Ziele, Inhalte und Ergebnisse des Annexes.....	13
	4.2. Status (inkl. Aktivitäten und Zeitplan des Annexes) .....	14
	4.3. Partner des Annexes und deren Aufgaben im Projekt .....	15
	4.4. Kooperations- und Verwertungsstrategie auf Annex-Ebene .....	16
	4.5. Einbettung der österreichischen Partner in den Annex zur Erlangung eines gemeinsamen Erkenntnisgewinns .....	16
	4.6. Innovationsgehalt und Ergebnisse des Vorhabens.....	16
	4.7. Methode und wissenschaftlicher Lösungsansatz .....	17
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>18</b>
	5.1. Einleitung .....	18
	5.2. Wirtschaftliche Vorteile von Niedertemperatur-Fernwärme.....	19
	5.2.1. Niedrige Systemtemperaturen ermöglichen Kostensenkungen .....	19
	5.2.2. Kostenreduktionsgradient als Bewertungskonzept.....	20
	5.2.3. Anwendung des Kostensenkungsgradienten .....	20
	5.2.4. Zusammenfassung der bewerteten wirtschaftlichen Vorteile .....	21
	5.2.5. Schlussfolgerungen zum wirtschaftlichen Nutzen.....	23
	5.3. Niedrigere Temperaturen innerhalb von Gebäuden .....	24
	5.4. Niedrigere Temperaturen in Wärmeverteilungsnetzen .....	26
	5.4.1. Lektionen zur Erreichung niedrigerer Systemtemperaturen.....	27
	5.4.2. Schlussfolgerungen zu Niedertemperatursystemen .....	28
	5.5. Angewandter Fall: Campus Lichtwiese an der TU Darmstadt .....	29
	5.6. Wettbewerbsfähigkeit von Niedertemperatur-Fernwärme .....	30
	5.7. Praktische Umsetzung von Niedertemperatur-Fernwärme .....	31
	5.8. Strategien für die Transformation zu Niedertemperatursystemen.....	34
	5.9. Veröffentlichungen aus dem Annex .....	35
<b>6</b>	<b>Vernetzung und Ergebnistransfer</b> .....	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen</b> .....	<b>38</b>
	7.1. Technologische Entwicklungen.....	38
	7.2. Nicht-technische Aspekte .....	39
	7.3. Politische Implikationen.....	40
	7.3.1. Carbon pricing.....	40
	7.3.2. Institutionelle Regeln.....	42
	7.3.3. Marktunterstützung .....	43

7.4. Empfehlungen.....	44
7.5. Hauptschlussfolgerung des Guidebooks.....	45
7.6. Weiterführende Aktivitäten.....	45
<b>8 Anhang.....</b>	<b>52</b>





# 1 Kurzfassung

**Ausgangssituation/Motivation:** Sich ändernde Marktbedingungen und die Notwendigkeit zur Vermeidung jeglicher CO<sub>2</sub>-Emissionen machen es notwendig, die gegenwärtigen Erzeugungsstrukturen in der Wärmeversorgung zu überdenken. Da erneuerbare Brennstoffe zunehmend für den Industrie- und Mobilitätssektor verwendet werden, spielen im Bereich der Wärmeversorgung alternative Quellen wie Solar- und Geothermie, Umgebungswärme und Abwärme sowie der Einsatz von Wärmepumpen eine immer größere Rolle. Deren Potential bzw. Wirtschaftlichkeit ist bei niedrigen Systemtemperaturen am höchsten, aktuelle Fernwärmenetze sind aber von hohen Temperaturniveaus dominiert. Entsprechend ist neben der Installation von Niedertemperatursystemen (sogenannte Fernwärmenetze der 4. Generation (4GDH)) die Senkung der Systemtemperaturen in Bestandsystemen von entscheidender Bedeutung für eine nachhaltige Dekarbonisierung.

**Zielsetzungen und Methodik:** Das Ziel des IEA DHC Annex TS2<sup>1</sup> ist es, die Umsetzung von bzw. Transformation von Fernwärmenetzen in Richtung der 4. Generation zu erleichtern. Dazu bildet der Annex TS2 eine Plattform, welche mit internationalen Expert:innen die Voraussetzungen für die Implementierung schafft. Dabei wurden folgende 5 Themengebiete behandelt:

1. Technologie: notwendige technologische Lösungen für die 4GDH-Umsetzung
2. Systemfunktionen: mit Fokus auf der effizienten Funktionsweise der Technologien
3. Demonstration: Analyse und Evaluierung von Demonstrationsanlagen
4. Konkurrenzfähigkeit: Evaluierung und Untersuchung effizienter Geschäftsmodelle für 4GDH
5. Disseminierung und Handbuch: Sammlung der Ergebnisse und Erstellen eines Handbuches

Innerhalb des Annex TS2 hat ein österreichisches Konsortium bestehend aus AIT, AEE Intec, TU Wien und Austroflex teilgenommen und vor allem im Bereich der Systemanalyse (Task lead: AIT) und durch verschiedene Fallbeispiele beigetragen.

**Ergebnisse und Schlussfolgerungen:** Im Neubau sind Niedertemperatur-Fernwärme einfacher zu realisieren als von vielen Akteuren angenommen, jedoch sind geeignete Prozesse zu implementieren und es bedarf eines gewissen Weitblicks. In Bestandsnetzen stellen allerdings die vorherrschenden hohen Vorlauftemperaturen einen lock-In Effekt dar: Bei fossilen Energieträgern (und Biomasse) sind die wirtschaftlichen Vorteile geringerer Systemtemperaturen gering, was in einer geringen Motivation zur Reduktion des Temperaturniveaus resultiert. Dementsprechend fehlen konkrete Anreize zur Initiierung von Maßnahmen zur Reduktion der Rücklauftemperaturen, was wiederum in einem reduzierten Potential alternativer Wärmequellen resultiert und die Dominanz der Hochtemperaturerzeuger stabilisiert.

---

<sup>1</sup> <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/2017-2021-annex-ts2>

## 2 Abstract

**Initial situation/motivation:** Changing market conditions and the need to avoid CO<sub>2</sub> emissions make it necessary to rethink the current generation structures in heat supply. Since renewable fuels are increasingly used for the industrial and mobility sectors, alternative sources such as solar and geothermal energy, ambient heat and waste heat as well as heat pumps will play an increasingly important role in the heat supply sector. However, their potential and economic efficiency is highest at low system temperatures, but current district heating networks are dominated by high temperatures. Accordingly, besides the installation of new low-temperature systems (so-called 4th generation district heating networks (4GDH)), the reduction of system temperatures in existing systems is of crucial importance for sustainable decarbonisation.

**Objectives and methodology:** The objective of the IEA DHC Annex TS2 is to facilitate the implementation or transformation of district heating networks towards the 4th generation. For this purpose, the Annex TS2 forms a platform that creates the prerequisites for implementation with international experts. In this context, the following 5 topics were addressed:

1. technology: necessary technological solutions for 4GDH implementation
2. system functions: with a focus on the efficient functioning of the technologies
3. demonstration: analysis and evaluation of demonstration systems
4. competitiveness: evaluation and investigation of efficient business models for 4GDH
5. dissemination and handbook: collection of results and preparation of a handbook.

Within Annex TS2, an Austrian consortium consisting of AIT, AEE Intec, TU Wien and Austroflex participated and contributed mainly in the area of system analysis (task lead: AIT) and through various case studies.

**Results and conclusions:** In new buildings, low-temperature district heating is easier to realise than assumed by many actors, but suitable processes have to be implemented and a certain foresight is needed. In existing networks, however, the prevailing high flow temperatures represent a lock-in effect: For fossil fuels (and biomass), the economic advantages of low system temperatures are low, resulting in little motivation to reduce the temperature level. Accordingly, there is a lack of concrete incentives to initiate measures to reduce return temperatures, which in turn results in a reduced potential of alternative heat sources and stabilises the dominance of high-temperature generators.

# 3 Ausgangslage

In vielen städtischen Gebieten transportieren Fernwärmesysteme Wärme durch Rohre von verfügbaren Wärmequellen zu Gebäuden und anderen Prozessen, die Wärme benötigen. Zu den wichtigsten Wärmequellen gehört recycelte Wärme aus verschiedenen Prozessen, die über beträchtliche Mengen an Restwärme verfügen (z. B. Wärmekraftwerke). Ein Teil der Wärme wird auch aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen. Fossile Brennstoffe sind jedoch weiterhin die primäre Energiequelle, wenn auch in unterschiedlichen Anteilen in den verschiedensten Systemen.

Wärmeverteilungsleitungen sollten kurz sein, um Wärmeverluste und Verteilungskosten zu begrenzen. Zu lange Leitungen sind nicht wettbewerbsfähig mit lokalen Wärmeerzeugungseinheiten, wie Wärmepumpen, Biomassekesseln oder Elektrokesseln. Kurze Leitungen treten in Gebieten mit hohem Wärmebedarf innerhalb einer bestimmten Fläche auf (Gebiete mit hoher Wärmedichte), während längere Leitungen in Gebieten mit niedriger Wärmedichte erforderlich sind.

Fernwärmesysteme erhöhen die Energieeffizienz unseres globalen Energiesystems, da die zurückgewonnene Wärme einen großen Teil der Primärenergieversorgung ersetzen kann. Durch den Einsatz von Fernwärmesystemen kann ein deutlich kleinerer CO<sub>2</sub>-Fußabdruck erzielt werden, da die Primärenergieversorgung von Gebäuden in Europa derzeit von fossilen Brennstoffen dominiert wird.

Zukünftige Fernwärmesysteme werden andere Marktbedingungen haben als die heutigen Systeme. Der hohe Wärmebedarf der KundInnen wird aufgrund thermischer Sanierung von Gebäuden reduziert werden. Auf der Angebotsseite werden erneuerbare Energien und Wärmerückgewinnung die derzeitige Wärmeaufbringung aus Prozessen, die auf fossilen Primärenergieträgern basieren, ersetzen. Zukünftige Systeme werden daher eine verbesserte Fernwärmetechnik nutzen, um die Dekarbonisierung zu erreichen. Ein wesentlicher Bestandteil dieser verbesserten Technologie ist die Verwendung von niedrigeren Systemtemperaturen, die eine höhere Effizienz der Wärmeversorgung mit sich bringen werden.

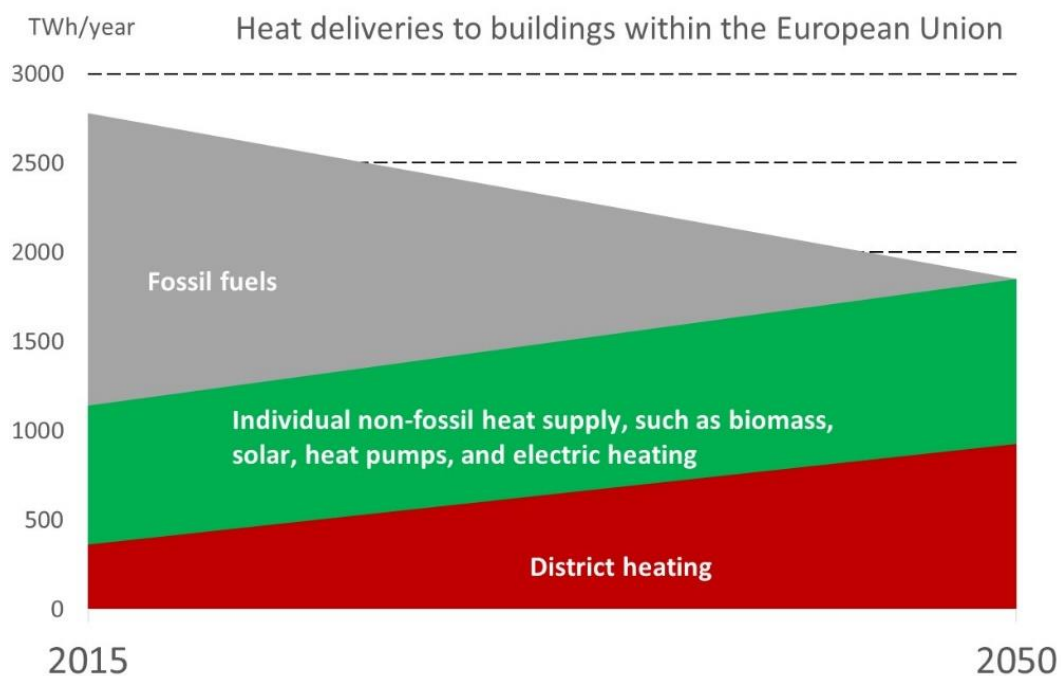
Kommerzielle Fernwärmesysteme sind bereits seit mehr als einem Jahrhundert in Betrieb. Ein kleines mittelalterliches französisches Fernwärmesystem (Chaudes-Aigues) liefert sogar seit dem 14. Jahrhundert geothermische Wärme. Derzeit werden etwa 13% des gesamten Wärmebedarfs für Gebäude innerhalb der Europäischen Union (EU) durch Fernwärme gedeckt, während der entsprechende weltweite Anteil bei etwa 8% liegt (Werner, 2017). Eine große Herausforderung für kommerzielle Fernwärmesysteme ist jedoch, dass zukünftige Gebäude weniger Wärme benötigen als heutige Gebäude (Mathiesen et al., 2019).

Kommerzielle Fernkältesysteme sind bereits seit den 1960er Jahren in Betrieb. Diese gibt es in den USA, dem Nahen Osten, Europa, China, Japan und Singapur. Innerhalb der EU liefern Fernkältesysteme etwas mehr als 1% der gesamten Kältelieferung (Werner, 2016). Da jedoch die gesamte Kältelieferung aus allen Kältequellen nur 6% der gesamten Wärmelieferung aus allen Wärmequellen beträgt, entspricht die Kältelieferung aus europäischen Fernkältesystemen nur 2% der gesamten Wärmelieferung aus Fernwärmesystemen. Es wird jedoch erwartet, dass der letztgenannte Anteil mit dem steigenden Kältebedarf zunimmt (IEA, 2018), während der Wärmebedarf voraussichtlich abnehmen wird.

Laut dem Abschlussbericht des Clusterprojekts *Heat Roadmap Europe* (Mathiesen et al., 2019) können Fernwärme und -kälte eine wichtige Rolle bei der Erreichung des EU-Ziels der reduzierten Nutzung fossiler Brennstoffe für die Gebäudeheizung spielen. Eine Zusammenfassung dieses Clusterprojekts in Bezug auf die Wärmeversorgung von Gebäuden innerhalb der EU ist in Abbildung 1 dargestellt.

Basierend auf den in Abbildung 1 dargestellten Informationen kann etwa ein Drittel des aktuellen Wärmebedarfs durch Energieeffizienzmaßnahmen innerhalb von Gebäuden reduziert werden. Der heutige Anteil der individuellen nicht-fossilen Wärmeversorgung (<30%) könnte bis 2050 auf ca. 50% steigen. Damit könnte sich dieser Marktanteil nahezu verdoppeln. Die entsprechend mögliche Entwicklung der Fernwärme könnte bis 2050 ebenfalls von 13% auf ca. 50% ansteigen, was einen etwa viermal so hohen Marktanteil bedeutet. Die stärkere Entwicklung der dekarbonisierten Fernwärme im Vergleich zu Einzellösungen lässt sich durch die großen Mengen an fossilen Brennstoffen erklären, die in dichten städtischen Gebieten verbraucht werden, in denen die Fernwärme wettbewerbsfähiger ist. Somit kann die Verwendung fossiler Brennstoffe für die Heizung in europäischen Gebäuden bis 2050 potenziell eliminiert werden.

Abbildung 1: Möglicher Übergang von der derzeitigen Wärmeversorgung (ausgedrückt mit der Herkunft der Versorgung) zu einer vollständigen Dekarbonisierung von Gebäuden innerhalb der EU bis 2050, gemäß dem Clusterprojekt *Heat Roadmap Europe*.



# 4 Projektinhalt

## 4.1. Kurzbeschreibung der Ziele, Inhalte und Ergebnisse des Annexes

Ziel des IEA DHC Annex TS2 war es, die Umsetzung der 4. Generation der Fernwärme (4GDH) zu erleichtern. Im Rahmen dieses Projekts sollten die Voraussetzungen für eine Umsetzung von 4GDH mit Hilfe von internationalen Expert:innen entwickelt werden. Basierend auf einer Studie der bereits durchgeführten Arbeiten über 4GDH, wurden im Annex-Projekt folgende 5 Themengebiete adressiert: Technologie, Systemfunktionen, Demonstration, Wettbewerbsfähigkeit und Disseminierung. Die in den fünf Themenfeldern generierten Informationen wurden in Form des **international gemeinsam entwickelten Guidebooks** zusammengefasst und im Rahmen von Workshops und Schulungen an teilnehmende Forscher, Anwender, Vertreter der Fernwärmeindustrie und Entscheidungsträger:innen disseminiert.

Nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Tasks sowie Taskinhalte des nationalen Projektes. Die Aufgabenstellungen der österreichischen Projektpartner im Annex lag bei der inhaltlichen Verantwortung und Subtaskleitung der systemischen Aspekte von NT-FW (Kapitel 4 „*Lower temperatures in heat distribution networks*“ im Guidebook). Des Weiteren wurden den anderen Subtaskleitern Inhalte zur Verfügung gestellt und entsprechend für das Guidebook aufbereitet. Von den österreichischen Projektpartnern wurden in Summe zu 10 Demonstratoren Inhalte zusammengetragen und aufbereitet für die interne „*Grosslist*“. Allen voran wurden die drei österreichischen Demonstratoren „*Gleisdorf*“, „*Stadtwerk Lehen*“ und „*Graz Reininghaus*“ als international interessant angesehen. Daher werden diese auch im Guidebook angeführt.

Tabelle 1: Übersicht über Tasks sowie Taskinhalte

Task	Task Beschreibung
<b>1. Projektmanagement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interne Workshops und Projektmeetings</li> <li>• Kommunikation mit dem Auftraggeber und Koordination zwischen den anderen Teilnehmern im Annex</li> <li>• Teilnahme an Annex-Meetings</li> <li>• Berichtslegung</li> </ul>
<b>2. Gebäudeseitige Technologien für NT-Versorgung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehler- und Ursachendokumentation</li> <li>• Maßnahmen zur Reduktion der Temperatur</li> <li>• Kosten-Nutzen-Analyse von Optimierungsmaßnahmen</li> </ul>
<b>3. Technologien und Strategien für NT-Fernwärmesystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse von Schlüsselkomponenten</li> <li>• Systembewertung</li> <li>• Ermittlung von Transformationsstrategien</li> <li>• Bewertung von Werkzeugen und Methoden</li> </ul>
<b>4. Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit von NT-Systemen und Ermittlung geeigneter Geschäftsmodelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition von Vergleichssystemen</li> <li>• Techno-ökonomische Analyse</li> <li>• Entwurf eines Geschäftsmodells inkl. Randbedingungen</li> </ul>
<b>5. Demonstration und Bewertung von Use-cases</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition von Use-cases</li> <li>• Auswertung und Bewertung</li> </ul>
<b>6. Dissemination</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handbuch (Guidebook)</li> <li>• Diverse Disseminationsaktivitäten (Fachartikel und Vorträge auf nationalen/internationalen Konferenzen)</li> </ul>
<b>7. Vorleistung: Definition Workshops</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertretung Österreichs bei den Definition Workshops</li> <li>• Beitrag zum Legal Text</li> </ul>

## 4.2. Status (inkl. Aktivitäten und Zeitplan des Annexes)

Der IEA DHC Annex TS2 startete mit 1.1.2018 mit einer geplanten Laufzeit bis 31.03.2021. COVID-19 bedingt, traten leichte Verzögerungen bei der Fertigstellung des internationalen Guidebooks auf, wodurch die geplante Laufzeit kostenneutral um drei Monate auf Ende Juni 2021 verlängert wurde. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, wurden in den ersten sechs Monaten Vorbereitungsarbeiten durchgeführt. Das Start-Up Meeting fand im Oktober in Nürnberg unter Beteiligung des AIT statt. Der Zeitplan ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Zeitplan des IEA DHC Annex TS2

Start	Ende	Aktivität
03/2017	03/2017	• 1. Definition phase Workshop
05/2017	06/2017	• ExCo Meeting, Vorbereitung des Arbeitsprogrammes
09/2017	09/2017	• Bestätigung der Beteiligungen
01/2018	12/2019	• 2. Definition phase Workshop
01/2018	12/2019	• Subtask 1 - Heating systems of buildings
01/2018	12/2020	• Subtask 2 - District Heating System
01/2018	12/2020	• Subtask 3 - Demonstration Competitiveness
01/2020	12/2020	• Subtask 4 - Competitiveness
01/2021	03/2021	• Finalization of the Guidebook and final Dissemination

### 4.3. Partner des Annexes und deren Aufgaben im Projekt

Der IEA DHC Annex TS2 wurde von Kristina Lygnerud von der Halmstad University (HU) als Operating Agent geleitet. Als Partner nahmen folgende Organisationen und Länder teil (siehe Tabelle 3):

Tabelle 3: Teilnehmende Organisationen des IEA DHC Annex TS2

Organisation	Country
AIT Austrian Institute of Technology GmbH	Austria
AEE - Institut für Nachhaltige Technologien	Austria
TU Wien - Institut für Energietechnik und Thermodynamik	Austria
Austroflex Rohr-Isoliersysteme GmbH	Austria
DTU - Technical University of Denmark	Denmark
Danfoss	Denmark
Fraunhofer IEE	Germany
TU Darmstadt	Germany
Universität Kassel	Germany
Norwegian University of Science and Technology	Norway
Halmstad University	Sweden



## 4.4. Kooperations- und Verwertungsstrategie auf Annex-Ebene

**Kooperationsstrategie auf Annex Ebene:** Die inhaltliche Arbeit ist thematisch in Tasks aufgeteilt, wie in Tabelle 1 beschrieben. Jede/r Teilnehmer:in brachte eigene Inhalte und Ergebnisse nationaler Projekte ein, die jeweils von einer/m Taskleiter:in koordiniert werden. Die Taskleiter:innen sorgten dafür, dass die im Legal Text definierten Deliverables sowie der Zeitplan eingehalten wurden.

**Externe Verwertung:** Der Inhalt des Annexes, sein Projektfortschritt sowie die öffentlich zugänglichen (Teil-) Ergebnisse wurden auf einer Webseite publiziert.

Jeder Teilnehmer präsentierte die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Ergebnisse auf **internationalen Konferenzen** und in **Fachzeitschriften**.

**Interne Verwertung:** Ein Bericht über den Projektstatus und die geplanten Arbeiten wurde vom Operating Agent alle sechs Monate dem IEA DHC ExCo vorgelegt.

## 4.5. Einbettung der österreichischen Partner in den Annex zur Erlangung eines gemeinsamen Erkenntnisgewinns

Die Bietergemeinschaft (BIEGE), bestehend aus AIT, AEE INTEC und TU Wien, nahm an den internationalen Expert:innen-Workshops teil, um dort zum einen die Erkenntnisse aus laufenden Forschungsprojekten sowie die im Rahmen dieses Projekts durchzuführenden Arbeiten einzubringen, und zum anderen um sich mit den internationalen Expert:innen über deren laufende Forschungsaktivitäten auszutauschen. Das AIT hatte die Taskleitung und die inhaltliche Verantwortung zum Kapitel 4 „*Lower temperatures in heat distribution networks*“ im Guidebook über. Zusätzlich wurde im Laufe des Projekts der Aspekt der wirtschaftlichen Vorteile und die Bewertung durch Kennzahlen eingebracht. Es stellte sich heraus, dass dies zum Kernkapitel des Guidebooks werden sollte, weshalb die Struktur des Guidebooks umgestellt und das zusätzliche Kapitel 2 „*Economic benefits of low-temperature district heating*“ eingeführt wurde. Die Taskleitung dazu lag beim AIT.

## 4.6. Innovationsgehalt und Ergebnisse des Vorhabens

Ein wesentlicher Innovationsgehalt ist die Zusammenstellung und Nutzung einer großen Daten- und Wissensbasis aus unterschiedlichen internationalen Projekten. So können auf verschiedenen Ebenen Maßnahmen und Technologien identifiziert und bewertet werden, die zu einer verstärkten Reduktion der Temperaturen in Fernwärmenetzen führen, bzw. energetische und ökonomische Auswirkungen evaluiert werden. Durch die Einbringung internationaler Expertise und Erfahrungen sowie durch den Vergleich unterschiedlichster Fallbeispiele kann folgender Mehrwert gegenüber anderen laufenden Projekten erzielt werden:

- Bewertung und Analyse von international erprobten Maßnahmen und Methoden zur Reduktion von Temperaturen in FW-Netzen, sowie Analyse von Schlüsselkomponenten und Bewertung von Gesamtsystemen inkl. der Evaluierung von umgesetzten bzw. in Umsetzung befindlicher Use-Cases und Best-Practice Systemen.

- Internationale Erfahrungen können zur Erstellung und Bewertung geeigneter Geschäftsmodelle herangezogen werden.
- Begünstigende Rahmenbedingungen in anderen Ländern (z.B. Regulierungen, Gesetze usw.) können analysiert und für österreichische Märkte und Systeme adaptiert werden.

Die entwickelten Modelle und erworbenen Erfahrungen durch den internationalen Wissenstransfer, können die in Folge auch für österreichische Fallbeispiele angewendet werden.

#### **Folgende Ergebnisse wurden erzielt:**

- Dokumentation nationaler/internationaler Best Practice Beispiele, Identifikation von Fehlern und Ursachen für hohe Temperaturen in FW-Netzen und Darstellung erprobter Lösungsmöglichkeiten, inkl. Geschäftsmodelle
- Disseminierungstätigkeiten und Reporting:
  - Darstellung der Tätigkeiten und der Ergebnisse des IEA DHC Annex TS2 in Form eines Guidebooks
  - Fortschrittsberichte zum IEA DHC Annex TS2 zur Veröffentlichung in Newslettern und jährlicher Bericht zum ExCo des IEA DHC, Abschlussbericht (internationales Guidebook), der die Ergebnisse des IEA DHC Annex TS2 zusammenfasst
- Erstellung wissenschaftlicher Veröffentlichungen in internationalen Journalen und Konferenzen
- Initiierung lokaler Demonstrationsprojekte durch eine bessere Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie sowie durch geeignete Geschäftsmodelle, um ökonomisch sinnvolle Konzepte darzustellen

## **4.7. Methode und wissenschaftlicher Lösungsansatz**

Im Vordergrund der Beteiligung am IEA DHC Annex TS2 standen der Wissenstransfer und die internationale Zusammenarbeit innerhalb des Annexes. Darüber hinaus wurden ergänzende Arbeiten durchgeführt, deren Methodik im Folgenden beschrieben wird.

Zur Ermittlung der relevanten Daten zur Kosten-Nutzen-Analyse sowie zur Bewertung der Gesamtsysteme wurden im Wesentlichen Online- und Literaturrecherchen, Interviews mit Anlagenbetreiber:innen und Vertreter:innen sowie Expert:innen-Interviews genutzt. Es wurden außerdem erprobte Methoden zur techno-ökonomischen Bewertung sowie Technologie- und Trendanalysen eingesetzt.

Zusätzlich wurde ein interner Workshop durchgeführt. Für die Identifikation und Übertragung der Geschäftsmodelle wurde ein Business Model Canvas verwendet, das zusammen mit den Stakeholdern im Rahmen von Interviews skizziert wurde.

# 5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte des internationalen Guidebooks, welches im Rahmen des Annex TS2 des IEA-Programms zur technologischen Zusammenarbeit im Bereich Fernwärme und -kühlung (auch bekannt als IEA DHC|CHP-Programm, [www.iea-dhc.org](http://www.iea-dhc.org)) erstellt wurde, für die österreichischen Stakeholder aufbereitet und zusammengefasst. **Detailliertere Ergebnisse** sind dem **internationalen Guidebook** zu entnehmen.

Der 2018 gestartete IEA DHC Annex TS2 trägt den Namen "*Implementation of Low-Temperature District Heating Systems*" und war bis 2021 aktiv. Mehrere Forschungsgruppen aus Österreich, Dänemark, Deutschland, Norwegen und Schweden waren an diesem Annex beteiligt. Das Vorhaben wurde im Rahmen einer Aufgabenteilung (*Task share*) finanziert, da die Arbeitsbeiträge der einzelnen Partner durch nationale Forschungsfinanzierungsprogramme finanziert wurden.

## 5.1. Einleitung

Das im Rahmen des IEA DHC Annex TS2 entwickelte Guidebook zielt darauf ab, greifbare Informationen bereitzustellen, die die Implementierung von Niedertemperatur-Fernwärmesystemen (NT-FW) erleichtern. Diese Systeme liefern erneuerbare Wärme und Niedertemperatur-Überschusswärme zu geringeren Kosten als Hochtemperatur-Fernwärmesysteme. Durch den verstärkten Einsatz von NT-FW-Systemen kann eine bedeutende Transformation der grundlegenden Fernwärmetechnologie erreicht werden.

Diese technologische Transformation wird eine effiziente Eliminierung des Einsatzes fossiler Brennstoffe für die Beheizung von Gebäuden sein. Der Ersatz fossiler Brennstoffe ist von entscheidender Bedeutung für die Reduzierung der fortschreitenden globalen Erwärmung, die durch unsere massiven CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe verursacht wird. Daher unterstützt das Guidebook die erforderliche Substitution von Heizungen auf Basis fossiler Brennstoffe in Gebäuden durch Wärme, die durch erneuerbare Energien und recycelte Wärme bereitgestellt wird.

Ziel des Guidebooks ist es, Ratschläge und Rezepte zur Erreichung niedrigerer Netztemperaturen und anderer neuer Merkmale in bestehenden und neuen Fernwärmesystemen zu geben. Dieses Ziel wird erreicht, indem die Erfahrungen von frühen Anwendern in verschiedenen städtischen Gebieten in ganz Europa zusammengefasst und aufbereitet werden. Vor allem können die gewonnenen Erkenntnisse in neuen und expandierenden Fernwärmesystemen angewendet werden. Die derzeitigen Fernwärmesysteme der ersten, zweiten und dritten Generation enthalten Merkmale, die niedrigere Netztemperaturen behindern. Ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung von Niedertemperatursystemen ist das Verständnis der aktuellen Barrieren, um sie in neuen und expandierenden Systemen zu vermeiden.

Während die Leser des Guidebooks verschiedene Fachleute umfassen, stellen Fernwärmepraktiker die wesentliche Zielgruppe dar, da sie diesen technologischen Wandel letztendlich durchführen werden. Das Guidebook soll Praktiker mit technischen Übersichten, Demonstrationen, Fallbeschreibungen und Beispielen von Übergangsstrategien inspirieren. Aber auch Politiker:innen

und Entscheidungsträger:innen im Energiesektor werden Schlussfolgerungen zur Technologieentwicklung, zu nicht-technischen Barrieren sowie zu politischen Implikationen und Empfehlungen gegeben. Darüber hinaus sollten Marktmanager:innen die durchgeführte Untersuchung der Wettbewerbsfähigkeit von Niedertemperaturen in Wärmeverteilungsnetzen berücksichtigen. Obwohl die meisten der Referenzen von frühen Anwendern von Niedertemperatursystemen aus Europa stammen, können die ausgearbeiteten Ratschläge und Strategien auch in den USA, Kanada, Russland, China, Japan, Korea und Chile uvm. angewendet werden, um zukünftige Fernwärmesysteme wettbewerbsfähiger zu machen.

## 5.2. Wirtschaftliche Vorteile von Niedertemperatur-Fernwärme

An dieser Stelle (Kapitel 2 im Guidebook) werden die motivierenden Faktoren untersucht, die auf erhöhte Effizienz und Kapazitätsgewinnen basieren, die sich aus niedrigeren Systemtemperaturen ergeben - einem wichtigen Werkzeug für eine kostengünstigere Dekarbonisierung.

In Bezug auf die Wärmeerzeugung konzentrieren sich die Untersuchungen auf die vielversprechendsten Technologien für zukünftige Fernwärmenetze und die Auswirkungen auf Wärmespeicher und Verteilung werden beschrieben. Abschnitt 5.2.4 fasst die wirtschaftlichen Vorteile niedrigerer Systemtemperaturen zusammen, die in Abbildung 2 dargestellt sind.

Abbildung 2: Übersicht über die positiven Auswirkungen der reduzierten Systemtemperaturen und den Umfang der Bewertungen.



### 5.2.1. Niedrige Systemtemperaturen ermöglichen Kostensenkungen

In Bezug auf die Wärmeversorgung gibt es zwei grundlegend verschiedene Fälle für Kostensenkungen. Niedrigere Wärmeversorgungskosten können entweder durch eine Senkung der Investitionskosten für neue Wärmeversorgungsanlagen oder durch eine Senkung der Betriebskosten bestehender Fernwärmesysteme erreicht werden.

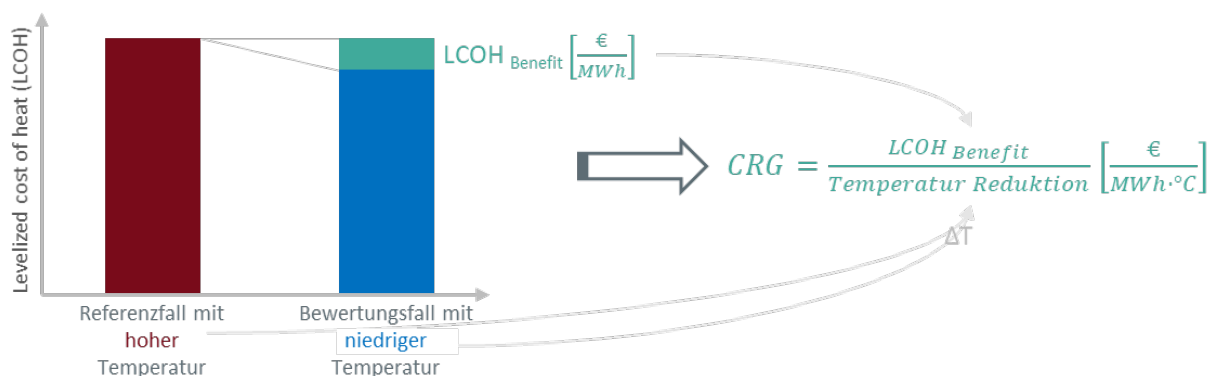
Im Fall der Senkung der Investitionskosten für eine neue Anlage kann eine kleinere neue Versorgungsanlage, die mit einer niedrigeren Temperatur arbeitet, die gleiche Wärmeleistung liefern wie eine etwas größere Anlage, die mit einer höheren Temperatur arbeitet. Dadurch ergibt sich eine geringere Annuität für die geringeren Investitionskosten, was darauf hindeutet, dass die neue Anlage selbst für die reduzierten Kosten verantwortlich ist.

Im Falle der Senkung der Betriebskosten einer bestehenden Anlage erhöhen niedrigere Temperaturen den Wirkungsgrad einer bestehenden Versorgungsanlage, so dass diese ihre Wärmeleistung erhöhen und damit die Wärmeversorgung einer teureren Anlage ersetzen kann. Dies führt zu niedrigeren jährlichen Betriebskosten im gesamten Fernwärmesystem, d.h. die Kostenreduzierung wird außerhalb der neu installierten, effizienteren Anlage erzielt.

### 5.2.2. Kostenreduktionsgradient als Bewertungskonzept

Um diese Kostensenkungen zu quantifizieren, dient der "Kostenreduktionsgradient" („Cost Reduction Gradient“, CRG) als wichtiger Indikator. Grafisch definiert in Abbildung 3, wird der CRG berechnet, indem die Reduktion der Wärmegestehungskosten („Levelized Cost of Heat“, LCOH) für eine Versorgungstechnologie oder ein Gesamtsystem durch die erreichte Temperaturreduktion dividiert wird. Die Differenz zwischen einem höheren LCOH (Referenzfall) und einem niedrigeren LCOH (Bewertungsfall) ist der  $LCOH_{Benefit}$ . Im Bewertungsfall ist ein niedrigerer LCOH-Wert das Ergebnis eines niedrigeren Temperaturniveaus. Der CRG beschreibt den wirtschaftlichen Nutzen/Vorteil in Form von reduzierten Kosten pro Grad Celsius Temperaturreduktion und pro MWh bezogen auf die Referenzwärmemenge. Je höher der CRG-Wert in  $\text{€}/(\text{MWh}\cdot\text{°C})$ , desto größer ist die Sensitivität der Kostenreduktion für die Wärmeversorgungsanlage bzw. das Fernwärmesystem.

Abbildung 3: Konzept der energiewirtschaftlichen Bewertungen mit der Kennzahl „Cost Reduction Gradient“ (CRG) in  $\text{€}/(\text{MWh}\cdot\text{°C})$



### 5.2.3. Anwendung des Kostensenkungsgradienten

Die gegebene Temperaturreduzierung sollte die Verringerung der Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmeverteilungsnetzes berücksichtigen und als Änderung der durchschnittlichen Jahresnetztemperatur ausgedrückt werden. Diese Temperaturreduzierung kann zunächst durch niedrigere Rücklauftemperaturen erreicht werden, die eine Senkung der Vorlauftemperaturen durch Aufrechterhaltung des größtmöglichen Durchflusses im Netz ermöglichen. Diese Strategie ist wichtig, weil die Effizienz in vielen Wärmeversorgungsanlagen mit niedrigeren Vorlauftemperaturen verbunden ist. Allerdings sind mitunter auch wirtschaftliche Vorteile mit niedrigeren Rücklauftemperaturen verbunden, vor allem bei Rauchgaskondensation.

Die Referenzwärmemenge in Fernwärmesystemen bezieht sich auf die an die Kund:innen gelieferte Wärme, die letztendlich zu erfüllende Aufgabe eines Fernwärmesystems. Wenn nur eine bestimmte Wärmeversorgungsanlage betrachtet wird, sollte die Wärmeleistung dieser Technologie um

Wärmeverteilungsverluste bereinigt werden, um Vergleiche mit CRG-Werten anderer Technologien oder Systeme zu erleichtern. Ein Standard-Wärmeverteilungsverlust von 10 % kann verwendet werden, um CRG-Werte für separate Wärmeversorgungstechnologien zu schätzen.

Für alle angeführten Wärmeversorgungstechnologien wurden energiewirtschaftliche Bewertungen für Referenz- und Bewertungsfälle durchgeführt. Es wurden sowohl Fernwärmesysteme als auch einzelne Wärmeversorgungstechnologien bewertet. Thermodynamische Modelle wurden verwendet, um Kapazitäts- und Effizienzsteigerungen zu untersuchen. Basierend auf den Modellen wurden Simulationsläufe für verschiedene Temperaturniveaus durchgeführt. Für Referenzanlagen wurden Kostendaten aus vorhandener Literatur abgeleitet, wobei indikative Kostenschätzungen von Herstellern berücksichtigt wurden. Basierend darauf wurden LCOHs sowohl für Referenz- als auch für Bewertungsfälle ermittelt.

Es ist möglich, CRG-Abschätzungen zu erhalten, indem entweder eine bestimmte Wärmeversorgungstechnologie oder ein gesamtes Fernwärmesystem bewertet wird. Bei der Bewertung einer spezifischen Wärmeversorgungstechnologie wird ein bestimmter Beispiellastfall mit verschiedenen Temperaturniveaus untersucht, ein Ansatz, der von (Geyer, 2020; Geyer et al., 2021) verwendet wird. Ein anderer Ansatz ist die Bewertung eines Gesamtsystems, bei dem der Betrieb während eines Jahres simuliert und der aggregierte wirtschaftliche Nutzen aller temperaturabhängigen Versorgungsanlagen zusammen abgeschätzt wird (siehe u.a.: Dahlberg & Werner, 1997; Frederiksen & Werner, 2013; Castro Flores et al., 2017; Lund et al., 2018; Eriksson, 2020; Sorknæs et al., 2020; Müller et al., 2020; Averfalk & Werner, 2020).

Obwohl mit einer Wärmepumpe immer eine Niedertemperatur-Wärmequelle genutzt werden kann, entstehen dabei sowohl Investitionskosten als auch Betriebskosten, die dem Stromverbrauch der Wärmepumpe entsprechen. Niedrigere Wärmeverteilungstemperaturen können den direkten Einsatz eines Wärmetauschers ermöglichen, was zu einer erheblichen Kostenreduzierung führt. In diesen Untersuchungen werden jedoch keine CRG-Werte für diese Art der Kostenreduzierung geschätzt.

Die angeführten CRG-Werte ermöglichen eine erste Schätzung der jährlichen Kostenreduktion für jedes Fernwärmesystem, das die gleiche Wärmeversorgungstechnologie verwendet. Diese Kostenreduktion kann als Produkt aus dem geschätzten CRG-Wert, dem Anteil der an die Kund:innen gelieferten Wärme und der prognostizierten Temperaturreduktion ermittelt werden.

#### **5.2.4. Zusammenfassung der bewerteten wirtschaftlichen Vorteile**

Ohne motivierende Faktoren, die eine Senkung der Temperaturen seitens der Versorgungsunternehmen vorantreiben, gibt es keine konkreten Anreize für Bauherr:innen, Eigentümer:innen oder Kund:innen, Maßnahmen zur Verringerung der Abhängigkeit von hohen Vorlauftemperaturen oder zur Minimierung der Rücklauftemperaturen einzuleiten. Infolgedessen werden in neuen Gebäuden weiterhin Hochtemperatur-Heizsysteme zum Einsatz kommen, was die Notwendigkeit einer dauerhaften Nutzung von Hochtemperatur-Wärmequellen begründet (Lock-in-Effekt). Um Lock-in-Effekte abzuwenden, hebt dieses Kapitel die Vorteile hervor, die reduzierte Systemtemperaturen fördern, einschließlich Effizienzverbesserungen, Kapazitätssteigerungen, verringerte Verteilungsverluste und einfachere Integration alternativer Wärmequellen.

Das Konzept des Kostenreduktionsgradienten (CRG) erleichtert die Quantifizierung der positiven wirtschaftlichen Auswirkungen von niedrigeren Systemtemperaturen. Diese Auswirkungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst und umfassen sowohl Investitions- als auch Bestandsfälle. Die größten finanziellen Vorteile können durch neue alternative Wärmequellen erzielt werden, wobei der Vergleich zeigt, dass die untersuchten CRGs in ähnlichen Größenordnungen liegen. Dies stärkt den Nachweis für den wirtschaftlichen Nutzen von reduzierten Systemtemperaturen.

Tabelle 4: Übersicht über die prognostizierten wirtschaftlichen Auswirkungen von reduzierten Systemtemperaturen, entsprechend dem Kostenreduktionsgradienten (CRG) in €/ (MWh·°C).

Technologie	Investitionsfälle (Reduktion der Investitionskosten)	Bestandsfälle (Reduktion der Betriebskosten)
Geothermie	0,45 – 0,74	0,67 – 0,68
Wärmepumpe	0,41	0,63 – 0,67
Abwärme	0,65	0,51
Solarthermie - Flachkollektor	0,35 – 0,75	Nicht verfügbar
Solarthermie - Vakuumröhrenkollektor	0,26	Nicht verfügbar
Biomassekessel mit Rauchgaskondensation	Nicht verfügbar	0,10 – 0,13
Biomasse-KWK mit Gegendruckturbine	Nicht verfügbar	0,10 – 0,16
Biomasse-KWK mit Entnahmeturbine	Nicht verfügbar	0,09
Abfall-KWK mit Rauchgaskondensation	Nicht verfügbar	0,07
Tagesspeicher als Tankwärmespeicher	0,01	0,07
Saisonalen Erdbeckenspeicher	0,07	0,07
Wärmeverteilungsverluste	Nicht verfügbar	0 – 0,13

Zu betonen ist, dass die CRG-Schätzungen nicht immer additiv sind. Besonders in großen, komplexen Systemen mit vielen verschiedenen Wärmeerzeugungseinheiten können Aufhebungseffekte auftreten. In solchen Fällen sind detaillierte Simulationsanalysen erforderlich. Diese Situation kann z.B. in einer KWK-Anlage mit Rauchgaskondensation auftreten, wenn in der Rauchgaskondensationsanlage, die sich vor dem Turbinenkondensator befindet, mehr Wärme durch den Rücklauf zurückgewonnen wird. Dies führt dazu, dass der Turbinenkondensator ähnliche Rücklaufemperaturen wie vor der Temperaturabsenkung erhält, was den Effekt der erhöhten Stromerzeugung zunichtemacht, da die Wärmeerzeugung im Turbinenkondensator reduziert wird. Nichtsdestotrotz sind die geschätzten CRG-Werte nützliche und gute Indikatoren, die eine ungefähre Abschätzung des wirtschaftlichen Nutzens der Temperaturabsenkung ermöglichen.

Aus der Technologieübersicht in Tabelle 4 können mehrere Schlussfolgerungen gezogen werden. Erstens weisen traditionelle Verbrennungsprozesse (wie KWK-Anlagen und reine Heizkessel mit Rauchgaskondensation) CRG-Werte zwischen 0,10 und 0,16 €/ (MWh·°C) auf. Zweitens finden sich entsprechende CRG-Werte für Niedertemperatur-Wärmequellen – wie Geothermie, Wärmepumpen und Abwärme – im Bereich zwischen 0,5 und 0,7 €/ (MWh·°C). Damit weisen diese neuen Niedertemperatur-Wärmequellen etwa fünfmal höhere CRG-Werte auf als traditionelle Wärmeversorgungssysteme.

Dementsprechend kann eine allgemeine Prognose für europäische Fernwärmesysteme erstellt werden. Der zukünftige wirtschaftliche Nutzen eines Niedertemperatur-Fernwärmesystems kann auf etwa 0,5 €/ (MWh·°C) geschätzt werden. Dies bedeutet ein Gesamtkostenreduktionspotenzial von 14 Mrd. Euro pro Jahr, wenn man von einem zukünftigen jährlichen Wärmeabsatz in der EU von 950 TWh und einer Temperatursenkung von 30 °C ausgeht. Diese Kostenreduktion entspricht einem Kapitalwert von mehr als 200 Mrd. Euro.

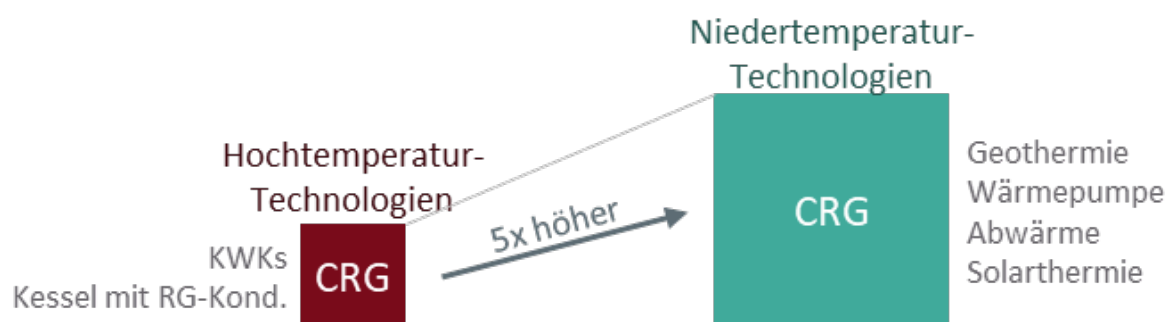
### 5.2.5. Schlussfolgerungen zum wirtschaftlichen Nutzen

Zukünftige Fernwärmenetze werden von diversifizierten, alternativen Wärmequellen dominiert sein. Die Auswertungen dieses Kapitels zeigen, dass die Systemtemperaturen einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben werden als der bestehende Erzeugungsmix, der durch Verbrennungstechnologien dominiert ist. Wie Abbildung 4 zeigt, ist der CRG für Niedertemperatur-Erzeugungstechnologien (z. B. Geothermie) im Vergleich zu Hochtemperatur-Erzeugungstechnologien (z. B. KWKs oder reine Heizkessel mit Rauchgaskondensation) etwa fünfmal höher.

Es gibt kontinuierliche Verbesserungen und Veränderungen bei Niedertemperatursystemen, welche wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu Hochtemperaturversorgungssystemen ermöglichen. Daher müssen Maßnahmen zur Senkung der Systemtemperaturen früher als später ergriffen werden, um zukunftsfähige Fernwärmenetze zu ermöglichen.

Schlussendlich ergeben sich, entgegen weit verbreiteter Vermutungen, die größten wirtschaftlichen Vorteile aus den Wärmeerzeugungseinheiten und nicht aus der Verringerung der Wärmeverteilungsverluste in den Netzen.

Abbildung 4: Indikativer Vergleich des Kostenreduktionsgradienten (CRGs) zwischen Hoch- und Niedertemperatur-Technologien





### 5.3. Niedrigere Temperaturen innerhalb von Gebäuden

Der Hauptzweck von Fernwärmesystemen besteht darin, Wärme an Gebäude zu liefern, um den Komfort der Gebäudenutzer:innen zu gewährleisten. Fernwärmemetemperaturen und Wärmelasten sind daher mit den Komfortanforderungen der Bewohner und der Auslegung der Gebäudeinstallationen für Raumheizung, Warmwasserbereitung und Lüftung verbunden. Wenn der Wärmebedarf und die Heizungsanlagen eines Gebäudes eine hohe Vorlauftemperatur erfordern, kann dies bedeuten, dass die Vorlauftemperaturen im gesamten Fernwärmenetz hoch sein müssen. Ähnlich verhält es sich, wenn die Heizungsanlagen in Gebäuden nicht richtig ausgelegt oder betrieben werden, das Heizwasser nicht ausreichend ausgekühlt wird und die Rücklauftemperaturen hoch sind. Hohe Vorlauf- und/oder Rücklauftemperaturen führen zu ineffizienten Fernwärmesystemen, bei denen die Wärmeverluste höher als nötig sind und die Wärmeerzeugung teurer ist, weil Niedertemperaturquellen, z.B. Abwärme und Rauchgaskondensation, nicht richtig genutzt werden können. Niedrigere Fernwärmeverlauftemperaturen erfordern daher eine genaue Betrachtung des Wärmebedarfs und der Heizungsanlagen von Gebäuden, um sicherzustellen, dass die Heizungsanlagen richtig ausgelegt, betrieben und geregelt werden, damit möglichst niedrige Fernwärmeverlauftemperaturen erreicht werden können.

Im Kapitel 3 des Guidebooks werden die grundlegenden Kenntnisse vermittelt, die erforderlich sind, um den Betrieb von Gebäudeinstallationen sowohl in bestehenden als auch in neuen Gebäuden zu verbessern, damit die Vorlauftemperaturen in Fernwärmesystemen gesenkt werden können. Die ersten beiden Abschnitte des Kapitels enthalten eine allgemeine Einführung zu Gebäuden und Fernwärmeinstallationen in Gebäuden. Danach werden aktuelle Erkenntnisse zur Absenkung der Fernwärmemetemperaturen in Gebäuden beschrieben. Es werden Ideen zum Umgang mit den derzeit hohen Vorlauftemperaturanforderungen in Gebäuden und zur Behebung einfacher typischer Störungen in Übergabestationen beschrieben, um dann zu den komplexeren Problemen überzugehen, die in internen Heizungsanlagen gelöst werden müssen. Schließlich werden Informationen darüber gegeben, wie neue Gebäudeinstallationen für niedrigere Temperaturen ausgelegt werden können und was beim Anschluss bestehender Gebäude an ein Fernwärmesystem zu beachten ist. Das Guidebook adressiert folgende Aspekte:

- Temperaturanforderungen und Wärmebedarf in Gebäuden
- Gebäudeinstallationen und ihr Einfluss auf die Fernwärmemetemperaturen
- Kund:innen mit hohem Vorlauftemperaturbedarf
- Störungen und Fehler in Übergabestationen, die zu höheren Temperaturen führen
- Nutzung der Daten zur Identifizierung von Heizsystemverbesserungen
- Maßnahmen zur Senkung der Temperaturen in Raumheizungssystemen
- Maßnahmen zur Senkung der Temperaturen in Warmwassersystemen
- Maßnahmen zur Senkung der Temperaturen in Lüftungsanlagen
- Wie man neue Gebäudeinstallationen für niedrige Temperaturen auslegt
- Was zu beachten ist, wenn bestehende Gebäude an die Fernwärme angeschlossen werden
- Wichtigste Schlussfolgerungen zu niedrigeren Temperaturen in Gebäuden

Die wichtigste Erkenntnis ist, dass es in den meisten Fällen möglich ist, niedrigere Fernwärmemetemperaturen zu verwenden als die, die heute sowohl in neuen als auch in bestehenden Gebäuden üblicherweise angewendet werden. In den meisten Fällen sind die

Fernwärmepemperaturen viel höher als erforderlich, um die nationalen Temperaturanforderungen für Legionellen und die typischen Komfortanforderungen für die Raumheizung zu erfüllen.

Das größte Hindernis für niedrigere Fernwärmepemperaturen ist das Auftreten von einfachen Störungen und Fehlern in den Fernwärmeübergabestationen. Die Hauptaufgabe bei der Senkung der Fernwärmepemperaturen ist daher, diese zu beseitigen. Verstärkte Wartung und automatische Fehlererkennung in den Gebäudeübergabestationen sind die wichtigsten Werkzeuge zur Erreichung niedriger Systemtemperaturen, die in Fernwärmesystemen eingesetzt werden sollten.

Die Behandlung von Legionellen ist ein wichtiger Aspekt, wenn es um den Niedertemperaturbetrieb geht. Das Hauptrisiko des Legionellen-Wachstums ist oft auf die schlechte Auslegung oder den Betrieb der internen Gebäudeinstallationen zurückzuführen. Es gibt Alternativen zur thermischen Behandlung von Legionellen, aber in den meisten bestehenden Gebäuden müssen sich Fernwärmeunternehmen auf häufige Ablesungen von Wärmemengenzählern verlassen, um sicherzustellen, dass die Fernwärmeverlauftemperatur beim Eintritt jedes einzelnen Kund:innen hoch genug ist, um die nationalen Anforderungen für die thermische Behandlung von Legionellen in Warmwasseranlagen zu erfüllen.

Längerfristig ermöglichen thermische Sanierungen niedrigere Fernwärmepemperaturen, indem sie den Wärmebedarf in bestehenden Gebäuden senken und damit die benötigten Raumheiztemperaturen in den häufig überdimensionierten bestehenden Heizungsanlagen reduzieren. Die geschickte Auslegung neuer Heizungsanlagen (sowohl in bestehenden als auch in neuen Gebäuden) wird es in Zukunft ermöglichen, niedrigere Temperaturen zu verwenden. Die Niedertemperatur-Auslegung von Neuinstallationen sorgt dafür, dass heute installierte Komponenten zukunftssicher sind.

Größere thermische Längen in Wärmetauschern, Legionellen-sichere Warmwasserversorgung und automatischer hydraulischer Abgleich von Raumheizungsanlagen sind die Schwerpunkte der Niedertemperaturheizung. Zu den besten Technologien gehören extern zugängliche Wohnungsstationen für die Warmwasserversorgung und intelligente Rücklaufthermostate mit automatischer hydraulischer Abgleichfunktionalität.

Für die Auslegung neuer Raumheizungssysteme und Brauchwasserinstallationen werden neue Normen benötigt, die den Einsatz von Niedertemperaturheizungen auf Basis erneuerbarer Wärmequellen in der Zukunft berücksichtigen. Es besteht auch Forschungsbedarf, der sich auf die Entwicklung weiterer Lösungen für die Bereitstellung von Legionellen-sicherem und komfortablem Brauchwarmwasser konzentriert, ohne dass ein hoher Wärmeverbrauch für die Zirkulation von Brauchwarmwasser bei hohen Temperaturen erforderlich ist.

Zusammenfassend können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- 1) Fernwärmepemperaturen können oft gesenkt werden, wenn typische Fehler und Störungen in Übergabestationen behoben werden.
- 2) Der Prozess der Behebung von Fehlern und Störungen sollte durch digitale Tools/Methoden und verstärkte Wartung der Übergabestationen unterstützt werden.
- 3) Häufige Ablesungen von intelligenten Wärmemengenzählern sollten dabei helfen, sicherzustellen, dass die Fernwärmeverversorgungstemperaturen an den einzelnen Übergabestandorten ausreichend sind, um die nationalen Temperaturanforderungen für Legionellen-freie Warmwassersysteme zu erfüllen.

- 4) Überdimensionierte bestehende Heizungsanlagen und die energetische Sanierung von Gebäuden werden es ermöglichen, niedrigere Raumheiztemperaturen anzuwenden.
- 5) Größere thermische Längen in Wärmetauschern, von außen zugängliche Wohnungswärmetauscher für die Trinkwassererwärmung, minimierte Vorlauftemperaturen für Raumheizungsanlagen und intelligente Rücklaufthermostate sind derzeit Best-Practice-Lösungen für die Gebäudeinstallation für NT-FW.
- 6) Aktualisierte Standards zur Auslegung von Gebäudeinstallationen für den Niedertemperaturbetrieb sollten entwickelt und weitere Forschungen zu Alternativen zur thermischen Behandlung von Legionellen durchgeführt werden.

## 5.4. Niedrigere Temperaturen in Wärmeverteilungsnetzen

Kapitel 4 des Guidebooks widmet sich den Maßnahmen, die auf der System-/Verteilungsseite ergriffen werden können, um das Temperaturniveau im System so niedrig wie möglich zu halten und weiter zu senken. Das Guidebook-Kapitel ist in drei Teile gegliedert (siehe Abbildung 5):

- Sammlung von Ratschlägen und Überlegungen für bestehende Systeme, einschließlich Maßnahmen, die einfach zu implementieren oder kostengünstig sind;
- Beschreibung erfolgreicher Fälle, die einen Einblick in bisherige Ansätze zur Reduzierung der Systemtemperaturen geben; und
- Diskussion von Maßnahmen, die weitere Umsetzungsbemühungen erfordern und die für neue Anlagen oder Systeme besser geeignet sein könnten.

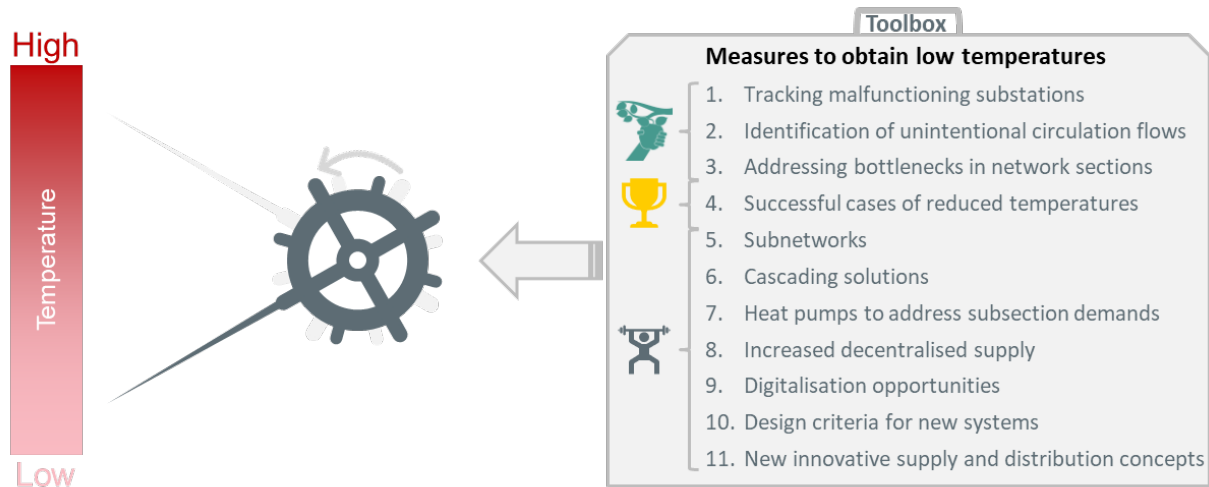
Da Kund:innen einen wesentlichen Einfluss auf die Rücklauftemperatur eines Systems haben, wird eine einfache Methode beschrieben, um kritische Übergabestationen/Kund:innen aus Sicht der Betreiber:innen zu identifizieren (Guidebook-Abschnitt 4.1). In diesem Zusammenhang ist das Erkennen und Beheben von ungewollten Zirkulationsströmen sehr wichtig (Guidebook-Abschnitt 4.2). Anschließend werden Engpässe (Guidebook-Abschnitt 4.3) angesprochen und sieben Lösungen zu deren Überwindung vorgestellt.

Im Guidebook-Abschnitt 4.4 werden vier erfolgreiche Fälle beschrieben, darunter Transformationsmaßnahmen für Niedertemperaturnetze. Dieser Abschnitt enthält Diagramme, die Temperatursenkungen über mehrere Jahre hinweg veranschaulichen. Darüber hinaus werden die wirtschaftlichen Vorteile erörtert, einschließlich der Nachweise für die wirtschaftliche Tragfähigkeit von reduzierten Systemtemperaturen. Guidebook-Kapitel 7 bietet weitere Einblicke durch detaillierte Fallbeschreibungen der angegebenen Referenzen.

Lösungen unter Verwendung von Teilnetzen (Guidebook-Abschnitt 4.5) und Kaskadierung (Guidebook-Abschnitt 4.6) befassen sich mit dem Beginn der Transformation auf lokaler Ebene und nach Netzabschnitten. Ergänzend dazu wird in den Guidebook-Abschnitten 4.7 und 4.8 die Integration alternativer und dezentraler Versorgungsquellen angesprochen. Digitalisierung (Guidebook-Abschnitt 4.9) ermöglicht Optimierungspotenziale durch automatische Fehlererkennung mittels künstlicher Intelligenz und Big Data. Im Guidebook-Abschnitt 4.10 werden Aspekte vorgestellt, die bei der Gestaltung neuer Systeme zu berücksichtigen sind. Dabei sind innovative Versorgungs- und Verteilungskonzepte (Guidebook-Abschnitt 4.11) mögliche Lösungsansätze, um die Grenzen der Betriebs- und Versorgungslogik konventioneller Fernwärmenetze zu überwinden.

Das Guidebook-Kapitel schließt mit einer Erörterung der Erfahrungen in Bezug auf die Erreichung niedrigerer Systemtemperaturen (Guidebook-Abschnitt 4.12), einschließlich Ansätzen für den Beginn des Übergangs, bevor die wichtigsten Schlussfolgerungen des Kapitels dargelegt werden.

Abbildung 5: Maßnahmen zur Erzielung niedrigerer Temperaturen, die in Kapitel 4 im Guidebook adressiert werden.



#### 5.4.1. Lektionen zur Erreichung niedrigerer Systemtemperaturen

Die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen von Fernwärmenetzen können durch den breiten Einsatz von Niedertemperaturtechnologien deutlich reduziert werden. Zu hohe Massenströme und Rücklauftemperaturen sind typische Merkmale in Fernwärmesysteme und führen zu Systemtemperaturen oberhalb der Auslegungsparameter. Um reduzierte Systemtemperaturen zu erreichen, sind vielseitige Lösungsansätze notwendig und anwendbar.

Einerseits müssen sich Fernwärme-Betreiber:innen auf problematische Kund:innen-Anlagen konzentrieren, die sich durch hohen Wärmebedarf, große Massenströme und geringe Auskühlung identifizieren lassen (Identifikationsmethoden werden in Abschnitt 4.1 vorgestellt; Kund:innen-seitige Maßnahmen werden in Kapitel 3 vorgestellt). Andererseits müssen auch Maßnahmen auf der Systemebene ergriffen werden, insbesondere im Bereich der Erzeugung und Verteilung. Langfristig dürfen sich die Bemühungen um niedrige Systemtemperaturen nicht auf seltene Fälle der Netzumgestaltung beschränken, sondern müssen überall auf bestehende Wärmeverteilnetze ausgedehnt werden.

Wichtige Überlegungen für die Transformation hin zu Niedertemperatursystemen sind:

- **Digitalisierung** spielt eine **entscheidende Rolle bei der Identifizierung von kritischen Übergabestationen/Kund:innen mit großem Verbesserungspotenzial**. Kontinuierliche Überwachungs- und Analysealgorithmen können helfen, die Systemtemperaturen so niedrig wie möglich zu halten. Ein hilfreiches Werkzeug ist die Methode zur Identifizierung von zu hohen Massenströmen („Excess flow analysis“; Vergleiche über verschiedene Zeithorizonte ermöglichen die Analyse von Systemänderungen. Der Einsatz von künstlicher Intelligenz und Big Data ermöglicht Betreiber:innen, Analysen schneller und automatisch durchzuführen und große Datenmengen (mehr Komponenten/Kund:innen) in Echtzeit zu verarbeiten.
- Die Nutzung von **lokalen Wärmequellen** erhöht die Versorgungssicherheit und kann (lokale) Wertschöpfung schaffen. In Kombination mit **Teilnetzen** sind sie eine geeignete

Lösung für lokale Engpässe, um die lokalen Vorlauftemperaturen auf einem möglichst niedrigen Niveau zu halten. Darüber hinaus können Teilabschnitte im Fernwärmenetz sukzessive zu Niedertemperaturnetzen umgebaut werden.

- Bei **Neuanlagen** ist die **Planungsphase** entscheidend für **effiziente** und **zukunftsichere Wärmeversorgungsnetze**. Bei der Nutzung lokal verfügbarer alternativer Wärmequellen ermöglichen innovative Versorgungskonfigurationen die Ausschöpfung des vollen Potenzials dieser Quellen.
- Schließlich ist es immer hilfreich, von anderen zu lernen. Die im Guidebook-Abschnitt 4.4 vorgestellten **Erfolgsgeschichten** können genutzt werden, um anfängliche Fehler zu vermeiden, und die gewonnenen Erkenntnisse können dabei unterstützen, Entscheidungsträger:innen von den **offensichtlichen Vorteilen** von **Niedertemperatursystemen** zu **überzeugen**.

#### 5.4.2. Schlussfolgerungen zu Niedertemperatursystemen

Die folgenden Schlussfolgerungen sind die wichtigsten Erkenntnisse aus Kapitel 4 des Guidebooks:

- 1) Bevor in eine Verbesserungsmaßnahme investiert wird, ist es notwendig, die **Anforderungen** der Kund:innen an die **Vorlauftemperaturen** mit den Temperaturen auf der primären Versorgungsseite zu vergleichen. In einigen Fällen stimmen die von den Kund:innen benötigten Vorlauftemperaturen und die vom Fernwärmenetz bereitgestellten Temperaturen nicht überein. Dies geschieht, weil der Fernwärmebetreiber:innen die von den Kund:innen benötigte Vorlauftemperatur nicht genau kennt und daher sicherstellt, dass die gelieferte Temperatur niemals unter der Temperatur liegt, die zur Gewährleistung des Komforts erforderlich ist.
- 2) Beim Austausch bestehender Übergabestationen oder bei der Planung neuer Übergabestationen sollten Wärmetauscher mit **großen thermischen Längen** bevorzugt werden, da diese niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen ermöglichen.
- 3) Viele Systeme haben bereits mit der Umstellung auf niedrigere Temperaturen begonnen, was zeigt, dass es eine Vielzahl von Möglichkeiten und bewährten Lösungen gibt. Es ist jedoch wichtig, den **Fokus beizubehalten**, um Verbesserungsmaßnahmen nicht zu untergraben.
- 4) Alle Erfahrungen mit Temperaturabsenkungen sollten genutzt werden; Die **Erfahrungen** der **Vorreiter** und der **Wissenstransfer**, der innerhalb der Fernwärmegemeinschaft stattfindet, sollten ausgenutzt werden.
- 5) Niedertemperatursysteme können zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen. Gezielte politische Instrumente und effektive Subventionen ermöglichen eine beschleunigte Transformation. Es ist besonders wichtig, das Bewusstsein zu schärfen und die politischen **Entscheidungsträger:innen**
- 6) für die **Notwendigkeit** von **Niedertemperatursystemen** zu **sensibilisieren**, zumal die aktuellen energiepolitischen Rahmenbedingungen deren Bedeutung kaum berücksichtigen.

## 5.5. Angewandter Fall: Campus Lichtwiese an der TU Darmstadt

Der Campus Lichtwiese der Technischen Universität Darmstadt ist ein ideales Beispiel für die systematische und konsequente Analyse und zielgerichtete Optimierung von Fernwärmesystemtemperaturen. Die im Kapitel 5 des Guidebooks- vorgestellte Analyse ist auf jedes Fernwärmesystem übertragbar und wird von den Autoren empfohlen.

Die Daten, die zur Berechnung der verwendeten Kennzahlen erforderlich sind, sollten Teil des standardmäßigen Mess- und Überwachungssystems sein. Falls dies nicht der Fall ist, sollte das jeweilige Überwachungssystem entsprechend angepasst werden. Die Temperaturen in Fernwärmenetzen, sowohl auf der Vorlauf- als auch auf der Rücklaufseite, hängen stark von einigen wenigen kritischen Gebäuden ab. Die Vorlauftemperaturen des Systems können hoch sein, weil eine Übergabestation eine hohe Temperatur benötigt, während alle anderen Übergabestationen dem Gebäude Temperaturen auf einem niedrigeren Niveau gewährleisten können. Auf der Rücklaufseite arbeitet eine Übergabestation mit einer hohen Rücklaufftemperatur in der Regel mit einer kleinen Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf und erfordert einen hohen Massenstrom, was zu einem überdurchschnittlichen Einfluss auf die Systemrücklaufftemperatur führt. Dies bedeutet zum einen, dass eine hohe Rücklaufftemperatur in einer Übergabestation entscheidend für die Rücklaufftemperatur des gesamten Netzes sein kann. Andererseits können Verbesserungsmaßnahmen in einigen wenigen Gebäuden mit schlechter Leistung einen großen Einfluss auf das gesamte System haben. Die im Guidebook vorgestellten Metriken dienen dazu, kritische Übergabestation zu identifizieren und zu bestimmen, welche Maßnahmen ergriffen werden sollten, um mit minimalem Aufwand deutliche Temperatursenkungen zu erreichen.

Die angewandte Studie zur Temperaturabsenkung im Fernwärmenetz auf dem Campus Lichtwiese der TU Darmstadt dient als Musterbeispiel für die Absenkung von Temperaturen in einem bestehenden Fernwärmesystem und ist gleichermaßen auf viele andere Fernwärmesysteme anwendbar. Es macht deutlich, dass Betriebsfehler innerhalb der Gebäudeheizungsinfrastruktur zu erheblichen Erhöhungen der Netztemperaturen führen und zeigt, dass einzelne Probleme in wenigen Gebäuden einen erheblichen Einfluss auf das gesamte Netz haben können. Gleichzeitig hilft die Behebung der kritischsten Probleme, die Netztemperaturen erheblich zu senken, insbesondere auf der Rücklaufseite.

Der Anwendungsfall offenbart auch ein großes Hindernis für die Senkung der Netztemperaturen: Solange die Erzeugung im Fernwärmesystem über KWK-Anlagen und Heizkessel realisiert wird, ist der unmittelbare Nutzen einer Senkung der Netztemperaturen gering, da viele der (im Kapitel 2 des Guidebooks- vorgestellten) wirtschaftlichen Vorteile nicht für ein fossil-basiertes Energiesystem gelten. Gleichzeitig handelt es sich bei erneuerbaren Wärmequellen wie Geothermie, Solarthermie oder lokaler Abwärme um Niedertemperatur-Wärmequellen, die in Hochtemperatur-Fernwärmesystemen weder wirtschaftlich noch energetisch realisierbar sind. In einem Hochtemperatur-Fernwärmenetz kann Niedertemperatur-Wärme aus erneuerbaren Quellen nur mit geringen Wirkungsgraden über eine Wärmepumpe eingebunden werden, was zu einem hohen elektrischen Energiebedarf der Wärmepumpe führt. Um einen Übergang von fossil-basierter zu erneuerbarer Fernwärme realisieren zu können, muss also zunächst ein Übergang von der zweiten oder dritten Fernwärmegeneration zu NT-FW erfolgen. Dennoch wird eine

Umgestaltung der Geschäftsmodelle notwendig sein, um NT-FW in einem größeren Maßstab wirtschaftlich zu machen. Dieser Aspekt wird im Kapitel 6 des Guidebooks- ausführlicher diskutiert.

## 5.6. Wettbewerbsfähigkeit von Niedertemperatur-Fernwärme

Erhöhte Betriebseffizienz durch niedrigere Systemtemperaturen, optimierte technische Konfigurationen für die Niedertemperaturwärmeverteilung und die daraus resultierenden wirtschaftlichen Vorteile (siehe Guidebook-Kapitel 2) werden häufig diskutiert. Weniger diskutiert werden die zusätzlichen Wettbewerbsvorteile von Niedertemperaturlösungen. Daher wird in diesem Kapitel darauf eingegangen, wie eine eigenständige NT-FW-Lösung oder eine Kombination aus konventioneller Fernwärme und Niedertemperaturlösungen die Gesamtwettbewerbsfähigkeit des Geschäftsmodells Fernwärme erhöhen können. Die Diskussion wird zunächst aus einer allgemeinen Geschäftsmodell-Perspektive sowie einem nationalen Blickwinkel geführt und im Guidebook mit einer detaillierteren Analyse der Wärmeverteilungskosten im NT-FW-Kontext abgeschlossen.

Der Wechsel von Hochtemperatur-Wärmequellen und einer zentralen Wärmeversorgung zu Niedertemperatur-Wärmequellen und einer dezentralen Wärmeversorgung erfordert eine andere Geschäftslogik als im herkömmlichen Fernwärmekontext. Daher werden die Unterschiede zwischen dem konventionellen und dem Niedertemperatur-Geschäftsmodell untersucht, um zu verstehen, wie das NT-FW-Geschäftsmodell in Kombination mit dem konventionellen Modell die Wettbewerbsfähigkeit der Fernwärme insgesamt erhöhen kann. Im Guidebook werden auf nationalen Ebenen die entsprechenden Rahmenbedingungen für die Fernwärme und das Potenzial wettbewerbsfähiger NT-FW-Lösungen untersucht (Guidebook-Abschnitt 6.5). Schließlich werden die Parameter der Wärmeverteilungskosten angesprochen, die für Fernwärmeunternehmen, die an NT-FW-Investitionen interessiert sind, von entscheidender Bedeutung sind, da sie einen wesentlichen Indikator für die Wettbewerbsfähigkeit eines jeden Fernwärmesystems darstellen (Guidebook-Abschnitte 6.6-6.9).

Aus einer Gesamtperspektive können die Merkmale von NT-FW-Geschäftsmodellen das konventionelle Fernwärmemodell ergänzen. Das Verkaufsargument für eine Kombination der beiden im Kontext des bestehenden Fernwärmesystems oder als eigenständige Lösung bei Investitionen auf der grünen Wiese ist, dass lokale Ressourcen genutzt werden und der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck minimiert wird. Im Zeitalter der zunehmenden Digitalisierung ist es wertvoll, in einen Dialog zu treten und langfristige Beziehungen einzugehen – ein Pluspunkt für die NT-FW Prosumer:innen-Beziehung.

Die Marktdurchdringung von NT-FW ist noch gering, daher liegt der Schwerpunkt eher auf der Sicherstellung funktionaler, technischer Lösungen als auf einer gleichzeitigen Entwicklung des Business Case. Für zukünftige Installationen wird eine Tandem-Entwicklung empfohlen.

Die Kosten für die Wärmeverteilung in Fernwärmesystemen auf einem vertretbaren Niveau zu halten, ist entscheidend für die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit. Die wichtigste Komponente der Wärmeverteilungskosten sind die spezifischen Kapitalkosten, die in Gebieten mit geringer Wärmedichte höher sind. An zweiter Stelle stehen die Kosten für den Wärmeverteilungsverlust. Aber nur die letzteren Kosten können durch die Niedertemperatur-Wärmeverteilung erheblich

reduziert werden, da nur die Möglichkeit, Kunststoffrohre zu verwenden, die Kapitalkosten für NT-FW reduzieren kann.

Darüber hinaus sollte NT-FW mit Wärme aus Niedertemperatur-Wärmequellen versorgt werden können, von denen geringere Wärmeerzeugungskosten zu erwarten sind. In Gebieten mit geringer Wärmedichte können die niedrigeren Wärmeerzeugungskosten und die geringeren Wärmeverteilungsverluste, die durch NT-FW erzielt werden, die höheren spezifischen Kapitalkosten nicht vollständig kompensieren. Daher ist es in Gebieten mit geringer Wärmedichte nicht möglich, die Gesamtwettbewerbsfähigkeit der Fernwärme mit NT-FW zu erhöhen.

## 5.7. Praktische Umsetzung von Niedertemperatur-Fernwärme

Bei der Einführung und Anwendung neuer Konzepte und Technologien bestehen oft Bedenken hinsichtlich der tatsächlichen Machbarkeit und der zuverlässigen Funktion. In den vorangegangenen Kapiteln wurden Maßnahmen auf Gebäude- und Systemebene diskutiert und die verschiedenen technischen und wirtschaftlichen Vorteile von NT-FW aufgezeigt. Das Ziel dieses Kapitels ist es, aufzuzeigen, dass viele innovative NT-FW-Systeme bereits implementiert sind und erfolgreich betrieben werden. Daher wurden verschiedene Demonstrationsprojekte und Aktivitäten gesammelt, um:

- geeignete Fallbeispiele zu identifizieren und darzustellen,
- Daten für eine genauere Auswertung und Bewertung ausgewählter Fälle zu sammeln, um das Potenzial von NT-FW mit konventionellen Lösungen zu vergleichen und
- um KPIs für die untersuchten Fälle zu berechnen.

Auf diese Weise wird der Nachweis erbracht, dass NT-FW-Systeme, die als neueste Generation der Fernwärme gelten, eine bewährte, zuverlässige und marktreife Technologie sind.

Diese Sammlung von Demonstrationsfällen aggregiert validiertes Wissen über die Erfahrungen und Erkenntnisse aus verschiedenen Projekten. Um die praktische Umsetzung von NT-FW zu fördern, ist es wichtig, dass bereits vorhandenes Know-how an den Fernwärmemarkt bzw. an alle Akteur:innen weitergegeben wird. Darüber hinaus sind diese Vorzeigeprojekte von innovativen und mutigen Vorreitern wichtig, um Praktikern bessere Ideen und Beispiele über die Potenziale und die Wege zur Implementierung von NT-FW-Systemen zu geben.

Die im Guidebook betrachteten Demonstratoren umfassen verschiedene Netzkonfigurationen und unterschiedliche Randbedingungen, wie zum Beispiel bereits realisierte Niedertemperatur-Gemeinschaftsenergiesystemkonzepte sowie geplante oder entworfene Systeme. Darüber hinaus werden Projekte einbezogen, die eine innovative Nutzung oder einen innovativen Betrieb von Gebäuden, fortschrittliche Technologien und das Zusammenspiel von Komponenten innerhalb eines Systems zeigen. Die Bewertungsergebnisse der gesammelten Beispiele der neuesten Generation innovativer Fernwärme- und fortschrittlicher Gebäudetechnologien und deren Wettbewerbsfähigkeit sowie relevante Faktoren für die Marktimplementierung sind in den Guidebook Kapiteln 3 bis 6 enthalten.



Insgesamt wurden sechs verschiedene Klassen von Demonstratoren identifiziert:

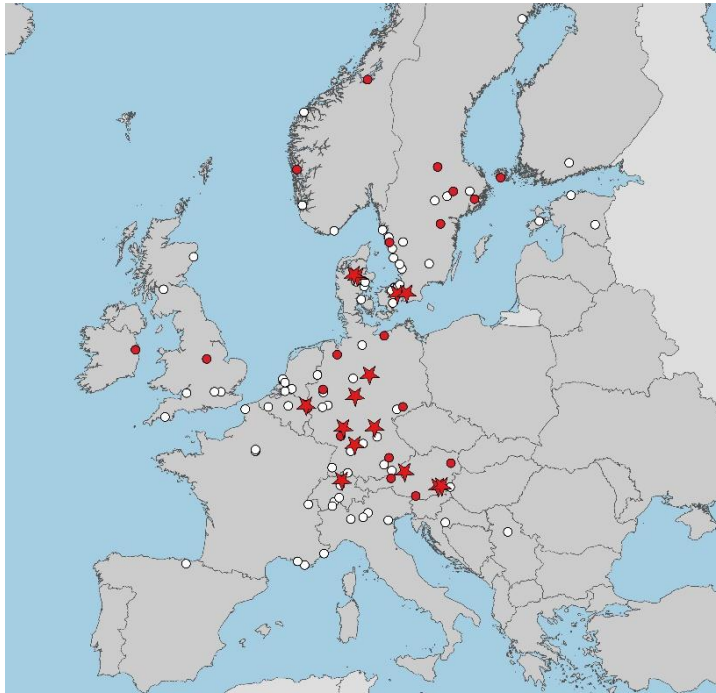
- 1) Realisiertes Demonstrationsprojekt auf Bestands- oder Konversionsflächen mit bestehendem Wärmenetz
- 2) Realisiertes Demonstrationsprojekt auf Bestands- oder Konversionsflächen mit neuem Wärmenetz
- 3) Realisierte Demonstrationsprojekte auf Neubauf Flächen mit neuem Wärmenetz
- 4) Realisierte Demonstrationsprojekte auf Einzelgebäudeskala
- 5) Simulations- und Auslegungsstudien auf Flächen
- 6) Demonstratoren im Labormaßstab

Die im Guidebook enthaltenen Demonstratoren wurden dahingehend analysiert, welche Elemente an neuem Wissen sie generieren können. Bei jedem Demonstrator steht eine bestimmte Innovation im Mittelpunkt. Die Innovation wurde unter technischen Gesichtspunkten validiert. Hauptziel bei der Beschreibung der Fallstudien war es, innovative Demonstrationskonzepte als Beispiele für Erfolgsgeschichten zu identifizieren und für Stakeholder zu sammeln, die an der Entwicklung von NT-FW-Systemen interessiert sind. Die Demonstrationsfälle beinhalten den Einsatz von fortschrittlichen Technologien und die Interaktion zwischen verschiedenen Komponenten innerhalb der Systeme. Basierend auf diesen Erfahrungen werden Prinzipien und Lektionen, die bei der Entwicklung dieser Systeme gelernt wurden, dargestellt.

Es gab insgesamt 40 Fallstudien aus Österreich, Dänemark, Deutschland, Irland, Norwegen, der Schweiz, Schweden, den Niederlanden und dem Vereinigten Königreich (siehe Guidebook-Abschnitt 10.2). Die Fernwärmesysteme waren von sehr unterschiedlicher Größe, von Mikro- bis zu stadtweiten Systemen. Die Netzlängen reichten von etwa 370 m bis zu mehr als 340 km. Bei den angeschlossenen Gebäuden handelt es sich um Einfamilien-, Reihen- und Blockhäuser und viele Niedrigenergie- oder Passivhäuser. Wärmequellen sind Solarkollektoren, Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke, überschüssige Wärme aus der Industrie oder die Systeme waren über Wärmetauscher an ein größeres Netz in der Nähe angeschlossen. Die erfassten Temperaturniveaus sind typisch für Kälte- und Niedertemperatursysteme und variierten von 1 bis 88 °C im Vorlauf und -2 bis 58 °C im Rücklauf. Einsparungen und erhöhte Wirkungsgrade wurden in jedem untersuchten Fall beobachtet.

Zusätzlich wurde eine „*Grosslist*“ mit ca. 160 realisierten Niedertemperatur-Initiativen in der ganzen Welt gesammelt (siehe Guidebook-Abschnitt 10.3). Abbildung 6 zeigt alle gesammelten Demonstrationsfälle innerhalb Europas. Diese Karte belegt eindrucksvoll den Fortschritt der NT-FW-Technologie.

Abbildung 6: Standort der betrachteten Demonstratoren. © Fraunhofer IEE, eigene Darstellung. Karte entnommen von Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat>.



★ Im Detail analysierte und im Guidebook-Kapitel 6 vorgestellte Demonstratoren

● Demonstratoren, die in diesem Projekt im Detail analysiert wurden, siehe Guidebook-Abschnitt 10.2

○ Demonstratoren, die in der „Grosslist“ der Niedertemperatur-Initiativen beschrieben sind, siehe Guidebook-Abschnitt 10.3

Zusammenfassend zeigen die dargestellten Fälle, dass NT-FW eine bewährte und marktreife Wärmeversorgungstechnologie ist und unter verschiedenen Randbedingungen funktioniert. Wie gezeigt, gibt es viele mögliche und unterschiedliche Strategien für die Wärmeversorgung, sowie eine größere Anzahl von möglichen Systemdesigns, um diese Systeme erfolgreich zu realisieren. Darüber hinaus zeigen die Erfahrungen der Demonstratoren die Notwendigkeit der Implementierung von Digitalisierungsmaßnahmen, um einen guten Betrieb unter den neuen Randbedingungen sicherzustellen, wie z. B. die Integration von fluktuierenden erneuerbaren oder Abwärmequellen oder ein veränderter Netzbetrieb (bidirektional).

Insbesondere aus den dargestellten Fallbeispielen lassen sich die folgenden Hauptaussagen ableiten:

- Aus technischer Sicht zeigt die große Vielfalt an Systemkonfigurationen der Fallbeispiele, basierend auf den lokalen Randbedingungen, die Flexibilität in der Umsetzung und Realisierung von NT-FW-Systemen. Im Betrieb sichert ein gutes Monitoring- und Managementsystem den Erfolg des Projektes. Bei der Einbindung von mehreren Wärmequellen und komplizierteren Systemen ist eine weitergehende Digitalisierung der Prozesse erforderlich.
- Die regulatorischen Randbedingungen sind nicht immer und nicht in allen betrachteten Ländern vorteilhaft. So ist z.B. für die Integration von Erdwärme ein langer (oder zu langer) Genehmigungsprozess zu berücksichtigen, der die Realisierung potentiell entgleisen lassen kann. Außerdem sind echte sektorübergreifende Energiesysteme in den heutigen Regeln nicht vorgesehen, was eine Realisierung sehr kompliziert macht.
- Die Fälle zeigen deutlich, dass eine hohe Anschlussquote und eine gute Unterstützung durch die Kund:innen erreicht werden kann, wenn das System im Besitz der Gemeinde oder einer Genossenschaft ist.
- Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist auch die oben erwähnte Eigentumsfrage von Bedeutung. Die Zinssätze können niedriger sein und lange Amortisationszeiten sind

überschaubar. Einige Fälle zeigen, dass ein Übergang zu NT-FW-Systemen wirtschaftlich machbar ist, einige Fälle weisen darauf hin, dass das Preisniveau für die Wärmeversorgung im Vergleich zu einer konventionellen Lösung um bis zu 10% niedriger sein könnte, auch wenn die zukünftigen Schadenskosten durch die globale Erwärmung noch nicht berücksichtigt sind.

## 5.8. Strategien für die Transformation zu Niedertemperatursystemen

Die Essenz von Konversion, Transformation und Transition ist, dass alle Menschen zu tiefgreifenden Veränderungen fähig sind. Notwendige Veränderungen in unserem Gemeinwesen sollten durch Visionen, Strategien und Planungsmaßnahmen initiiert, kommuniziert und umgesetzt werden. Veränderungen im Energiesystem müssen auch in der globalen Gemeinschaft auf allen Ebenen erkannt werden. Obwohl Veränderungen in allen Bereichen notwendig und unausweichlich sind, werden sie oft von Bedenken und Zweifeln gegenüber dem Neuen begleitet. Im Guidebook-Kapitel 8 soll gezeigt werden, wie Übergangsstrategien diese Bedenken und Zweifel in einigen städtischen Gebieten aufgegriffen haben.

In Bezug auf die Abschwächung des Klimawandels gehören zu den wichtigsten Initiativen zum globalen Wandel die Gründung des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen im Jahr 1988<sup>2</sup> und die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen im Jahr 1994<sup>3</sup>. Obwohl diese globalen Initiativen vor etwa 30 Jahren gegründet wurden, müssen sie immer noch durch die Aktionen internationaler, nationaler, regionaler und lokaler Gemeinschaften unterstützt werden. Die beiden letztgenannten Ebenen sind im Zusammenhang mit Fernwärmesystemen besonders wichtig, da es keine internationalen oder nationalen Fernwärmesysteme gibt. Diese Systeme bieten eine lokale Wärmeversorgung aus der Nutzung vorhandener lokaler Möglichkeiten als Mehrwert. Die Unterstützung durch globale und nationale Gemeinschaften ist jedoch unerlässlich, um einen Impuls für dekarbonisierte Fernwärmesysteme zu erhalten.

Die europäische Vision für Heizung und Kühlung wurde von der Renewable Heating and Cooling (RHC)-Plattform wie folgt formuliert: „*Heizen und Kühlen durch 100% erneuerbare Energie ist bis 2050 möglich*“ (RHC, 2019a). Diese Vision basiert auf der Tatsache, dass viele Gebiete in Europa dieses Ziel bereits erreicht haben - oder kurz davorstehen (RHC, 2019b).

Euroheat & Power, der europäische Verband für Fernwärme und -kälte, war an der Entwicklung der RHC-Vision für den europäischen Wärmemarkt beteiligt. Diese langfristige Vision wurde durch die folgende Verpflichtung der europäischen Fernwärmebranche im Oktober 2019 unterstützt: "*Wir werden die vollständige Dekarbonisierung der Fernwärme- und Fernkältenetze in Europa vor 2050 unerbittlich verfolgen*" (Laufkötter, 2019).

Ähnliche Verpflichtungen gibt es auch in nationalen Kontexten. In Schweden haben die Heizungsindustrien, welche die Technologien Fernwärme, Elektrizität, Biomasse und Wärmepumpen repräsentieren, zusammen mit den großen Wärmenutzer:innen eine nationale Roadmap für eine

---

<sup>2</sup> <https://www.de-ipcc.de/119.php>

<sup>3</sup> <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>

fossilfreie Wärmeversorgung verabschiedet. Das Versprechen dieser Wärmeindustrie ist es, dieses ehrgeizige Ziel bis 2030 zu erreichen (Energiföretagen, 2019).

In diesem Gesamtkontext der Dekarbonisierung sollte das Thema NT-FW immer mit einbezogen werden, da niedrigere Temperaturen den Übergang profitabler machen. Daher ist die Dekarbonisierung das Hauptthema und der wichtigste Schritt für alle lokalen Übergangsstrategien. Darüber hinaus sind niedrigere Temperaturen in Wärmeverteilungsnetzen ein sehr wichtiger sekundärer Schritt, um effektivere Umstellungen zu gewährleisten.

Im Guidebook-Kapitel 8 werden einige Belege für angenommene Visionen, Strategien und Planungsmaßnahmen aus bestimmten städtischen Gebieten vorgestellt (Guidebook-Abschnitte 8.1-8.4), wenn das Problem der Wärmeverteilungstemperatur im Kontext der Dekarbonisierung richtig erkannt wurde. Diese drei Schritte sind entscheidend für die Implementierung von Fernwärme- und Fernkältesystemen in städtischen Gebieten, die auf erneuerbarer oder recycelter Wärme oder Kälte basieren. Im Kapitel 5 des Guidebooks- wurde eine angewandte Studie bezüglich des Campus Lichtwiese an der TU Darmstadt erstellt. Weitere Universitätsbeispiele werden im Guidebook-Kapitel 8.5 kurz vorgestellt, da einige Universitäten Vorreiter bei der Wahl von NT-FW waren.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen bezüglich Visionen, Strategien und Planungsmaßnahmen für lokale Übergangsstrategien sind:

- Niedrigere Systemtemperaturen sind wichtig für die Einbeziehung in Übergangsstrategien zur Dekarbonisierung von Fernwärmesystemen.
- Die Zusammenarbeit mit Forschungsorganisationen sollte in Betracht gezogen werden, wenn neue Technologien in lokalen Fernwärmesystemen implementiert werden müssen.
- Universitätscampusgebiete sind oft Vorreiter bei der Einführung neuer Technologien für die Wärmeverteilung.

## 5.9. Veröffentlichungen aus dem Annex

Vor allem die Inhalte zu den nicht-technischen Barrieren und möglichen Lösungsansätzen fanden im Rahmen von nationalen und internationalen Verbreitungsaktivitäten hohen Zuspruch. Folgende Publikationen entstanden im Rahmen des Projektes (bzw. werden nach Projektlaufzeit noch durchgeführt):

- 10.04.2018, Graz (ca. 60 Teilnehmer): Vortrag im Rahmen des „IEA-DHC 4GDH Workshop“ über „*Infrastructural Challenges in District Heating and Solar District Heating Projects*“
- 23.10.2018, Nottingham (ca. 80 Teilnehmer): Vortrag im Rahmen des „Joined Workshop IEA DHC Annex TS2 and IEA SHC Task 55“ über „*Optimising the District heating system*“
- 29.11.2018, Wien (ca. 80 Teilnehmer): Vortrag im Rahmen des „4. Praxis und Wissensforum Fernwärme / Fernkälte“ über Forschungsergebnisse aus dem Projekt „*DEGENT-NET*“
- 25.10.2019, Reykjavik: Vortrag über „*Potentials and Effects of Temperature Reductions in Heat Networks – Project highlights from IEA DHC Annex TS2 and T2LowEx*“
- 06.10.2020, 6<sup>th</sup> International Conference on Smart Energy Systems: Vortrag über „*Reduced system temperatures in heating networks: Energy-economic assessments of the effects*“
- 27.11.2020, e-nova – International Conference: Vortrag über „*Reduzierte Temperaturen in Wärmenetzen: Bewertung der energie-ökonomischen Effekte*“

- 6-9.09.2021, 17<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling: Full Paper + Vortrag angenommen zu: *“Economic benefits of low-temperature district heating”*
- 21-22.09.2021, 7<sup>th</sup> International Conference on Smart Energy Systems: Vortrag/Abstract angenommen zu *“Low-temperature district heating: Comparing the value of current and future supply options”*
- Des Weiteren waren Disseminierungsaktivitäten im Rahmen des „5. Praxis und Wissensforum Fernwärme/ Fernkälte“ bzw. beim IEA Vernetzungstreffen 2020 geplant. Bedingt durch die COVID-19 Pandemie wurde daraus nichts. Es ist geplant, die Ergebnisse im Herbst 2021 bei den genannten Veranstaltungen (nach Projektlaufzeit) vorzustellen.
- Ebenso wurde eine wissenschaftliche Publikation erstellt, die im Smart Energy Journal (Volume 2) im März 2021 erschienen ist: Roman Geyer, Jürgen Krail, Benedikt Leitner, Ralf-Roman Schmidt, Paolo Leoni (2021): *Energy-economic assessment of reduced district heating system temperatures*; <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100011>

## 6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Das Projekt adressierte die Umsetzung von Niedertemperatur-Fernwärmesystemen. Dieser Themenbereich ist von hoher Relevanz für die nationale Technologiepolitik, die Erreichung von Energie- und Klimazielen wie auch für die Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Wärmeversorgungsunternehmen. Die Absenkung der Systemtemperaturen stellt die technische Grundlage dar, um Fernwärmesysteme effizienter betreiben, den Anteil erneuerbarer Energien erhöhen, und bis dato ungenutzte Abwärme-Potenziale nutzen zu können. Damit werden nachhaltig fossile Energieträger ersetzt, was sich positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz sowie auf die Emissionsbilanzen weiterer klimaschädlicher Gase auswirkt.

Die Vernetzungsaktivitäten und Maßnahmen zum Know-how-Transfer sind vielfältig und reichen von Publikationen in wissenschaftlichen sowie industrienahen Medien bis zu nationalen Workshops, zu dem Energiedienstleister (ESCOS, Stadtwerke), Lieferant:innen relevanter Technologien sowie Stadtplaner:innen, Bauträger:innen, Haustechniker:innen und Architekt:innen, Entscheidungsträger:innen in Städten und Kommunen, Wissenschaftliche Community sowie Wärmeversorger:innen eingeladen waren. Zudem wurde die nationale Fernwärmebranche im Rahmen von Vorträgen informiert. Die **Einbindung des ExCO Vertreters** erfolgte durch regelmäßige Information (2x pro Jahr) über den Lauf der Arbeiten sowie durch Einladung zu den Projektmeetings. Das **BMK** wurde über Disseminationsmaßnahmen im Projekt zeitgerecht informiert sowie zu geplanten Veranstaltungen eingeladen. Die Ergebnisse wurden zudem zur Publikation auf der IEA Website des BMK unter <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/dhc-chp/iea-dhc-annex-ts2.php> entsprechend aufbereitet.

# 7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Schlussfolgerungen des Guidebooks beziehen sich auf technologische Entwicklungen, nichttechnische Aspekte und politische Implikationen. Abschließend werden Empfehlungen an Fernwärmeversorger gerichtet, von denen erwartet wird, dass sie sukzessive Niedertemperatur-Wärmeverteilung in Zukunft einführen werden. Durch die Berücksichtigung der folgenden Schlussfolgerungen kann die Implementierung von Niedertemperatur-Fernwärme (NT-FW) erleichtert werden. Somit kann die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in der Europäischen Union in den kommenden Jahren unterstützt werden. Diese Schlussfolgerungen können als einfache Ratschläge und Rezepte zur Erreichung niedrigerer Wärmeverteilungstemperaturen betrachtet werden.

## 7.1. Technologische Entwicklungen

Im Vergleich zu den heutigen Wärmeverteilungstechnologien erfordern zukünftige Niedertemperaturtechnologien einige Änderungen sowohl an bestehenden als auch an neuen Installationen in Gebäuden, Übergabestationen und Wärmeverteilnetzen.

Bei den bestehenden Anlagen muss nur ein geringer Teil der Anlagen entfernt und ausgetauscht werden. Sanierungen bestehender Gebäude haben bereits zu einer Verringerung des Wärmebedarfs geführt - und werden dies auch weiterhin tun -, die es ermöglicht, niedrigere Temperaturen in bestehenden Anlagen zu verwenden. Die Legionellen-Problematik muss jedoch in bestehenden Gebäudeinstallationen mit traditionellen Technologien zur Bereitstellung von Brauchwasser berücksichtigt werden. Der Übergang zur Nutzung niedrigerer Temperaturen hat bereits begonnen und weiter vorangetrieben werden. Größere Reduzierungen der Wärmeverteilungstemperaturen in bestehenden Netzen können durch die Identifizierung und Beseitigung von Fehlfunktionen erreicht werden.

Bei Neuinstallationen ist ein höherer Freiheitsgrad vorhanden. Wie im Guidebook dargestellt, sind vielfältige Wärmeverteilungskonfigurationen möglich. Dies gilt insbesondere für kalte Netze (auch Anergienetze genannt), die die Möglichkeit bieten, Wärme mit Tiefsttemperaturen zur lokalen Versorgung von Gebäuden zu verteilen. In der Vergangenheit lag der Schwerpunkt auf der Verwertung von Überschusswärme aus verschiedenen Quellen mit Hilfe von Fernwärmesystemen. In Zukunft können sich kalte und warme Netze ergänzen. So werden warme Netze eingesetzt, wenn geeignete warme Wärmequellen zur Verfügung stehen, während kalte Netze zur Anwendung kommen, wenn Wärme mit sehr niedrigen Temperaturen (einschließlich Umgebungswärme) die einzige verbleibende Alternative ist.

Bei Neuinstallationen können neu konzipierte Komponenten verwendet werden, die für NT-FW besser geeignet sind. Insbesondere sollten neue Gebäude mit geringem Wärmebedarf nicht mit kleineren Wärmeübertragungsflächen ausgestattet werden, als sie in der Vergangenheit installiert wurden. Stattdessen sollten neue Anlagen fast die gleiche Größe wie alte Anlagen haben. Diese

einfache Auslegungsbedingung wird den Einsatz sowohl von Wärmepumpen als auch von NT-FW in neuen Gebäuden erleichtern. Durch den Verzicht auf traditionelle Installationen mit erhöhtem Legionellen-Risiko kann das Warmwasser mit niedrigeren Vorlauftemperaturen aufbereitet werden. Umgestaltete Wärmetauscher sollten auch in den Installationen der Übergabestationen eingesetzt werden. Bisher lag der Fokus darauf, niedrige Rücklauftemperaturen in Wärmeverteilungsnetzen zu erreichen. In Zukunft sollte der Fokus darauf liegen, sowohl niedrige Vor- als auch Rücklauftemperaturen zu erzielen. Dies kann erreicht werden, indem die Temperaturdifferenz zwischen Primär- (Versorgungseite) und Sekundärströmen (Abnehmerseite) in Wärmetauschern durch den Einsatz effizienterer Wärmetauscher mit größeren thermischen Längen verringert wird.

Eine weitere technologische Entwicklung, welche die Umsetzung von NT-FW erleichtern wird, ist die zunehmende übergreifende Digitalisierung in Gebäuden, Übergabestationen, Wärmeverteilnetzen und der Wärmeversorgung. Künstliche Intelligenz wird bei Überwachungsmethoden zur schnellen Erkennung und Beseitigung von Störungen, die die Netztemperaturen erhöhen, bei der intelligenten Lastverschiebung durch Nutzung der thermischen Masse der Gebäude, bei der kontinuierlichen Inbetriebnahme von Regelparametern und bei der Lastprognose zur Optimierung der Wärmeversorgung zum Einsatz kommen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass greifbare und geeignete Technologien und Methoden für die Implementierung von Niedertemperatur-Fernwärme verfügbar sind. Frühe Anwender haben niedrigere Temperaturen sowohl in bestehenden als auch in neuen Wärmeverteilungsnetzen getestet und umgesetzt. Daher können und sollten Gebäude in Zukunft die Nutzung niedrigerer Temperaturen übernehmen. Die Verringerung des spezifischen Wärmebedarfs wird die Nutzung niedrigerer Temperaturen ebenfalls erleichtern. Die aktuellen Technologien und Methoden können jedoch durch Forschung und Entwicklung weiter ausgearbeitet und verfeinert werden.

## 7.2. Nicht-technische Aspekte

Die Wettbewerbsfähigkeit der Kombination von NT-FW mit Hochtemperatur-Fernwärme oder der Einsatz von NT-FW auf eigenständiger Basis wurde diskutiert. Es wurde festgestellt, dass die Chancen für Niedertemperaturlösungen (i) der grüne Wert, der mit den zukünftigen Zielen einer fossilsfreien Gesellschaft übereinstimmt, und (ii) die Möglichkeit, Endverbraucher:innen und Prosumer:innen in langfristige Beziehungen einzubinden, sind. Sowohl der grüne Aspekt als auch die langfristigen Kund:innenbeziehungen sind nicht-technische Chancen, die die allgemeine Wettbewerbsfähigkeit der Fernwärme in den kommenden Jahrzehnten verbessern können.

Es wurden nicht nur Chancen, sondern auch Barrieren für NT-FW-Investitionen identifiziert. Zum Beispiel hat sich gezeigt, dass die Amortisationszeit solcher Investitionen lang ist (8-15 Jahre), was zu der allgemeinen Meinung geführt hat, dass NT-FW zu teuer ist. Vor dem Hintergrund, dass NT-FW eine Zukunftstechnologie und der Energiesektor auf Infrastrukturkomponenten mit langer betrieblicher und wirtschaftlicher Lebensdauer aufgebaut ist, sollte das Amortisationsargument schwach sein. Ein weiteres großes Hindernis ist, dass die derzeitigen Geschäftsmodelle mit dem Fokus auf zentraler Wärmeversorgung und -verteilung dominieren. Wenn diese auf den NT-FW-Kontext angewandt werden, macht dies den NT-FW-Business Case unattraktiv im Vergleich zum "Business as usual". In Bezug auf die Standardisierung gibt es noch keinen technischen Standard für



NT-FW-Anlagen, was die Implementierung verlangsamt - dies kann allerdings durch effiziente Verträge ausgeglichen werden.

Auch wenn es schwierig bleibt, die Zukunft vorherzusagen, gibt es explizite Ziele, die bis 2050 erreicht werden sollen. Vor allem ist die Zukunft frei von fossilen Brennstoffen und zirkulär. Das bedeutet, dass es keine fossilen Brennstoffe und kaum mehr Abfälle geben wird, die zur Wärmeerzeugung verbrannt werden. Außerdem werden Reststoffe aus der Holzverarbeitung höchstwahrscheinlich anderen Verwendungsmöglichkeiten zukommen als der Verbrennung. Daher muss die Wärme in Zukunft aus anderen Quellen wie Meer/Seen/Flüsse, dem Boden, der Sonne, städtischen Aktivitäten (z. B. Abwasser, Infrastruktur, Rechenzentren, Lebensmittelgeschäften, Eisbahnen) und industriellen Aktivitäten stammen. NT-FW ist eine sehr relevante Technologie für die Zukunft. Aufgrund des begrenzten Bewusstseins über die Bedingungen im Jahr 2050 und der kurzfristigen Gewinnorientierung ist NT-FW jedoch eine Lösung, auf die erst wenig zurückgegriffen wird, um das Risiko einer begrenzten Wärmeversorgung im Jahr 2050 zu mindern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das größte Hindernis für die Durchführung von NT-FW-Investitionen darin besteht, dass es sich nicht um eine „Business as usual“-Anwendung handelt. Ein wichtiger Faktor, der das begrenzte Interesse an der zukunftssicheren NT-FW-Technologie erklären kann, ist, dass das Risiko einer begrenzten Wärmeversorgung im Jahr 2050 - da die derzeitigen fossilen Brennstoffe nicht zur Verfügung stehen werden - für die meisten Endverbraucher:innen und Wärmeversorger:innen noch nicht erkennbar ist.

### **7.3. Politische Implikationen**

Die aktuelle Politik hat oft eine konservative Sicht auf die Umsetzung von NT-FW, da die meisten Fernwärmesysteme in einer fossil-dominierten Gesellschaft umgesetzt wurden. Dies führt zu einem starken Lock-in-Effekt und somit zu bleibender Dominanz von Hochtemperatursystemen. Hieraus ergibt sich ein hoher Bedarf an Überarbeitungen der aktuellen Politik, die darauf abzielen, Anreize für die Umsetzung von NT-FW zu schaffen. Um den Übergang von der direkten Verbrennung fossiler Brennstoffe hin zur überwiegenden Nutzung von erneuerbarer und recycelter Wärme zu erleichtern, ist es wichtig, einen Wettbewerb zu fördern, der effizient zur nachhaltigen Wärmenutzung beiträgt. Insbesondere sollten politische Überarbeitungen für gleiche Wettbewerbsbedingungen auf dem Wärmemarkt sorgen.

#### **7.3.1. Carbon pricing**

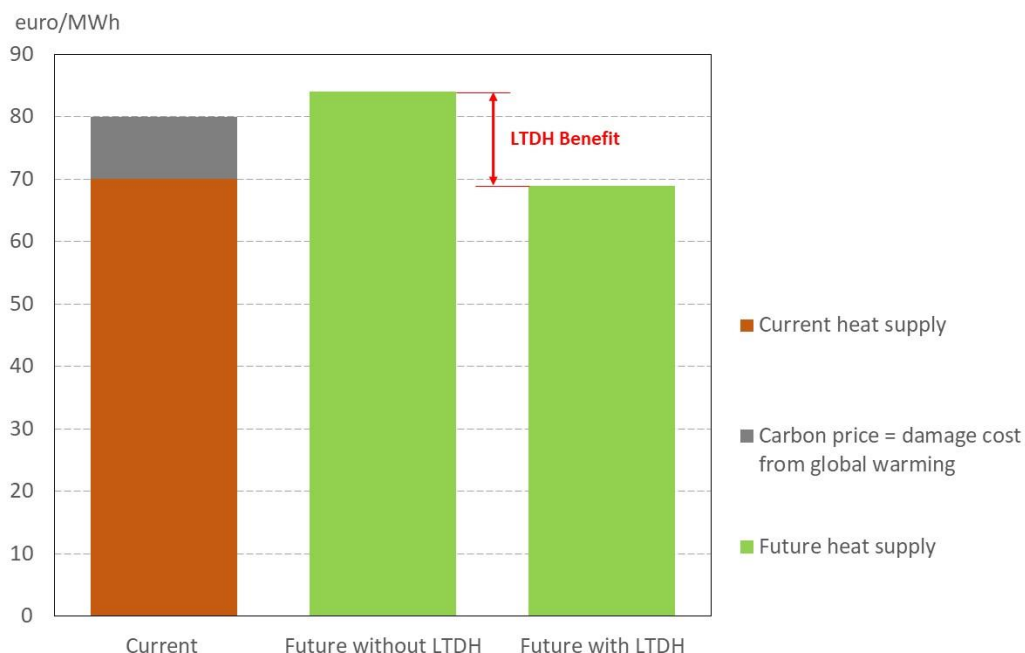
Das derzeitige Fehlen geeigneter wirtschaftlicher Treiber für die Dekarbonisierung ist das größte Hindernis für die Dekarbonisierung von Fernwärmesystemen. Nationale Regierungen können entweder CO<sub>2</sub>-Preise anwenden, um die Nutzung fossiler Brennstoffe zu ahnden, oder alternative Heiztechnologien am Markt unterstützen, die dem Klimawandel entgegenwirken. CO<sub>2</sub>-Bepreisung ist eine allgemeinere und effizientere Option, da der Markt alternative Technologien wählen wird. Marktunterstützung ist eine weniger effiziente Option, da die zu unterstützenden alternativen Technologien von Entscheidungsträger:innen ausgewählt werden müssen, denen es an perfekter Voraussicht in Bezug auf den Wärmemarkt mangelt.

Die CO<sub>2</sub>-Bepreisung sollte den prognostizierten Schadenskosten aus der Nutzung fossiler Brennstoffe entsprechen. Schweden, Finnland und die Schweiz sind die einzigen Länder der Welt, die angemessene CO<sub>2</sub>-Preise über hohe Kohlendioxidsteuern anwenden, die nahezu den prognostizierten Schadenskosten durch den Klimawandel entsprechen. Alle anderen Länder haben bisher keine angemessenen wirtschaftlichen Anreize für die Abschwächung des Klimawandels geschaffen.

Jedoch haben viele europäische Länder inzwischen die Einführung nationaler CO<sub>2</sub>-Bepreisungen als Ergänzung zum europäischen Emissionshandelssystem in Betracht gezogen. Diese nationalen Steuerinstrumente werden benötigt, um die neuen, stärkeren EU-Ambition erfüllen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 erheblich senken zu können. Durch diese jüngste und mit Spannung erwartete Änderung der Politik werden mehr Business Cases für die Dekarbonisierung der europäischen Fernwärmesysteme erscheinen.

Die wirtschaftlichen Vorteile niedrigerer Wärmeverteilungstemperaturen werden bei der Verwendung von erneuerbaren Energien und Abwärme etwa fünfmal höher sein als bei der traditionellen Verwendung von Brennstoffen. Dieser wirtschaftliche Treiber für NT-FW kann zusammen mit der CO<sub>2</sub>-Bepreisung ein wichtiger kombinierter wirtschaftlicher Treiber für die Dekarbonisierung sein. Diese Situation wird in Abbildung 7 veranschaulicht, um die Größenordnungen der erwarteten CO<sub>2</sub>-Preise und NT-FW-Vorteile im Verhältnis zu den aktuellen und zukünftigen Wärmeversorgungskosten in Fernwärmesystemen zu zeigen.

Abbildung 7: Wärmegestehungskosten (LCOH) für drei Szenarien: Die aktuelle Situation mit einem zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Preis (*Current*), die zukünftige Situation mit einer dekarbonisierten Wärmeversorgung und ohne NT-FW (LTDH) (*Future without LTDH*) sowie die zukünftige Situation mit NT-FW (*Future with LTDH*). Die Differenz der LCOH für die beiden letztgenannten Alternativen wird als „LTDH Benefit“ dargestellt. (Averfalk et al., 2021)



Die in Abbildung 7 dargestellten Informationen basieren auf der Annahme aktueller Erzeugungskosten von 70 €/MWh, während die aktuellen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen 100 kg/MWh betragen. Wenn man einen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Preis von 100 €/Tonne annimmt, betragen die

zusätzlichen LCOH 10 €/MWh. Die gesamten aktuellen LCOH werden dann 80 €/MWh für aktuelle Wärmeversorgung (dargestellt als „Current“ in der Abbildung).

Im zweiten Szenario werden die LCOH für die zukünftige Wärmeversorgung mit vollständiger Dekarbonisierung mit 84 €/MWh angenommen, ohne dass niedrigere Temperaturen verwendet werden. Dies führt zu einem negativen Dekarbonisierungsvorteil mit 4 €/MWh für das zweite Szenario, da 84 €/MWh teurer sind als 80 €/MWh für die erste Alternative.

Im dritten Szenario wird die Dekarbonisierung ebenfalls mit Niedertemperaturwärmeverteilung kombiniert. Hier kann der NT-FW-Nutzen auf 15 €/MWh geschätzt werden. Diese Abschätzung wird vom Ende des Guidebook-Kapitels 2 übernommen, mit einer allgemein möglichen Gesamttemperaturabsenkung von 30 °C und einem zukünftigen Kostensenkungsgradienten von 0,5 €/(MWh·°C). Somit können die zukünftigen Wärmelieferkosten um 18% reduziert werden. In diesem dritten Szenario beträgt der verbleibende Dekarbonisierungsvorteil 11 €/MWh, da 69 €/MWh niedriger sind als 80 €/MWh für das erste Szenario. Ohne den CO<sub>2</sub>-Preis würde der Dekarbonisierungsvorteil nur 1 €/MWh betragen. Dieser geringe Dekarbonisierungsvorteil allein wäre nicht vorteilhaft genug, um die Dekarbonisierung umzusetzen. Daher ist die Kombination von sowohl CO<sub>2</sub>-Preisen als auch niedrigeren Wärmeverteilungstemperaturen notwendig, um einen ausreichend starken kombinierten Anreiz für die Dekarbonisierung zu erhalten.

Die jährliche Wärmelieferung in europäischen Fernwärmesystemen für das Jahr 2050 wird auf 950 TWh prognostiziert. Der jährliche NT-FW-Nutzen beträgt 14 Mrd. Euro, wenn NT-FW Systeme vollständig umgesetzt würden. Dieser jährliche Nutzen entspricht einem Kapitalwert von über 200 Mrd. Euro.

### **7.3.2. Institutionelle Regeln**

Verschiedene institutionelle Regeln (z. B. Gesetze, Verordnungen, Normen), die den Wärmemarkt betreffen, wurden ursprünglich im Kontext einer fossilen Brennstoffgesellschaft festgelegt. Viele dieser Regeln stellen jetzt ein Hindernis für Niedertemperatur-Wärmequellen und -Wärmeverteilung dar. Daher müssen diese institutionellen Regeln entsprechend überarbeitet werden.

Ein offensichtliches Beispiel sind die verschiedenen nationalen Gesetzgebungen bezüglich Legionellen. Solche Gesetzgebungen wurden hauptsächlich für zwei technische Lösungen konzipiert (Warmwasserspeicher und Warmwasserzirkulation), die beide sehr empfindlich hinsichtlich Legionellen-Wachstum sind. Für die Minderung des Legionellen-Risikos durch diese Methoden wurden früher höhere Temperaturanforderungen als Priorität gewählt. Diese Option war angemessen, als es einfach war, höhere Temperaturen mit fossilen Brennstoffen zu erzeugen. Eine wichtige Überlegung ist, dass die gesamte globale Gebäudetechnik-Gemeinschaft weiterhin die gleichen traditionellen Warmwasseraufbereitungsmethoden verwendet hat, die vor der ersten Entdeckung des Legionellen-Problems in Philadelphia, USA, im Jahr 1976 eingesetzt wurden. Es wurden keine neuen und sichereren Aufbereitungsmethoden eingeführt, um das Legionellen-Risiko systematisch zu vermeiden. Stattdessen wurden die nationalen Temperaturanforderungen für Brauchwarmwasser erhöht, um das Legionellen-Risiko zu verringern. Eine wichtige politische Maßnahme könnte darin bestehen, die nationalen Legionellen-Gesetze zu nutzen, um zu erklären, dass andere alternative Aufbereitungsmethoden mit einem wesentlich geringeren Legionellen-Risiko

nicht die gleiche Temperaturanforderung haben sollten wie die beiden weniger geeigneten traditionellen technischen Lösungen.

Ein zweites Beispiel ist die Gewohnheit, bei der Dimensionierung von Heizkörpern und anderen wärmeabgebenden Bereichen für die Raumheizung hohe Auslegungstemperaturen von etwa 60-70 °C zu verwenden. Diese Planungsgewohnheit beinhaltet die Bereitstellung kleiner Heizkörper für neue Gebäude mit geringem Wärmebedarf. Eine hervorragende Regel zeigt sich in der Schweiz, wo die nationale Norm von 2009 40 °C für Heizkörper und 30 °C für Fußbodenheizungen als geeignete Auslegungstemperaturen für Neubauten vorschlägt<sup>4</sup>. Die zulässigen Höchsttemperaturen für diese Heizgeräte liegen jedoch bei 50 bzw. 35°C.

Ein drittes Beispiel befasst sich mit der Frage, wann die Verwendung von fossilen Brennstoffen in neuen und bestehenden Gebäuden verboten werden sollte. In Norwegen wurde mit einer Verordnung aus dem Jahr 2018 ein generelles Verbot für die Verwendung von Heizöl für die Beheizung von Gebäuden nach dem 1. Januar 2020 eingeführt. Für einige Gebäudetypen wurde jedoch eine längere Übergangsfrist bis zum 1. Januar 2025 gewährt. Im österreichischen Gebäudesektor hat die Regierung den Ausstieg aus allen öl- und kohlegefeuerten Heizsystemen für Neubauten bis 2020 und für alle Gebäude bis 2035 angekündigt<sup>5</sup>. Außerdem wird die Verwendung von Erdgas zum Heizen in österreichischen Neubauten ab 2025 eingeschränkt. Die deutsche Regierung plant ein Verbot von Ölheizungen in Gebäuden ab 2026<sup>6</sup>. Ähnliche künftige Verbote für den Einsatz von Erdgas in Gebäuden werden die Bedingungen für eine Dekarbonisierung weiter verbessern. Innerhalb der EU kann ein gemeinsames Verbot des Einsatzes jeglicher fossilen Brennstoffe in Gebäuden in eine überarbeitete Ökodesign-Richtlinie aufgenommen werden.

Über diese drei Regelrevisionen hinaus können auch andere wichtige politische Treiber in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel könnten grüne Fußabdrücke von allen Energieversorgern in den nationalen Wärmemärkten gefordert werden. Dies kann erreicht werden, indem verpflichtende Dekarbonisierungspläne von allen Unternehmen gefordert werden, die Energieinput oder Wärme in den Wärmemarkt liefern, wie z. B. Verteiler von Heizöl, Erdgas und Biomasse sowie Verteiler von Wärme und Strom. In diesem Zusammenhang kann die Wärmerückgewinnung attraktiver gemacht werden, indem diese Wärme als frei von sowohl Primärenergiezufuhr als auch CO<sub>2</sub>-Emissionen definiert wird. Die Verantwortung für diese beiden Aspekte sollte nach dem Verursacherprinzip übernommen werden.

### **7.3.3. Marktunterstützung**

Was die staatliche Marktunterstützung als wirtschaftliche Triebkraft für die Dekarbonisierung betrifft, so kann die Verwendung von NT-FW verpflichtend oder vorteilhaft gemacht werden, um die Dekarbonisierung von Fernwärmesystemen zu unterstützen. In den nationalen Förderprogrammen

---

<sup>4</sup> SIA Zurich. (2009). SIA 384/1:2009 Bauwesen - Heizungsanlagen in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen.

<sup>5</sup> Aus Verantwortung für Österreich, Regierungsprogramm 2020 – 2024; <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/bundeskanzleramt/die-bundesregierung/regierungsdokumente.html>

<sup>6</sup> <https://www.morgenpost.de/politik/inland/article227441695/Kabinett-bringt-Einbau-Verbot-fuer-Oelheizungen-auf-den-Weg.html>

wurden bisher nur sehr wenige spezifische Anforderungen für die Dekarbonisierung bzw. entsprechende Förderunterstützungen für NT-FW identifiziert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der wirtschaftliche Nutzen von Niedertemperatur-Fernwärme zwar die LCOH bei zukünftigen Fernwärmesystemen reduzieren kann, der Nutzen in aktuellen Systemen jedoch begrenzt bleibt. Daher ist dieser Vorteil allein derzeit nicht stark genug, um den Übergang zu dekarbonisierten Fernwärmesystemen voranzutreiben. CO<sub>2</sub>-Preise oder andere effiziente politische Faktoren müssen als starke parallele wirtschaftliche Anreize für die Dekarbonisierung genutzt werden. Bisherige institutionelle Regeln müssen angemessen überarbeitet werden, um eine bessere Ausrichtung auf Niedertemperatur-Fernwärme zu erreichen.

## 7.4. Empfehlungen

Die abschließenden Empfehlungen zur Niedertemperatur-Wärmeverteilung richten sich an Fernwärmeversorger. Diese müssen Maßnahmen in Bezug auf Visionen, Strategien und Planung für die Bereitstellung von Dekarbonisierung in Kombination mit NT-FW einleiten.

Hinsichtlich der langfristigen Visionen wird empfohlen, die Eigentümer:innen und das Management einzubeziehen, um ehrgeizige Dekarbonisierungspfade für Fernwärmesysteme zu entwickeln und festzulegen. Die Dekarbonisierungspfade sollten mit Dekarbonisierungszielen für bestimmte Jahre ausgedrückt und mit verwandten Aktivitäten (z. B. räumliche Energieplanung) koordiniert werden. Es ist wichtig, diese Dekarbonisierungspfade an Kund:innen, Mitarbeiter:innen, Lieferant:innen und die allgemeine Öffentlichkeit zu kommunizieren, um Bewusstsein und Unterstützung zu gewinnen.

Bezüglich kurz- und langfristiger Strategien wird empfohlen, die notwendigen Maßnahmen zu identifizieren, um die gesetzten Dekarbonisierungspfade zu erreichen. Eine erste Aktivität kann darin bestehen, zu untersuchen, wie andere Fernwärmeanbieter Maßnahmen zur Erfüllung ihrer Dekarbonisierungspfade umgesetzt haben. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erkennen, dass niedrigere Wärmeverteilungstemperaturen sowohl in bestehenden als auch in neuen Fernwärmesystemen für die Dekarbonisierung von finanzieller Bedeutung sind. Es ist auch sehr wichtig zu erkennen, dass die großen wirtschaftlichen Vorteile von NT-FW in traditionellen Systemen nicht vollständig ersichtlich sind, bevor sie mit Niedertemperatur-Wärmequellen dekarbonisiert wurden. Es sollte den Mitarbeitern des Unternehmens vermittelt werden, dass die wichtigste Schlussfolgerung von Fernwärmeversorgern, die ihre Wärmeverteilungstemperaturen bereits gesenkt haben, lautet: *"Es war einfacher umzusetzen als zunächst befürchtet!"*. Daher ist es wichtig, mit dem Lernprozess zur Identifizierung von Temperaturbarrieren in Übergabestationen und Abnehmeranlagen zu beginnen, um niedrigere Verteilungstemperaturen in bestehenden Systemen zu erreichen. Es ist auch entscheidend, Arbeitsabläufe, technische Lösungen, Kommunikationsstrategien und Geschäftsmodelle zu etablieren, um diese Barrieren zu beseitigen. Für neue Systeme sollten auch neue Wärmeverteilungskonfigurationen bewertet werden, um die Niedertemperatur-Wärmeverteilung sicherzustellen.

Hinsichtlich kurzfristiger Planungsmaßnahmen wird zunächst empfohlen, das Augenmerk auf bestehende Übergabestationen und Kund:innenanlagen zu richten. Low-hanging fruits sollten im Hinblick auf hohe Wärmeverteilungstemperaturen durch defekte/mangelhafte Übergabestationen

und hohen Temperaturbedarf in Kund:innen-Anlagen identifiziert werden. Im Laufe der Jahre werden die Mitarbeiter des Unternehmens die geringen Kosten für die Beseitigung von Störungen in bestehenden Übergabestationen und Kund:innen-Anlagen erkennen. Außerdem werden sie lernen, wie sie diese Störungen bei neuen Anlagen vermeiden können. Sie können auch Überwachungssysteme auf der Basis aktueller Wärmeabgabemessungen einrichten und in diesen Systemen Data-Mining und intelligente Algorithmen zur schnellen Erkennung von Störungen implementieren. Jenseits von Übergabestationen ist es wichtig, Möglichkeiten zu identifizieren, um niedrigere Temperaturen in bestehenden Wärmeverteilungsnetzen zu erreichen, indem übermäßige Zirkulationsströme verfolgt und kritisch hinterfragt werden.

In Bezug auf langfristige Planungsmaßnahmen sollten Fernwärmeanbieter die identifizierten Strategien verfolgen, um ihre Dekarbonisierungsziele zu erreichen.

Im Hinblick auf den Lernprozess zur Etablierung von NT-FW sollten Anbieter versuchen, mit Forschungsorganisationen wie Universitäten oder Forschungsinstituten zusammenzuarbeiten, da diese Organisationen für die Entwicklung neuer Technologien und Methoden ausgebildet und spezialisiert sind. Die Mitarbeiter des Unternehmens sollten auch an verschiedenen Ausbildungs- und Schulungsaktivitäten in Bezug auf NT-FW und entsprechende Installationen in Gebäuden und Netzwerken teilnehmen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es einfacher ist, NT-FW zu realisieren, als angenommen. Die tatsächliche Umsetzung muss dabei richtig organisiert und koordiniert werden. Bei dieser Vorgehensweise müssen langfristige Visionen die zukünftige Richtung für die Dekarbonisierung beschreiben, kurz- und langfristige Strategien sollten aufzeigen, was zu tun ist, und sowohl kurz- als auch langfristige Planungsmaßnahmen sollten skizzieren, wie die erforderliche Arbeit durchgeführt werden soll.

## 7.5. Hauptschlussfolgerung des Guidebooks

Zusammen mit den notwendigen und erwarteten nationalen CO<sub>2</sub>-Preisregelungen ist die Niedertemperatur-Fernwärme ein wichtiger wirtschaftlicher Treiber für die Dekarbonisierung der europäischen Fernwärmesysteme. Aus technischer Sicht ist es möglich, Niedertemperatur-Fernwärme zu implementieren, da mehrere frühe Anwender (Early Adopters) klarer Nachweise für ihre Eignung erbracht haben. Die Hürden, um den Übergang zu beginnen, sind jedoch gefestigte Gewohnheiten und Lock-in-Effekte aus der Anwendung der aktuellen Technologie zusammen mit einem Mangel an Verständnis, wie Akteur:innen effizient miteinander verbunden werden können.

## 7.6. Weiterführende Aktivitäten

Auf internationaler Ebene ist mit dem IEA DHC Annex TS7 *“Industry-DHC Symbiosis: A systemic approach for highly integrated industrial and thermal energy systems”* eine weiterführende Aktivität in Anbahnung. Vorangetrieben und entwickelt wird dies maßgeblich von Roman Geyer, welcher auch als Operating Agent vorgesehen ist. Die Anbahnungsarbeiten begannen bereits Ende 2019 und im Juni 2020 wurde das Projektkonzept dem IEA DHC ExCo vorgestellt. Dieses gab das „Go“ für den Annex worauf die „Definition Phase“ begann. Bedingt durch die Pandemie, wurde das

konstituierende Definition Meeting hinausgeschoben, in der Hoffnung, es in Präsenz abzuhalten. Letztendlich fand es am 30. April 2021 Online statt. Das Definition Meeting war durch zwei Sessions geprägt. In der ersten Session erfolgte eine intensive Diskussion mit geladenen Fachexpert:innen. Die zweite Session war ein öffentliches Webinar, in dem Impulsvorträge abgehalten und die Inhalte mit einer breiteren Öffentlichkeit diskutiert wurden. Am 20. Mai 2021 wurde das weiterentwickelte Konzept und die vorangegangenen Aktivitäten dem IEA DHC ExCo präsentiert. Aktuell befindet sich das Vorhaben in der „Preparation“ Phase. Ein inhaltlicher Projektstart („Working Phase“) ist für das Jahr 2022 vorgesehen.

#### Outline IEA DHC|CHP Annex TS7 Projektkonzept:

Für die Dekarbonisierung des Energiesystems sind die erneuerbaren Ressourcen teilweise begrenzt und nicht immer lokal verfügbar. Aus exergetischer Sicht sollten daher hochwertige Energieträger nur dort eingesetzt werden, wo sie notwendig sind und effizient genutzt werden können. Die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft und des sinnvollen Einsatzes von Energieträgern nimmt daher zu. Wesentliche Aspekte dabei sind die Kaskadierung und der Austausch von Energie zwischen verschiedenen Sektoren. So spielt beispielsweise Abwärme aus der Industrie eine zunehmende Rolle bei der Dekarbonisierung von Fernwärmenetzen und der Energieversorgung von Ballungsräumen. In ähnlicher Weise wurde die Integration von Abwärme aus industriellen Prozessen als wichtiger Forschungsbereich in der EU-Strategie für Wärme und Kälte identifiziert. Fernwärme kann dabei unterstützen, Produktionsprozesse mit niedrigem Temperaturbedarf zu bedienen und damit fossile Energie aus industriellen Energiesystemen zu substituieren. Die Versorgung mit (Prozess-)Kälte eröffnet neue Möglichkeiten für dezentrale Energiekonzepte. Thermische Netze sind somit eine wichtige Basis und Plattform für den gegenseitigen Austausch von Energie (z. B. als Drehscheibe zwischen zwei Industrieunternehmen).

Ziel des IEA DNC Annex TS7 ist es, Synergieeffekte und Potenziale zu identifizieren, die sich aus der Sektorenkopplung von Industrie und Wärmenetzen ergeben. Dieses inkludiert:

- Die Analyse von Best-Practice-Beispielen (Überblick über F&E-Projekte und Demonstratoren, Identifizierung von Barrieren, Entwicklung von Lösungsansätzen, Symbiosen aus der verstärkten Kopplung von Wärmenetzen und Industrie)
- Die Bewertung vielversprechender Integrationsoptionen (Bewertungen der Verfügbarkeit von Abwärme aus verschiedenen Industrien, Szenarien für die zukünftige Verfügbarkeit und Rolle bei der Dekarbonisierung von Fernwärmenetzen)
- Die Diskussion verfügbarer Werkzeuge und Methoden zur Identifizierung von Abwärmepotenzialen und der Rolle von Abwärme in nationalen Energiesystemen
- Die Bewertung und Untersuchung zukünftiger und wettbewerbsfähiger Geschäftsmodelle (Empfehlungen zu raumplanerischen Aspekten, Bewertung von regulatorischen Randbedingungen und politischen Rahmenbedingungen, d.h. Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Faktoren etc.)
- Die Entwicklung eines Leitfadens (Aufbereitung der wichtigsten Erkenntnisse für die Zielgruppe und Stakeholder, Sensibilisierung für die Vorteile der Sektorkopplung und den Wert der Abwärme)

## Literaturverzeichnis

- Arpagaus, C., Bless, F., Uhlmann, M., Schiffmann, J., & Bertsch, S. S. (2018). High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials. *Energy* 152 (2018) (S. 985-1010). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.166>: ELSEVIER.
- Averfalk, H., & Werner, S. (2020). Economic benefits of fourth generation district heating. In *Energy* 193 (2020) 116727 (S. 11). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116727>: ELSEVIER.
- Averfalk, H., Benakopoulos, T., Best, I., Dammel, F., Engel, C., Geyer, R., Gudmundsson, O., Lygnerud, K., Oltmanns, J., Nord, N., Ponweiser, K., Schmidt, D., Schrammel, H., Østergaard, D. S., Svendsen, S., Tunzi, M., & Werner, S. (2021). Implementation of Low-Temperature District Heating Systems. A Guidebook from the IEA Technology Collaboration Programme on District Heating and Cooling including Combined Heat and Power, Final report of IEA DHC|CHP Annex TS2, Fraunhofer Publisher, Stuttgart, Germany
- Castro Flores, J. F., Lacarrière, B., Chiu, J. N.-W., & Martin, V. (2017). Assessing the techno-economic impact of low-temperature subnets in conventional district heating networks. In *Energy Procedia* 116 (2017) (S. 206-272). [10.1016/j.egypro.2017.05.073](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.073): ELSEVIER.
- Dahlberg, C., & Werner, S. (1997). Lower Temperature Level in The Borås District Heating System. Borås: EH&P-Unichal 1997.
- Energiföretagen. (2019). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft - uppvärmningsbranschen (Roadmap for fossil-free competitiveness - the heating industry)*. Retrieved from [https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/sa-tycker-vi/fardplaner-fossilfritt-sverige/ffs\\_fardplan-fossilfri-uppvarmning-med-undertecknare\\_191007.pdf](https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/sa-tycker-vi/fardplaner-fossilfritt-sverige/ffs_fardplan-fossilfri-uppvarmning-med-undertecknare_191007.pdf)
- Eriksson, M. (2020). Fourth Generation District Heating - The prospects of Gothenburg. An investigation of the 4GDH concept and the motivations to implement it in Gothenburg. Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- Frederiksen, S., & Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Geyer, R. (2020). Reduzierte Systemtemperaturen in Wärmenetzen: Eine energie-ökonomische Bewertung der Effekte. Pinkafeld: FH Burgenland.
- Geyer, R., Krail, J., Leitner, B., Schmidt, R.-R., & Leoni, P. (2021). Energy-economic assessment of reduced district heating system temperatures. In *Smart Energy* (Volume 2) 100011 (S. 11). <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100011>: ELSEVIER.
- IEA DHC|CHP Annex TS2 (2021). Implementation of low-temperature district heating systems. Website of IEA DHC|CHP Annex TS2. Retrieved April 7, 2021, from <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/2017-2021-annex-ts2>
- IEA. (2018). *The Future of Cooling - Opportunities for energy-efficient air conditioning*. International Energy Agency, Paris. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>
- Laufkötter, S. (2019). European District Heating Industry Committed to Carbon-free District Heating Networks before 2050. *Euroheat & Power (eng ed.)*, 16(3-4), 9-11.



Lund, H., Østergaard, P. A., Chang, M., Werner, S., Svendsen, S., Sorknæs, P., . . . Möller, B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. In *Energy* 164 (2018) (S. 147-159). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>: ELSEVIER.

Mathiesen, B. V., Bertelsen, N., Schneider, N. C. A., García, L. S., Paardekooper, S., Thellufsen, J. Z., & Djørup, S. R. (2019). *Towards a decarbonised heating and cooling sector in Europe - Unlocking the potential of energy efficiency and district energy*. Aalborg University. Retrieved from [https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/316535596/Towards\\_a\\_decarbonised\\_H\\_C\\_sector\\_in\\_EU\\_Final\\_Report.pdf](https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/316535596/Towards_a_decarbonised_H_C_sector_in_EU_Final_Report.pdf)

Müller, A., Heimrath, R., Leoni, P., & Schrammel, H. (6-7 October 2020). How much to invest? Balancing investment costs and economic benefits of reducing the temperature levels in existing district heating networks. In 6th International Conference on Smart Energy Systems (S. <https://smartenergysystems.eu/conference-2020/>). Online: #SESAAU2020.

RHC. (2019a). *2050 vision for 100% renewable heating and cooling in Europe*. *Renewable Heating & Cooling - European Technology and Innovation Platform*. Retrieved from <https://www.rhc-platform.org/content/uploads/2019/10/RHC-VISION-2050-WEB.pdf>

RHC. (2019b). *100% renewable Energy Districts: 2050 Vision*. *Renewable Heating & Cooling - European Technology and Innovation Platform*. Retrieved from [https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2019/08/RHC-ETIP\\_District-and-DHC-Vision-2050.pdf](https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2019/08/RHC-ETIP_District-and-DHC-Vision-2050.pdf)

Sorknæs, P., Østergaard, P. A., Thellufsen, J. Z., Lund, H., Nielsen, S., Djørup, S., & Sperling, K. (2020). The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system. In *Energy* 213 (2020) 119030 (S. 11). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119030>: ELSEVIER.

Werner, S. (2016). European space cooling demands. *Energy*, 110, 148-156. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.028>

Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617-631. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Möglicher Übergang von der derzeitigen Wärmeversorgung (ausgedrückt mit der Herkunft der Versorgung) zu einer vollständigen Dekarbonisierung von Gebäuden innerhalb der EU bis 2050, gemäß dem Clusterprojekt <i>Heat Roadmap Europe</i> .....	12
Abbildung 2: Übersicht über die positiven Auswirkungen der reduzierten Systemtemperaturen und den Umfang der Bewertungen.....	19
Abbildung 3: Konzept der energiewirtschaftlichen Bewertungen mit der Kennzahl „Cost Reduction Gradient“ (CRG) in $\text{€}/(\text{MWh}\cdot\text{°C})$ .....	20
Abbildung 4: Indikativer Vergleich des Kostenreduktionsgradienten (CRGs) zwischen Hoch- und Niedertemperatur-Technologien .....	23
Abbildung 5: Maßnahmen zur Erzielung niedrigerer Temperaturen, die in Kapitel 4 im Guidebook adressiert werden. ....	27
Abbildung 6: Standort der betrachteten Demonstratoren. © Fraunhofer IEE, eigene Darstellung. Karte entnommen von Eurostat: <a href="https://ec.europa.eu/eurostat">https://ec.europa.eu/eurostat</a> .....	33
Abbildung 7: Wärmegestehungskosten (LCOH) für drei Szenarien: Die aktuelle Situation mit einem zusätzlichen CO <sub>2</sub> -Preis ( <i>Current</i> ), die zukünftige Situation mit einer dekarbonisierten Wärmeversorgung und ohne NT-FW (LTDH) ( <i>Future without LTDH</i> ) sowie die zukünftige Situation mit NT-FW ( <i>Future with LTDH</i> ). Die Differenz der LCOH für die beiden letztgenannten Alternativen wird als „LTDH Benefit“ dargestellt. (Averfalk et al., 2021) .....	41

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über Tasks sowie Taskinhalte.....	14
Tabelle 2: Zeitplan des IEA DHC Annex TS2.....	15
Tabelle 3: Teilnehmende Organisationen des IEA DHC Annex TS2.....	15
Tabelle 4: Übersicht über die prognostizierten wirtschaftlichen Auswirkungen von reduzierten Systemtemperaturen, entsprechend dem Kostenreduktionsgradienten (CRG) in €/ (MWh·°C). .....	22
Tabelle 5: Teilnehmende Organisationen und Personen des IEA DHC Annex TS2 (international) .....	52

## Abkürzungsverzeichnis

4GDH	4. Generation der Fernwärme
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CRG	Cost Reduction Gradient (Deutsch: Kostenreduktionsgradient)
DHC	District Heating and Cooling
IEA	Internationale Energy Agency
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCOH	Levelized Cost of Heat (DE: Wärmegestellungskosten)
NT-FW	Niedertemperatur-Fernwärme

## 8 Anhang

Der hier vorliegende nationale Endbericht basiert auf dem internationalen Guidebook des *IEA DHC Annex TS2: Implementation of Low-Temperature District Heating Systems*, welcher auf der Projekt-Website (unter: <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/2017-2021-annex-ts2>) zur Verfügung steht. Tabelle 5 listet die Autoren des Guidebooks, nach Land und Organisation, auf.

Tabelle 5: Teilnehmende Organisationen und Personen des IEA DHC Annex TS2 (international)

Country	Organisation	Organisation type	Name
<b>Austria</b>	AIT Austrian Institute of Technology GmbH	Research Institute	Roman Geyer
<b>Austria</b>	AEE - Institut für Nachhaltige Technologien	Research Institute	Harald Schrammel
<b>Austria</b>	TU Wien	Research Institute	Karl Ponweiser
<b>Austria</b>	Austroflex Rohr-Isoliersysteme GmbH	Industry	Christian Engel
<b>Denmark</b>	DTU - Technical University of Denmark	Research Institute	Dorte S. Østergaard
<b>Denmark</b>	DTU - Technical University of Denmark	Research Institute	Michele Tunzi
<b>Denmark</b>	DTU - Technical University of Denmark	Research Institute	Svend Svendsen
<b>Denmark</b>	DTU - Technical University of Denmark	Research Institute	Theofanis Benakopoulos
<b>Denmark</b>	Danfoss	Industry	Oddgeir Gudmundsson
<b>Germany</b>	Fraunhofer IEE	Research Institute	Dietrich Schmidt
<b>Germany</b>	TU Darmstadt	Research Institute	Johannes Oltmanns
<b>Germany</b>	TU Darmstadt	Research Institute	Frank Dammel
<b>Germany</b>	Universität Kassel	Research Institute	Isabelle Best
<b>Norway</b>	Norwegian University of Science and Technology	Research Institute	Natasa Nord
<b>Sweden</b>	Halmstad University	Research Institute	Helge Averfalk
<b>Sweden</b>	Halmstad University	Research Institute	Kristina Lygnerud
<b>Sweden</b>	Halmstad University	Research Institute	Sven Werner

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It has a vertical right edge and a horizontal top edge, with a diagonal line connecting the top-left corner to the bottom-right corner.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)