

# **IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 84: Lastmanagement von Gebäuden in thermischen Netzen**

Arbeitsperiode 2021 - 2025

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 31/2026

## Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leitung (interimistisch): DI (FH) Isabella Warisch  
Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.<sup>a</sup> Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:  
DI (FH) DI Gundula Weber (Austrian Institute of Technology)  
Basak Falay MSc, Keith O’Donovan ME, DI Larissa Hamilton, DI Dr. Ingo Leusbrock (AEE –  
Institut für nachhaltige Technologien)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Wien, Gleisdorf, 2026. Stand: September 2025

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an  
[iii3@bmimi.gv.at](mailto:iii3@bmimi.gv.at).

**Disclaimer:**

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform [nachhaltigwirtschaften.at](https://www.nachhaltigwirtschaften.at) veröffentlicht.



## Inhalt

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Kurzfassung</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>2 Abstract</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>3 Zusammenfassung</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>4 Ausgangslage</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>5 Projektinhalt</b> .....  | <b>17</b> |
| 5.1 Hintergrund: Der IEA EBC Annex 84.....                                  | 17        |
| 5.2 Ziele der österreichischen Beteiligung.....                             | 20        |
| 5.3 Methodik, durchgeführte Aktivitäten.....                                | 21        |
| <b>6 Ergebnisse</b> .....   | <b>22</b> |
| 6.1 Subtask A: Kooperationsmodelle.....                                     | 22        |
| 6.1.1 Ergebnisse .....  | 22        |
| 6.1.2 Empfehlungen für DHC-Versorger .....                                  | 23        |
| 6.1.3 Fazit .....   | 23        |
| 6.2 Subtask B: Technologien auf Gebäudeebene .....                          | 24        |
| 6.2.1 Subtask B Ziele im Detail .....                                       | 24        |
| 6.2.2 Projektergebnisse und Innovationen .....                              | 25        |
| 6.2.3 Zentrale Schlussfolgerungen aus Subtask B.....                        | 26        |
| 6.2.4 Internationale Erkenntnisse und Wirkungen .....                       | 27        |
| 6.2.5 Relevanz für Österreich.....  | 27        |
| 6.3 Subtask C: Methoden und Tools .....                                     | 28        |
| 6.3.1 Grenzen bestehender Tools .....                                       | 28        |
| 6.3.2 Neue Forschungsrichtungen .....                                       | 29        |
| 6.3.3 Digitale Zwillinge und KI .....                                       | 29        |
| 6.3.4 Umsetzung in der Praxis.....  | 30        |
| 6.4 Subtask D: Fallstudien .....  | 31        |
| 6.4.1 Ergebnisse der vergleichenden Analyse.....                            | 32        |
| 6.4.2 Zentrale Befunde.....   | 32        |
| 6.4.3 Erkenntnisse aus den Fallstudien .....                                | 33        |
| 6.4.4 Empfehlungen für Stakeholder .....                                    | 33        |
| 6.5 Überblick: Projektergebnisse, Innovationen und Weiterentwicklungen..... | 34        |
| 6.5.1 Internationale Erkenntnisse und Wirkungen .....                       | 34        |
| 6.5.2 Relevante Publikationen für Österreich.....                           | 35        |
| <b>7 Vernetzung und Ergebnistransfer</b> .....                              | <b>36</b> |
| 7.1 Webinare und Veranstaltungen des Annex 84 .....                         | 36        |
| 7.2 Vorträge und Präsentationen im direkten Zusammenhang mit Annex 84.....  | 37        |
| 7.3 Abschlussworkshop.....  | 37        |
| 7.4 Nutzung der Inhalte in Publikationen und Veröffentlichungen .....       | 38        |
| 7.5 Relevanz und Nutzen der Ergebnisse – national und international.....    | 38        |
| <b>8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen</b> .....                | <b>40</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 8.1 Erkenntnisse für das Projektteam – fachliche Einschätzung .....         | 40        |
| 8.2 Weiterführende nationale Forschungs- und IEA-Kooperationsprojekte ..... | 41        |
| 8.3 Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik .....                  | 41        |
| 8.4 Fazit .....   | 43        |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>Abkürzungen .....</b>  | <b>47</b> |

# 1 Kurzfassung

**Hintergrund:** Der Gebäudesektor trägt mit Heizung und Warmwasserbereitung wesentlich zu den weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei (rund 12 %). Fernwärme- und Fernkältesysteme (FWK, District Heating and Cooling, DHC) gelten als Schlüsseltechnologien für eine nachhaltige Energieversorgung, insbesondere in dicht besiedelten Regionen. Für die Dekarbonisierung dieser Systeme sind **Flexibilitätsoptionen auf der Nachfrageseite** entscheidend. Gebäude können als dezentrale thermische Speicher fungieren und durch **Demand Response (DR)** dazu beitragen, Netze effizienter, flexibler und resilienter zu gestalten.

**Ziel des IEA EBC Annex 84** ist, umfassendes Wissen und Leitlinien für die Aktivierung von Demand Response in DHC-Systemen zu entwickeln. Dabei wurden sowohl soziale als auch technische Aspekte betrachtet und untersucht, wie die Digitalisierung (Smart Meter, Sensorik, Monitoring, digitale Zwillinge) die Umsetzung erleichtern kann.

Die Arbeiten waren auf internationaler Projektebene in vier Subtasks organisiert:

- Subtask A: Kooperationsmodelle und Nutzer:innenakzeptanz
- Subtask B: Technologien auf Gebäudeebene (Speicher, Übergabestationen, Monitoring, Steuerung)
- Subtask C: Methoden & Tools (Simulation, Big Data, digitale Zwillinge, KI)
- Subtask D: Fallstudienanalyse (29 Projekte in Europa, v. a. Deutschland & Dänemark)

**Ziel der österreichischen Beteiligung am IEA EBC Annex 84 war**, Forschungs- und Praxiswissen zu Demand Response in Gebäuden zu erarbeiten und internationale Entwicklungen systematisch aufzubereiten. Im Fokus standen:

- die Analyse technologischer Optionen für Gebäude im DHC-Kontext,
- die Bewertung der Flexibilitätspotenziale (insbesondere durch Gebäudemasse und Regelstrategien),
- die Ableitung von Handlungsempfehlungen für österreichische Energiepolitik und Praxis.

Damit leistete Österreich einen Beitrag zur Bewertung, Einordnung und Weiterentwicklung von Demand-Response-Konzepten sowie zur Identifikation von Forschungs- und Umsetzungsbedarfen auf nationaler Ebene.

Das primäre **Ergebnis** des IEA EBC Annex 84 ist der Nachweis der technischen Machbarkeit und des großen Potenzials von Demand Response in Fernwärme- und Fernkältesystemen.

- Technisch: Gebäude können als Speicher wirken, Übergabestationen und Monitoring bieten Schnittstellen für Flexibilität.
- Digital: Methoden wie digitale Zwillinge, prädiktive Steuerungen und Big-Data-Analysen sind Schlüsseltechnologien.

- Sozial: Nutzer:innen akzeptieren DR, wenn Komfort, Transparenz und faire Tarife gewährleistet sind.
- Politisch/regulatorisch: Hemmnisse bestehen in fehlenden Anreizsystemen, regulatorischen Hürden und Wissenslücken.
- Die Arbeiten liefern konkrete Empfehlungen für Versorger, Politik und Forschung, um Demand Response großflächig zu implementieren. Damit leistet Annex 84 einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung von Energiesystemen und zur Stärkung der Rolle von Gebäuden als aktive Elemente in nachhaltigen Wärme- und Kältenetzen.

## 2 Abstract

**Background:** The building sector contributes significantly to global energy-related CO<sub>2</sub> emissions through space heating and domestic hot water production (around 12%). District heating and cooling (DHC) systems are considered key technologies for sustainable energy supply, particularly in densely populated areas. For the decarbonization of these systems, demand-side flexibility options are crucial. Buildings can act as decentralized thermal storage units and, through demand response (DR), help make networks more efficient, flexible, and resilient.

The **aim of IEA EBC Annex 84** is to develop comprehensive knowledge and guidelines for the activation of demand response in DHC systems. Both social and technical aspects were considered, and the role of digitalization (smart meters, sensors, monitoring, digital twins) in facilitating implementation was investigated.

On international project level the work was organized into four Subtasks:

- Subtask A: Collaboration models and user acceptance
- Subtask B: Technologies at building level (storage, substations, monitoring, control)
- Subtask C: Methods & Tools (simulation, big data, digital twins, AI)
- Subtask D: Case study analysis (29 projects in Europe, primarily Germany & Denmark)

**Objective of the Austrian Participation in IEA EBC Annex 84:** Austria participated in Annex 84 to develop both research-based and practical knowledge on demand response in buildings and to systematically prepare international developments. The focus was on:

- analyzing technological options for buildings in the DHC context,
- assessing flexibility potentials (particularly through building mass and control strategies),
- deriving recommendations for Austrian energy policy and practice.

In doing so, Austria contributed to the assessment, classification, and further development of demand response concepts, as well as to identifying research and implementation needs at the national level.

The **primary result of IEA EBC Annex 84** is the proof of technical feasibility and the significant potential of demand response in district heating and cooling systems.

- **Technical:** Buildings can function as storage units; substations and monitoring act as key interfaces for flexibility.
- **Digital:** Methods such as digital twins, predictive control, and big-data analytics are key technologies.
- **Social:** Users accept DR when comfort, transparency, and fair pricing are ensured.
- **Political/regulatory:** Barriers exist in the form of missing incentive schemes, regulatory hurdles, and knowledge gaps.

The work delivers concrete recommendations for utilities, policymakers, and researchers to enable large-scale implementation of demand response. Annex 84 thereby makes an important contribution to the **decarbonization of energy systems** and to strengthening the role of buildings as active elements in sustainable heating and cooling networks.

# 3 Zusammenfassung

*Bei dem folgenden Text handelt es sich teilweise um eine Übersetzung und Anpassung der offiziellen Zusammenfassung aus dem IEA EBC Annex 84. Der Projektübersichtsbericht und die einzelnen Berichte zu den internationalen Arbeitspaketen können unter <https://annex84.iea-ebc.org/> heruntergeladen werden.*

Die Integration von Gebäuden in das Energiesystem bringt für Fernwärme- und Fernkälteversorger (FWK, engl. District Heating and Cooling, DHC) sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich. Während Demand-Response-Strategien (DR) und neue Preismodelle die Effizienz steigern können, erschweren Hemmnisse wie geteilte Anreize, regulatorische Beschränkungen und Informationsasymmetrien ihre Umsetzung. Zudem bestehen Wissenslücken in Bezug auf kosteneffiziente Implementierung und die Einbindung von Stakeholdern.

Der IEA EBC Annex 84 war ein mehrjähriges internationales Forschungsprojekt, das sich mit der Aktivierung von Demand Response (DR) in Fernwärme- und Fernkältesystemen befasste. Ziel war es, Gebäude nicht nur als passive Verbraucher, sondern als aktive Elemente und thermische Speicher in Energiesystemen zu integrieren. Im Mittelpunkt standen dabei sowohl technologische Lösungen (z. B. Speicher, Übergabestationen, digitale Zwillinge) als auch soziale Aspekte wie Nutzer:innen-Akzeptanz, faire Tarifmodelle und Kooperationsformen. Durch die Kombination von Fallstudien, Simulationen und internationalen Best Practices wurden Leitlinien entwickelt, wie DR großflächig umgesetzt werden kann. Annex 84 leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung von Energiesystemen und zur Stärkung der Flexibilität und Resilienz von Wärme- und Kältenetzen.

Forschung und Interviews im Rahmen von Subtask A zeigen, dass Haushalte DR-Programme grundsätzlich unterstützen, solange Komfort und Kontrolle gewährleistet bleiben. Ein Mangel an Transparenz in DR-Programmen kann jedoch zu Frustration führen – was den Bedarf an besserer Kommunikation unterstreicht. Viele DHC-Versorger erkennen das Potenzial von DR, konzentrieren sich aber aufgrund regulatorischer und wissensbezogener Hürden stärker auf Angebotsmaßnahmen.

Zentrale Empfehlungen, die beide Enden der DR-Wertschöpfungskette (FWK-Kund:innen und Versorger) berücksichtigen, um DR-Programme erfolgreich einzuführen und damit zu einem nachhaltigeren und energieeffizienteren FWK-Sektor beizutragen, sind:

- Kommunikation verbessern: Klare Informationen zu DR-Programmen bereitstellen, um Teilnahme und Nutzerzufriedenheit zu erhöhen.
- Faire Preismodelle entwickeln: Variable Tarife schrittweise einführen, mit Schutzmechanismen für einkommensschwache Haushalte und Unterstützung energieeffizienter Sanierungen.

- Wissenstransfer stärken: Zusammenarbeit und Austausch von Best Practices zwischen DHC-Versorgern fördern.
- Regulatorische Barrieren abbauen: Politische Anpassungen anstoßen, um nachfrageseitige Flexibilität zu ermöglichen.
- Kund:innen motivieren: Finanzielle, ökologische und energieeinsparungsbezogene Anreize einsetzen, um Nutzer:innen wirksam einzubinden.

Darüber hinaus fasst der Bericht die Arbeiten von Subtask B zusammen, die die komplexe Beziehung zwischen Gebäudetypen und DHC-Systemen in Europa untersuchen – mit Fokus auf Demand-Side Management (DSM, Lastmanagement). Er behandelt die Technologien und Strategien, die Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Demand Response in Gebäuden mit DHC-Anschluss verbessern können, den technischen Status von DHC-Übergabestationen sowie eine übergreifende Bewertung aller technologischen Elemente, um deren Einfluss und Bedeutung zu bewerten und die Flexibilität von Konzepten einzuordnen.

Ferner bietet der Bericht, im Rahmen von Subtask C, einen umfassenden Überblick über modernste Methoden, Frameworks, Software, numerische Tools und Algorithmen für das intelligente thermische Management einzelner Gebäude und Gebäudeverbände in DHC-Netzen. Behandelt werden Themen wie dynamische Modellierung, Big-Data-Analyse, automatisierte Fehlererkennung und digitale Zwillinge zur Orchestrierung smarterer thermischer Betriebsweisen und Demand Response. Ziel ist die Entwicklung von energieeffizienten, kostengünstigen und nachhaltigen DHC-Systemen.

Der Bericht präsentiert außerdem die zentralen Ergebnisse aus dem Fragebogen von Subtask D, der als standardisiertes Rahmenwerk für die Sammlung und Dokumentation relevanter Informationen zu 29 DSM-Implementierungen und Projekten in Fernwärmenetzen diente.

Schließlich soll dieses Dokument Fachleute, Forschende, politische Entscheidungsträger:innen und weitere Stakeholder leiten, die sich für die neuesten Fortschritte im Bereich Energiemanagement von Gebäuden interessieren, die den Fernwärme- und Fernkältesektor voranbringen.

#### **Zentrale Erkenntnisse:**

- Gebäudeintegration in Energiesysteme eröffnet Chancen, bringt aber auch Hürden (z. B. regulatorische Barrieren, fehlende Anreize).
- Haushalte akzeptieren Demand Response, solange Komfort und Kontrolle gewährleistet sind.
- Fehlende Transparenz führt zu Frustration → bessere Kommunikation nötig.
- DHC-Betreiber sehen zwar das Potenzial, setzen aber noch stärker auf Angebotsseite.

#### **Empfehlungen für erfolgreiche DR-Programme in FWK:**

- Kommunikation verbessern: Klare Informationen über Programme und Auswirkungen.
- Faire Tarifmodelle entwickeln: Variable Tarife schrittweise einführen, sozial abfedern.

- Wissenstransfer fördern: Austausch und Best Practices unter Versorgern.
- Regulatorische Barrieren abbauen: Politische Rahmenbedingungen anpassen.
- Kund:innen motivieren: Finanzielle, ökologische und Komfort-Anreize kombinieren.

# 4 Ausgangslage

Gebäude werden zunehmend intelligenter – dank der breiten Verfügbarkeit vernetzter Geräte, Sensoren, Aktoren und Anwendungen. Diese Technologien können den Komfort der Bewohner:innen verbessern und gleichzeitig die Betriebskosten, den Energieverbrauch und den ökologischen Fußabdruck von Gebäuden senken [1]. Gleichzeitig entfallen auf Raum- und Warmwasserheizung 45 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudesektor, was 12 % der weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen entspricht [1]. Raumkühlung macht derzeit nur 15 % des Energieverbrauchs für Heizung aus [1], doch zusammen verursachen Heizen und Kühlen den größten Anteil der gebäudebezogenen Kohlenstoffemissionen. In den kommenden 30 Jahren wird sich die Gebäudefläche bis 2070 voraussichtlich verdoppeln; die Kühl-Nachfrage wird jährlich um etwa 3 % wachsen, während die Heiz-Nachfrage diesen Anstieg nicht ausgleichen dürfte. Diese Energieverwendungen sind daher ein zentrales Ziel für Interventionen, die eine schnelle und wirksame Transformation hin zu CO<sub>2</sub>-neutralen Energiesystemen ermöglichen sollen [2].

Fernwärme- und Fernkältesysteme (englisch: District Heating and Cooling (DHC)) gelten als die nachhaltigsten Lösungen, um Heiz- und Kühlbedarfe in dicht besiedelten Gebieten zu decken, in denen der Einsatz individueller Wärmepumpen unpraktisch ist [2,3]. Derzeit decken Fernwärmesysteme (DH) etwa 9 % der weltweiten Heiz-Nachfrage in Gebäuden und Industrie [4]. Laut der IEA-Strategie *Net Zero by 2050* [5] soll dieser Anteil auf über 20 % ansteigen. Fernkältesysteme (DC) befinden sich noch in der Entwicklungsphase, liefern aber bereits rund 300 PJ pro Jahr [2]. Angesichts der Auswirkungen des Klimawandels auf die globale Erwärmung wächst das internationale Interesse an DC-Systemen, da die Kühl-Nachfrage auch in klassischen Heizregionen (z. B. Österreich, Niederlande, Polen, Kanada) steigt. Die EU hat zudem ihr Ziel zur CO<sub>2</sub>-Reduktion für 2030 von 40 % auf 55 % verschärft (*Fit-for-55*). Um diese Ziele zu erreichen, müssen sowohl der DHC- als auch der Stromsektor fossile Energien weitgehend ersetzen und den Anteil erneuerbarer Energien (RES) deutlich erhöhen.

Die geplante Dekarbonisierung des Energiesystems erfordert eine Revolution in allen Sektoren sowie einen Übergang zu intelligenten Energiesystemen, Märkten und sozialen Strukturen [6, 7,8,9]. Eine hohe Integration von RES – z. B. Geothermie, Solarenergie und Wind – entweder direkt in DHC-Erzeugungseinheiten oder indirekt über das Stromnetz durch Großwärmepumpen (HPs) – kann zu fluktuierender Wärmeproduktion führen [10]. DHC-Systeme könnten dabei eine zentrale Rolle beim Ausgleich von Schwankungen spielen. Diese Variabilität stellt jedoch zusätzliche Herausforderungen für Betrieb und Planung dar und erhöht den Bedarf an kurz- und langfristigen Energiespeichern und Flexibilität sowie an Interoperabilität zwischen bestehenden und neuen Komponenten auf Produktions- und Nachfrageseite. Fernwärmesysteme befinden sich daher in einem tiefgreifenden Wandel, um Dekarbonisierungsziele zu erreichen und unterbrochene Wärmeerzeugung auszugleichen, ohne die Versorgungssicherheit, Stabilität und Wirtschaftlichkeit zu gefährden.

Thermische Energiespeicher (TES) sind eine vielversprechende Lösung, um die Steuerbarkeit von DHC-Systemen bei kurz- und langfristigen Herausforderungen zu verbessern [11,12]. Laut [13] lassen sich TES in DHC-Systemen folgendermaßen klassifizieren:

- a) Speicherprinzip: sensibel, latent, chemisch
- b) Speicherdauer: kurz- oder langfristig
- c) Standort: dezentral/verteilt oder zentral/lokal
- d) Transportierbarkeit: stationär oder mobil

TES können in Erzeugungseinheiten integriert oder strategisch im Verteilnetz platziert und zentral durch DHC-Betreiber gesteuert werden. Auch das Netzwasser selbst wurde bereits als Speicheroption untersucht, entweder zentral gesteuert oder dezentral über Anreize [14,15]. Diese TES-Lösungen betreffen jedoch die Primärseite der Netze.

Gleichzeitig kann jedes an ein DHC-Netz angeschlossene Gebäude als dezentrale TES-Lösung betrachtet werden, deren Eigenschaften je nach Wärmebedarfsprofil variieren. Das Grundprinzip: Ein Gebäude wird zeitweise übertensorgt, speichert Wärme und nutzt sie später [16]. Dieses Konzept – bekannt als energie-flexibles Gebäude oder Demand Response (DR) – wird seit über einem Jahrzehnt international erforscht: von Definition und Simulationen [17] über allgemeine Diskussionen zu Anwendungen und Herausforderungen [18,19] bis hin zu umfangreichen Übersichtsarbeiten zu Bewertungsmetriken [20]. Die meisten Studien sind jedoch akademisch geprägt, verwenden allgemeine Definitionen und Bewertungsmetriken, oft aus dem Stromsektor, und berücksichtigen nicht die hydraulischen Besonderheiten von DHC-Systemen.

Trotz des Potenzials wurde Demand Response in DHC-Systemen noch nicht großflächig umgesetzt, da Versorgungsunternehmen die Integration in den Regelbetrieb scheuen. Die Einbindung von Flexibilitätslösungen in bestehende DHC-Systeme und Gebäudeheizungen erfordert die Berücksichtigung von Kundenzufriedenheit, Wirtschaftlichkeit, Interoperabilität und Regulierung – ein komplexes Unterfangen, das verschiedene Akteure mit teils konfligierenden Zielen einschließt. Diese Herausforderungen begrenzen die breite Einführung von Demand Response.

Das übergeordnete Ziel von *IEA EBC Annex 84 „Demand Management of Buildings in Thermal Networks“* ist es daher, Leitlinien für die erfolgreiche Aktivierung von DR in DHC-Systemen zu entwickeln. Annex 84 untersucht sowohl die sozialen als auch die technischen Herausforderungen und wie diese überwunden werden können. Zudem wird analysiert, wie die Digitalisierung auf der Nachfrageseite (z. B. Smart Meter, Sensoren, Monitoringgeräte) eine großflächige Umsetzung von DR mit minimalen Investitionen erleichtern kann.

# 5 Projektinhalt

## 5.1 Hintergrund: Der IEA EBC Annex 84

Das IEA Technology Collaboration Programme on Energy in Buildings and Communities (IEA EBC) befasst sich mit internationalen Forschungsfragen rund um Gebäude und urbane Energiesysteme.

Ziel des IEA EBC Annex 84 „Demand Management of Buildings in Thermal Networks“ ist es, umfassendes Wissen und Leitlinien für die erfolgreiche Aktivierung von Demand Response (DR) in Fernwärme- und Fernkältesystemen (DHC) zu entwickeln. Gebäude sollen dadurch nicht nur als passive Verbraucher, sondern als aktive Elemente und dezentrale thermische Speicher in Energiesystemen betrachtet werden.

Der Annex 84 lief von Juni 2020 bis Juni 2025 und brachte Expert:innen aus Wissenschaft, Versorgungsunternehmen und Industrie zusammen. Im Mittelpunkt standen sowohl technologische Lösungen (z. B. Speicher, Übergabestationen, digitale Steuerungen) als auch soziale und regulatorische Aspekte wie Nutzerakzeptanz, Tarifgestaltung und Kooperationsmodelle.

Um die definierten Projektziele zu erreichen, wurden vier spezifische Objectives definiert:

- Bereitstellung von Wissen über Akteure in der Energiekette und Kooperationsmodelle für erfolgreiches Demand Management.
- Klassifizierung, Bewertung und Entwicklung von Designlösungen für neue und bestehende Heiz- und Kühlanlagen in Gebäuden für Demand Management in verschiedenen DHC-Netzen.
- Entwicklung von Methoden und Tools zur Nutzung von Monitoring-Daten (Energie & IEQ) für Echtzeitmodellierung des DR-Potenzials von Gebäuden und Stadtquartieren.
- Verbreitung von Erkenntnissen aus Fallstudien, die im Annex gesammelt wurden.

Die Arbeiten im Annex wurden dazu international in vier Subtasks gegliedert bzw. national (Österreich) in 7 Arbeitspakete aufgeteilt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2):

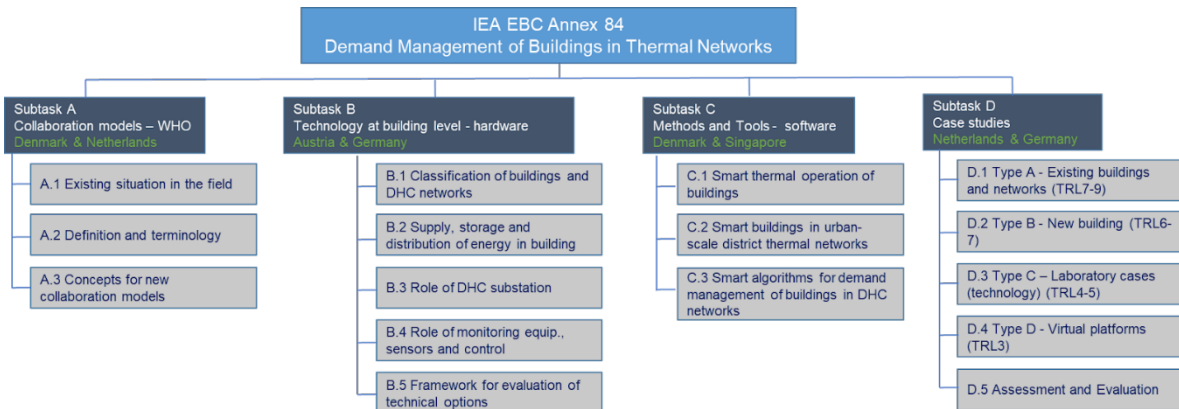


Abbildung 1: Struktur des IEA EBC Annex 84 auf internationaler Projektebene

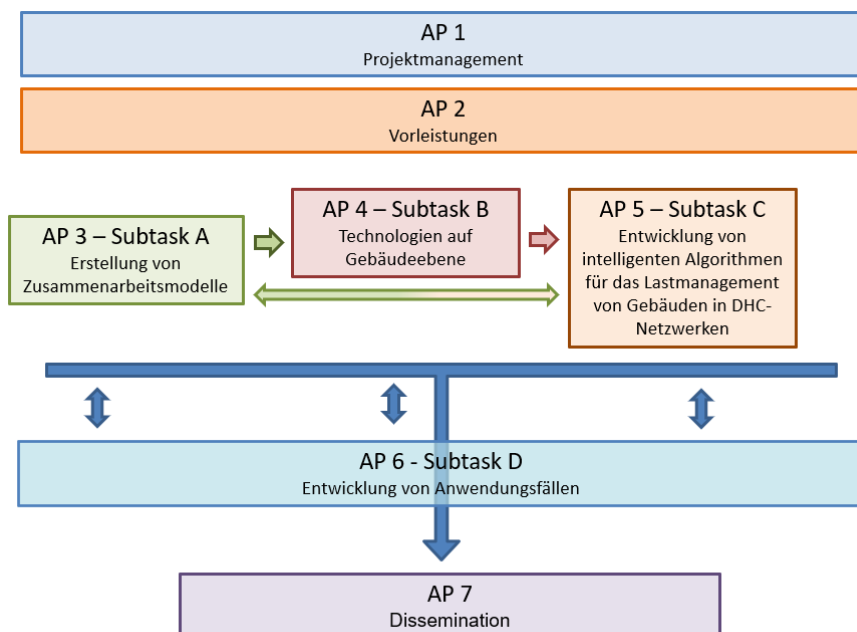


Abbildung 2: Struktur des IEA EBC Annex 84 auf österreichischer Projektebene

- **Subtask A: Collaboration Models**  
Untersuchung von Motivation, Herausforderungen und Einschränkungen der Akteure im DR. Überprüfung bestehender Terminologien und Indikatoren sowie Entwicklung einer gemeinsamen Sprache für alle Beteiligten. Analyse existierender Kooperationsmodelle und Empfehlungen für deren kommerzielle Anwendung durch DHC-Versorger.
- **Subtask B: Technology at Building Level**  
Untersuchung technologischer Optionen auf Gebäudeebene, die DR ermöglichen. Fokus auf Komfortsicherung (Raumwärme & Warmwasser), Marktreife, wirtschaftliches Potenzial und Eignung für unterschiedliche DHC-Generationen.
- **Subtask C: Methods and Tools**  
Entwicklung datenbasierter Algorithmen für smarte thermische Betriebsweisen einzelner

Gebäude, für Aggregation und Orchestrierung in urbanen DHC-Systemen sowie für techno-ökonomische Optimierung. Überblick über Modelle, Frameworks, Software und Tools zu Themen wie dynamische Simulation, Big Data, Optimierung, Fehlerdiagnose, digitale Zwillinge.

- Subtask D: Case Studies

Analyse realer und virtueller Gebäude(-cluster), die thermische Speicher bereitstellen und demand-response-fähig sind. Untersuchung technologischer Lösungen, Steuerstrategien, Kooperationsvereinbarungen zwischen Versorgern und Kund:innen sowie der Motivation zur Teilnahme.

Um das Thema umfassend und konsistent zu behandeln, hat Annex 84 eine technologie-neutrale Terminologie eingeführt (siehe Abbildung 3).

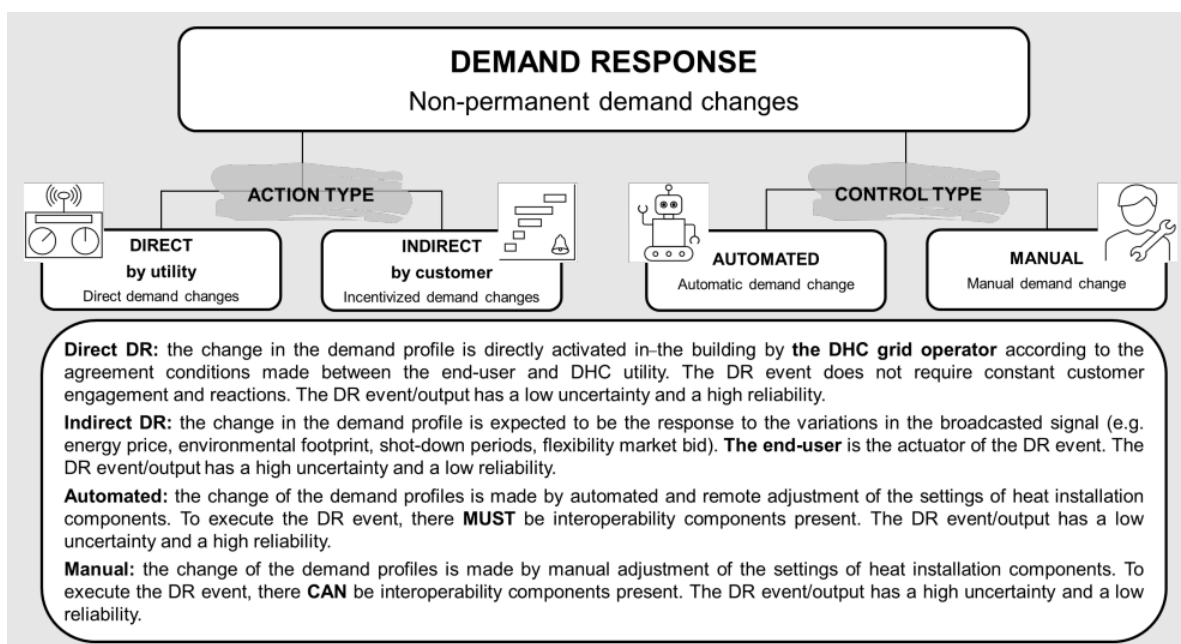


Abbildung 3: Terminologie im Rahmen des IEA EBC Annex 84

Vier Typen von Demand Response (DR) in Annex 84 (Abbildung 4):

1. Direkt-automatisiert – z. B. prädiktive Steuerung im Gebäude, die Prognosen des Netzbetreibers ausführt → hohe Wirkung & hohe Zuverlässigkeit.
2. Indirekt-automatisiert – z. B. prädiktive Steuerung im Gebäude, die auf ein Signal des Netzbetreibers reagiert → niedrige Wirkung & hohe Zuverlässigkeit.
3. Direkt-manuell – z. B. Netzbetreiber schaltet Anlagen direkt (vor Ort oder aus Leitwarte) → hohe Wirkung & niedrige Zuverlässigkeit.
4. Indirekt-manuell – z. B. Endnutzer:innen ändern Einstellungen selbst (physisch oder per App) nach einem Signal → niedrige Wirkung & niedrige Zuverlässigkeit.

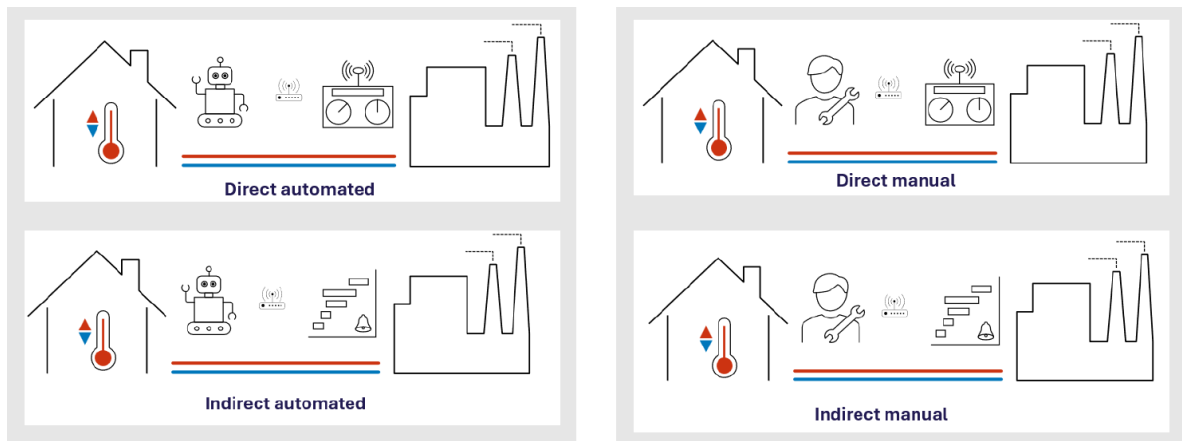


Abbildung 4: Illustrationen der vier DR-Typen laut Annex 84

Schließlich sind die im Annex 84 vorgeschlagenen direkten und indirekten Aktionstypen bevorzugte DR-Mechanismen, die von den DHC-Betreibern eingesetzt werden; sie verdeutlichen den Grad der Einbindung des Betreibers in das DR-Programm. Aus Kundensicht – also aus einer eher soziologischen Perspektive – können diese Aktionstypen als explizite oder implizite DR-Mechanismen klassifiziert werden. Beim expliziten DR erhalten die Kund:innen eine direkte Vergütung vom DHC-Versorger für die Lastverschiebung im Rahmen des DR-Programms. Beim impliziten DR werden verschiedene Anreize, z. B. Preis- oder CO<sub>2</sub>-Signale, genutzt, um die Kund:innen zur Anpassung ihres Energiebedarfs zu bewegen.

Die zwölf teilnehmenden Staaten waren Dänemark (Leitung), Belgien, Deutschland, Italien, Niederlande Österreich, Schweden, Schweiz, Singapur, Spanien, Türkei und UK.

## 5.2 Ziele der österreichischen Beteiligung

Das Ziel der österreichischen Beteiligung war es, Forschungs- und Praxiswissen zu Demand Response in Gebäuden zu entwickeln und internationale Entwicklungen systematisch aufzubereiten. Dabei standen folgende Schwerpunkte im Vordergrund:

- Analyse technologischer Optionen für Gebäude im DHC-Kontext,
- Bewertung von Flexibilitätspotenzialen (insbesondere durch Gebäudemasse und Regelstrategien),
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für die österreichische Energie- und Forschungspolitik sowie die Praxis.

Österreich war in allen Subtasks vertreten, mit einem Fokus auf Technologien auf Gebäudeebene (Subtask B) und der Fallstudienanalyse (Subtask D). Dadurch konnte sich Österreich in der internationalen Forschungslandschaft gut positionieren und gleichzeitig wichtige Impulse für nationale Projekte und Strategien ableiten.

Das nationale Konsortium wurde von AEE – Institut für Nachhaltige Technologien koordiniert, unterstützt durch das AIT – Austrian Institute of Technology. Die Beteiligung wurde aus Mitteln des BMIMI (vormals BMK) finanziert.

### **5.3 Methodik, durchgeführte Aktivitäten**

Im Vordergrund von Annex 84 standen der Wissenstransfer und die internationale Zusammenarbeit. Eingesetzt wurden verschiedene methodische Ansätze:

- Literaturanalysen und Auswertung internationaler Projekte zum Stand der Technik,
- Befragungen und Interviews mit Fernwärmebetreibern und Expert:innen,
- Fallstudienenerhebung mit einem standardisierten Fragebogen (29 DSM-Projekte, v. a. in Dänemark und Deutschland),
- Simulationen, digitale Zwillinge und Big-Data-Analysen zur Bewertung von Flexibilitätsoptionen,
- Workshops, Webinare und Konferenzen, um Ergebnisse mit internationalen und nationalen Stakeholdern zu diskutieren.

Als wesentliches Ergebnis liegt ein umfassender Projektzusammenfassungsbericht vor, ergänzt durch die vier Deliverables der Subtasks A–D. Diese dokumentieren die wichtigsten Erkenntnisse zu sozialen Aspekten, Technologien, Methoden und praktischen Anwendungsbeispielen. Die Dokumente sind auf der Website des Annex verfügbar: <https://annex84.iea-ebc.org>

# 6 Ergebnisse

## 6.1 Subtask A: Kooperationsmodelle

Im Rahmen von Annex 84 zielte Subtask A darauf ab, die Motivationen, Herausforderungen und Einschränkungen der wichtigsten Akteure im Demand Response (DR) zu untersuchen, bestehende Kooperationsmodelle zu analysieren und Empfehlungen für die kommerzielle Umsetzung des DR-Konzepts durch Fernwärmeversorger (DHC utilities) zu formulieren. Dazu wurden folgende Aktivitäten durchgeführt und in diesem Bericht beschrieben:

- Einbindung der Kund:innen in DR-Programme und deren Perspektiven auf das Konzept, basierend auf Ergebnissen des Projekts *RESPOND*.
- Befragung von Fachleuten aus der Fernwärmewirtschaft zu ihren Ansichten über die Integration von Gebäuden in den täglichen Betrieb von DHC-Netzen.
- Analyse bestehender Tarife und Kooperationsmodelle, einschließlich Literaturlauswertung und Fallstudienanalyse.

### 6.1.1 Ergebnisse

Forschung und Interviews zeigen folgende Ergebnisse:

- DR-Mechanismen können große Vorteile bieten, ihre erfolgreiche Umsetzung erfordert jedoch eine sorgfältige Berücksichtigung von sozialer Gerechtigkeit, Bezahlbarkeit und Nutzererfahrung.
- Kund:innen unterstützen DR-Programme in der Regel, solange der Komfort nicht beeinträchtigt wird und sie einen gewissen Grad an Kontrolle behalten.
- Fehlende klare Kommunikation und Transparenz in DR-Strategien kann zu Frustration bei Endnutzer:innen führen – was die Notwendigkeit für verbesserte Stakeholder-Einbindung unterstreicht.
- Auf Versorgerseite erkennen viele DHC-Betreiber zwar das Potenzial von DR-Programmen, konzentrieren sich aber vorrangig auf Angebotsmaßnahmen, um zukünftige Herausforderungen zu bewältigen – und weniger auf Nachfrageflexibilität.
- Zentrale Hemmnisse: regulatorische Einschränkungen, mangelnder Wissenstransfer und fehlende Praxisbeispiele.

## 6.1.2 Empfehlungen für DHC-Versorger

### 1. Kommunikation und Kundeneinbindung verbessern

- Kund:innen klar über Ziele, Zeitpläne und erwartete Auswirkungen der DR-Programme informieren, um Frustration zu vermeiden und Teilnahmebereitschaft zu fördern.
- Nutzerfreundliche Schnittstellen und Steuerungen bereitstellen, die Haushalten ermöglichen, ihre DR-Teilnahme individuell anzupassen und gleichzeitig Komfort und Bequemlichkeit sicherzustellen.

### 2. Sozial gerechte Preismodelle entwickeln

- Variable Fernwärmetarife schrittweise einführen, dabei Schutzmechanismen für einkommensschwache Haushalte sicherstellen.
- Finanzielle Unterstützungsmechanismen wie Zuschüsse oder zinsgünstige Kredite zur Förderung energieeffizienter Sanierungen einsetzen, um negative soziale Auswirkungen abzufedern.

### 3. Wissenstransfer und Best Practices fördern

- Plattformen für DHC-Versorger schaffen, um Erfahrungen und Erkenntnisse aus DR-Implementierungen auszutauschen.
- Pilotprojekte und Demonstrationsvorhaben fördern, um Nutzen und Machbarkeit von DR-Konzepten sichtbar zu machen.

### 4. Regulatorische und vertragliche Barrieren abbauen

- Politische Anpassungen vorantreiben, die Nachfrageseitige Flexibilität erleichtern und rechtliche sowie vertragliche Klarheit gewährleisten.
- Standardisierte DR-Rahmenwerke entwickeln, um eine einheitliche Umsetzung in verschiedenen Marktstrukturen zu ermöglichen.

### 5. Vielfältige Anreize für Kund:innen nutzen

- Finanzielle Anreize mit ökologischen und energieeinsparungsbezogenen Beweggründen kombinieren, um ein breiteres Kundenspektrum anzusprechen.
- Gestufte DR-Teilnahmeoptionen anbieten, sodass Kund:innen ihr individuelles Engagement je nach Präferenzen und Bedürfnissen wählen können.

## 6.1.3 Fazit

Durch politische Anpassungen, verbesserte Kommunikation und aktiven Wissenstransfer können DHC-Versorger DR-Mechanismen erfolgreich einführen. Dies führt zu effizienteren und nachhaltigeren Energiesystemen.

## 6.2 Subtask B: Technologien auf Gebäudeebene

Subtask B verfolgte die folgenden Ziele:

- Sammlung von Informationen über technologische Optionen, die Demand Response in Gebäuden mit Anschluss an thermische Netze ermöglichen können.
- Bewertung ihres aktuellen Markt- oder Forschungsstandes.
- Analyse ihres technischen und wirtschaftlichen Potenzials.
- Identifikation von Einschränkungen und Engpässen.
- Sammlung von Beispielen.
- Untersuchung, in welchem Ausmaß Demand Response durch ausgewählte technische Optionen – einzeln, kombiniert und in Verbindung mit Strategien und Systemen – die Leistungsfähigkeit von DHC-Systemen verbessert.

### 6.2.1 Subtask B Ziele im Detail

#### **B.1 – Klassifizierung von Gebäudetypen, die an DHC-Systeme angeschlossen sind**

Dieses Arbeitspaket untersuchte die komplexen Zusammenhänge zwischen Gebäudetypen und Fernwärme- bzw. Fernkältesystemen in Europa, mit Fokus auf Demand Side Management (DSM). Es analysiert die Verbreitung von DHC-Systemen in europäischen Ländern, hebt regionale Unterschiede in Effizienz und Entwicklung hervor und betont das DSM-Potenzial, das durch Eigenschaften der Netzinfrastruktur beeinflusst wird. Zudem wurde die Nutzung von Gebäudestrukturen als Wärmespeicher untersucht, unter Berücksichtigung von Parametern wie thermischer Kapazität und Leitfähigkeit. Eine Fallstudie in Aalborg (Dänemark) unterstreicht die Bedeutung hochauflösender Daten, um Wärmeverbrauchsmuster und den Einfluss von Gebäudecharakteristika zu verstehen. Ziel ist es, Strategien für ein nachhaltigeres Energiemanagement in Europa zu entwickeln, die gebäudespezifische Eigenschaften nutzen.

#### **B.2 – Versorgung, Speicherung und Verteilung von Wärme, Kälte, Warmwasser und Strom auf Gebäudeebene für Demand Response und Flexibilitätsoptionen**

Dieses Arbeitspaket zielte darauf ab, Technologien und Strategien umfassend zu untersuchen, die Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Demand Response in an DHC-Netze angeschlossenen Gebäuden steigern können. Dazu gehörten die Sammlung von Fallstudien und Best Practices, die Bewertung thermischer Speicher, die Untersuchung von Verteiltechnologien sowie die Analyse von Versorgungstechnologien in Gebäuden. Es ist hervorzuheben, dass die hier adressierten Speichertechnologien keinen Bezug zu Übergabestationen haben (z. B. PCM, Gebäudemasse, thermisch aktivierte Komponenten etc.).

#### **B.3 – Rolle von DHC-Übergabestationen als Element des Demand Response auf Gebäudeebene**

Dieses Arbeitspaket konzentrierte sich auf den aktuellen technischen Stand von DHC-Übergabestationen. Es gibt einen Überblick über technische Ausstattungen und Komponenten in verschiede-

nen Ausführungsvarianten. Besondere Aufmerksamkeit galt nationalen Besonderheiten, Richtlinien und technischen Regeln sowie rechtlichen Rahmenbedingungen in Ländern mit DHC-Systemen. Zudem wurde eine Klassifizierung der Ausführungsarten von Übergabestationen erarbeitet und Mindestanforderungen für deren technische Ausstattung festgelegt. Mit dem Ziel, eine Art „Flexibility Readiness“-Maßstab zu entwickeln, wurde untersucht, welche Flexibilitätspotenziale typische Komponenten von Übergabestationen für das Wärmenetz bereitstellen können.

#### **B.4 – Rolle von Monitoring-, Sensor- und Steuerungstechnologien**

Dieses Arbeitspaket bot einen Überblick und eine Bewertung zur Rolle von Monitoring-, Sensor- und Steuerungstechnologien als Option für Demand Response in Kombination mit DHC-Systemen, wobei sowohl Potenziale als auch Einschränkungen hervorgehoben wurden.

#### **B.5 – Evaluation & Zusammenfassung**

Hier wurden die Ergebnisse der Arbeitspakete B.1 – B.4 zusammengeführt und umfassend bewertet. Die Zusammenfassung hebt die Hauptergebnisse jedes Arbeitspakets hervor, während die Gesamtevaluation synergetische und kompatible Optionen identifiziert. Zudem wurde ein Ansatz zur systematischen Bewertung aller in Subtask B (und im gesamten Annex) diskutierten Elemente vorgestellt, um deren Wirkung und Relevanz einzuschätzen und die Flexibilität eines vorgeschlagenen Konzepts zu bewerten.

### **6.2.2 Projektergebnisse und Innovationen**

Die Ergebnisse zeigen, dass Demand Response auf Gebäudeebene technisch möglich ist, jedoch durch mehrere Faktoren begrenzt wird. Besonders hervorzuheben sind folgende Innovationen und Weiterentwicklungen:

- **Gebäudetypen und Flexibilitätspotenzial:**  
Das DSM-Potenzial variiert stark nach Baujahr und Gebäudetyp. Gebäude nach 1980 sind meist besser isoliert und verfügen über größere thermische Masse, wodurch sie sich besonders für Lastverschiebung eignen. Ältere Gebäude erfordern hingegen gezielte Sanierungen, um in DR-Programmen wirksam integriert werden zu können.
- **Gebäudemasse und Speichertechnologien:**  
Die gezielte Nutzung von Gebäudemasse, PCM und Pufferspeichern ist ein wesentlicher Hebel für Flexibilität. Besonders PCM kann große Energiemengen bei geringen Temperaturdifferenzen speichern und so Lastverschiebungen ermöglichen.
- **Übergabestationen als Schlüsselkomponenten:**  
Übergabestationen sind entscheidend für die technische Umsetzung von DR. Sie erlauben

es, Netzsignale in Gebäudemaßnahmen zu übersetzen. Ihre Ausstattung und Kommunikationsfähigkeit bestimmen maßgeblich, ob ein Gebäude aktiv zur Netzflexibilität beitragen kann.

- **Monitoring und Steuerung:**  
Demand Response erfordert präzise und hochauflösende Daten. Modellprädiktive Steuerungen (MPC) bieten großes Potenzial, indem sie Prognosen zur Laststeuerung nutzen. Praktische Umsetzung wird jedoch durch fehlende Schnittstellen, hohe Kosten und unzureichende Standardisierung erschwert.
- **Systemintegration:**  
Ein wesentliches Highlight von Subtask B ist die Erkenntnis, dass Maßnahmen nur auf Gebäudeebene nicht ausreichen. Erst die Kombination von Gebäude-, Übergabestations- und Netzebene ermöglicht eine wirksame Flexibilisierung.

### 6.2.3 Zentrale Schlussfolgerungen aus Subtask B

1. **Vielfältiger Gebäudebestand erfordert maßgeschneiderte DSM-Strategien:**  
Das DSM-Potenzial variiert erheblich in Abhängigkeit von Gebäudetypologie und Baujahr. Gebäude nach 1980 – meist besser gedämmt und mit höherer thermischer Masse – bieten bessere Bedingungen für Flexibilität. Ältere Gebäude benötigen hingegen gezielte Sanierungen, um für Demand Response geeignet zu sein.
2. **Synergien über verschiedene Systemebenen hinweg:**  
Eine wirksame DSM-Umsetzung erfordert koordinierte Maßnahmen zwischen Gebäuden, Übergabestationen und Netzen. Optimierungen ausschließlich auf Gebäudeebene führen häufig zu suboptimalen Ergebnissen, wenn sie nicht durch zentrale Orchestrierung und eine gemeinsame Dateninfrastruktur unterstützt werden.
3. **Hochwertige Daten sind Grundlage für verlässliche Flexibilität:**  
Steuerungsstrategien und prädiktive Modelle hängen stark von präzisen, hochauflösenden Daten ab. Begrenzte Verfügbarkeit und geringe Granularität von Betriebsdaten aus Übergabestationen und Endgeräten behindern die Wirksamkeit von Flexibilitätsaktivierung und -messung erheblich.
4. **Lücke zwischen technischem Potenzial und Steuerungssystemen:**  
Obwohl DSM-fähige Technologien wie PCM-Speicher und intelligente Wärmeübergabestationen technisch ausgereift sind, werden ihre Fähigkeiten oft nicht ausgeschöpft, da geeignete, reaktionsfähige Steuerungsalgorithmen fehlen, die mit DHC-Signalen harmonisieren.

#### 5. **Integration heterogener Technologien bleibt herausfordernd:**

Das Fehlen standardisierter Kommunikationsprotokolle und die begrenzte Interoperabilität zwischen Geräten erschweren die großflächige Einführung von DSM. Besonders problematisch ist dies in Gebäudebeständen, die sowohl moderne als auch ältere Systeme umfassen.

### 6.2.4 Internationale Erkenntnisse und Wirkungen

International hat Subtask B verdeutlicht, dass die größten Fortschritte in Ländern mit modernem Gebäudebestand und hoher Sanierungsrate erzielt werden. Skandinavische Länder gelten hier als Vorreiter. Gleichzeitig zeigte sich, dass die internationale Gemeinschaft ähnliche Probleme teilt: mangelnde Standardisierung, fehlende Daten, unklare regulatorische Rahmenbedingungen.

Für Österreich sind insbesondere folgende Erkenntnisse relevant:

- Sanierungsstrategie: Da viele Gebäude älter sind, müssen Nachrüstlösungen und Förderprogramme stärker auf DR ausgerichtet werden.
- Kompetenzen in Speicher- und Steuerungstechnologien: Österreich kann hier internationale Sichtbarkeit nutzen und Märkte erschließen.
- Kommunale Wärmenetze: Sie spielen eine Schlüsselrolle für DR und können als Demonstrationsprojekte dienen.

### 6.2.5 Relevanz für Österreich

Österreich war in Subtask B stark involviert und konnte zentrale Beiträge leisten, insbesondere bei der Analyse von Speichertechnologien und der Rolle von Übergabestationen. Für die nationale FTI-Politik ergeben sich klare Handlungsempfehlungen:

- Förderung von Pilotprojekten zur Demonstration von DR-Technologien im Gebäudebestand.
- Integration von DR-Aspekten in Sanierungsförderprogramme.
- Unterstützung von Standardisierungsinitiativen zur Verbesserung der Interoperabilität.
- Nutzung österreichischer Kompetenzen in Speicher- und Regelungstechnik als Exportchance.

## 6.3 Subtask C: Methoden und Tools

Subtask C bot einen umfassenden Überblick über den Stand der Technik zu Methoden, Frameworks, Software, numerischen Tools und Algorithmen, die für ein intelligentes thermisches Management einzelner Gebäude und von Gebäudeverbänden, die an Fernwärme- und Fernkältenetze angeschlossen sind, relevant sind.

Behandelt wurden Aspekte wie:

- dynamische Modellierung,
- Big-Data-Verarbeitung und -Analyse,
- automatisierte Fehlererkennung,
- digitale Zwillinge zur Orchestrierung des intelligenten thermischen Betriebs und
- Demand Response von Gebäuden, die in thermische Netze integriert sind.

Wichtige Schlussfolgerungen sind:

### 6.3.1 Grenzen bestehender Tools

Nur wenige der existierenden kommerziellen Modellierungswerkzeuge, die von Ingenieur:innen und Betreiber:innen eingesetzt werden, eignen sich für die Simulation, Analyse und Optimierung von Gebäudeclustern, die Demand Response und Building-to-Grid-Dienste für thermische Netze erbringen.

Zwar existieren fortgeschrittene multidisziplinäre Modellierungs- und Co-Simulations-Frameworks, die viele Aspekte der Kopplung zwischen

- Gebäude-Innendynamik,
- Heiz- und Kühlnetzen und
- fortgeschrittenen Steuerungsstrategien

abbilden können – doch sie sind mit einer hohen Lernkurve verbunden.

Trotz der wachsenden Verbreitung von Standards wie der Functional Mock-up Interface (FMI) und der Entwicklung von Schnittstellen (APIs) für Programmiersprachen wie Python oder MATLAB bestehen weiterhin Interoperabilitätsprobleme, die eine nahtlose Integration verschiedener fachspezifischer Modellierungswerkzeuge verhindern.

Zusätzlich stellt die Skalierbarkeit von Modellen eine Herausforderung dar – insbesondere hinsichtlich Rechenzeit und Stabilität der Solver. Derzeit ist es schwierig, großskalige dynamische Simulationen mit tausenden Gebäuden im Stundenraster über ein gesamtes Jahr hinweg durchzuführen, um Demand Response-Dienste für ein Wärmenetz abzubilden.

Die zukünftige Entwicklung von Modellierungswerkzeugen für Gebäude und thermische Netze sollte daher:

- anwenderfreundlicher werden,
- Co-Simulations-Frameworks vereinfachen,
- die Dokumentation verbessern,
- die Einstiegshürden für Ingenieur:innen und Netzbetreiber:innen senken,
- und gleichzeitig ein Gleichgewicht zwischen Genauigkeit und Rechenaufwand bei wachsender Clustergröße wahren.

### **6.3.2 Neue Forschungsrichtungen**

Mehrere Lösungsansätze und Forschungsrichtungen gewinnen an Bedeutung, da sie großes Potenzial zur Effizienzsteigerung von Fernwärme- und Fernkältenetzen sowie zum intelligenten Betrieb von Gebäudeclustern mit Building-to-Grid-Funktionalität haben.

Ein Treiber ist die zunehmende Verfügbarkeit von Smart-Meter-Daten mit stündlicher Auflösung, die neue Einblicke in das Verhalten von Endnutzer:innen ermöglichen. Für Versorgungsunternehmen wird so detailliertes Wissen über Raumheizungs- und Warmwasserprofile großer Gebäudecluster zugänglich. Dies ist entscheidend, um:

- unterperformende Systeme zu erkennen,
- den Betrieb des gesamten thermischen Netzes zu optimieren,
- neue Geschäftsmodelle und
- fortgeschrittene Steuerungsstrategien zu entwickeln – etwa zur Optimierung von Vor- und Rücklauftemperaturen oder zur Abmilderung von Erzeugungsspitzen.

Aktiv wird an der Weiterentwicklung von Big-Data-Analysen für DHC-Systeme geforscht, insbesondere zur Bewältigung von Herausforderungen wie:

- Datenlücken (Imputation fehlender Werte),
- niedriger Messauflösung des Energieverbrauchs,
- Trennung von Raumheizungs- und Warmwasserverbrauch aus Gesamtdaten der Haupt-Smart-Meter.

### **6.3.3 Digitale Zwillinge und KI**

Der kontinuierliche Strom hochauflösender Gebäudedaten kann genutzt werden, um digitale Zwillinge von Fernwärme- und Fernkältesystemen zu erstellen und zu betreiben – also virtuelle Abbilder physischer Systeme mit bidirektionaler Kommunikation.

Diese ermöglichen:

- Echtzeit-Leistungsbewertung und Prognosen,
- Energie- und Kostenoptimierung des Netzbetriebs,
- Spitzenlastmanagement,
- Integration erneuerbarer Energien sowie
- Fehlererkennung und -diagnose.

Besonders im Bereich Fehlerdiagnose werden vermehrt KI- und Machine-Learning-Algorithmen entwickelt. Ziel ist die automatisierte Erkennung und Diagnose von Störungen in Fernwärme- und Fernkältenetzen sowie in zugehörigen Gebäudesystemen. Die Systematisierung solcher Frameworks könnte prädiktive Instandhaltung im großen Maßstab ermöglichen und so erheblich zur Energie- und Kosteneffizienz sowie Versorgungssicherheit beitragen.

Die größte Hürde bleibt jedoch der Mangel an qualitativ hochwertigen, standardisierten und gelabelten Daten (Ground Truth) zu Fehlerstatus, -ursachen und -folgen.

### **6.3.4 Umsetzung in der Praxis**

Schließlich sollten stärkere Anstrengungen auf die praktische Umsetzung, den Roll-out und die Demonstration der genannten Anwendungen und DR-Strategien gelegt werden – unter den vielfältigen Bedingungen unterschiedlicher:

- Datenstrukturen,
- Hardware- und Softwareumgebungen,
- Systeme,
- Kund:innen,
- Steuerungsstrategien und
- Kommunikationsprotokolle.

Aktuell sind Interoperabilität, Portabilität und Skalierbarkeit dieser Lösungen begrenzt, was tragfähige Geschäftsmodelle erschwert. Als Schlüsseltechnologien gelten hier:

- standardisierte Ontologien,
- Building Information Models (BIM) und
- semantische Prinzipien,

die eine nahtlose Implementierung erleichtern und die breite Anwendbarkeit solcher Lösungen freisetzen könnten.

## 6.4 Subtask D: Fallstudien

Subtask D konzentrierte sich auf die Analyse bestehender Gebäude, die thermische Speicher für DHC-Systeme bereitstellen können. Dabei wurden sowohl die eingesetzten technologischen Lösungen als auch die bestehenden Kooperationsstrategien untersucht. Ziel war es, Best Practices aufzuzeigen und die effektive Integration von Demand Response (DR) in thermische Netze zu erleichtern.

Zur Unterstützung dieser Arbeit wurde ein Fragebogen entwickelt, der als standardisiertes Rahmenwerk zur Sammlung und Dokumentation relevanter Informationen über DSM-Implementierungen und Projekte in Fernwärmenetzen dient.

Der Fragebogen erhebt systematisch vergleichbare Daten aus verschiedenen Fallstudien und ermöglicht so die Analyse und Bewertung von DSM-Methoden und ihrer Wirksamkeit über unterschiedliche Projekte hinweg. Forschenden und Praktiker:innen wird damit ein strukturierter Rahmen geboten, um zentrale Parameter einzureichen. Dies erleichtert den Vergleich und den Wissenstransfer zwischen unterschiedlichen Anwendungen. Abgedeckt werden Themen wie:

- Gebäudetypen,
- eingesetzte Speichertechnologien,
- Eigenschaften der thermischen Netze,
- angewandte DSM-Maßnahmen samt Zweck und erwarteten Nutzen.

Insgesamt wurden 29 Fallstudien zu DSM in Fernwärmenetzen gesammelt und analysiert. Jede Fallstudie ist einem eigenen Forschungsprojekt zugeordnet, an dem verschiedene Akteure beteiligt sind (Universitäten, Forschungsinstitute, private Unternehmen), oft in Konsortien. Die Projekte stammen aus den Jahren 2010 bis 2025 und sind überwiegend in Europa angesiedelt – insbesondere in Dänemark und Deutschland –, was das hohe Interesse an DSM in gebäudeseitig angeschlossenen Fernwärmenetzen widerspiegelt. Für jedes Projekt wurde eine kompakte Zusammenfassung erstellt, inklusive Statusbewertung des Forschungsprojekts und Fortschritts bei der DSM-Implementierung.

Zur Verbreitung der Ergebnisse wurden eine Fallstudienbroschüre sowie eine Präsentation mit Fallstudienprofilen erstellt [21]. Ziel: erfolgreiche Projekte visuell ansprechend und leicht verständlich darzustellen. Die standardisierten Profile enthalten wesentliche Kategorien wie Projektübersicht, Ziele, Systemgrenzen und Ergebnisse und fördern damit eine konsistente Analyse und Vergleichbarkeit.

## 6.4.1 Ergebnisse der vergleichenden Analyse

Die 29 Fallstudien zeigen vielfältige Ansätze und Best Practices:

- 23 Projekte sind bereits abgeschlossen, mit einer durchschnittlichen Laufzeit von drei Jahren.
- Die meisten Projekte fanden in Dänemark und Deutschland statt.
- Untersucht wurden sowohl Einzelgebäude (7 Fälle) als auch größere Netze. Häufig wurden nur Teile der angeschlossenen Netze für Experimente genutzt.
- Die Mehrheit der Projekte hatte technische Ziele, etwa das Testen neuer Innovationen zur Lastspitzenreduktion am Morgen.
- Mehrere Studien nutzten prädiktive Steuerungsstrategien, um Energienachfrageprognosen zu verbessern und Lasten effektiv zu managen.
- 7 Studien setzten die thermische Masse von Gebäuden als Speicherressource ein.
- 10 Studien untersuchten die Kund:innenakzeptanz und das Verhalten im Kontext von Demand Response.
- Der Technologie-Reifegrad (TRL) der meisten Projekte lag bei 7, mit Fokus auf bestehende Gebäude und Netze.
- Wohngebäude dominierten, insbesondere Mehrfamilienhäuser und Einfamilienhäuser.
- Zum Einsatz kamen überwiegend zweite und dritte Generation von Fernwärmenetzen, die Raumwärme und Warmwasser bereitstellen.

## 6.4.2 Zentrale Befunde

- Thermische Energiespeicherung war die am häufigsten eingesetzte Speicherform (27 Systeme).
  - Davon waren 21 dezentral,
  - 17 nutzten die Gebäudemasse als Speicherelement.
- Nur ein Projekt widmete sich explizit der Kälteversorgung (außerhalb des Fernwärmekontexts).
- Load Shifting war das wichtigste Ziel (55 % der Studien). Weitere Ziele: Load Shedding und Effizienzsteigerungen (29 %).
- Die Hauptnutznießer waren die Netzbetreiber – oft indirekt auch die Kund:innen.
  - 13 Studien: Nutzen für Netzbetreiber + Kund:innen
  - 6 Studien: direkter Nutzen für beide
  - 5 Studien: nur Netzbetreiber
  - 1 Studie: nur Kund:innen.
- Kostensenkung war ein häufiges Ziel (14 Studien, z. B. durch Verringerung der Spitzenlastkessel-Nutzung).
- CO<sub>2</sub>-Reduktion wurde in 7 Projekten explizit verfolgt.
- Rund die Hälfte der Maßnahmen wurde direkt durch den Netzbetreiber aktiviert.
- Untersuchte Ansätze: aktive/indirekte Maßnahmen, kollektive Ansätze (z. B. Smart-Home-Technologien) und Tarifstrukturen.

- Die meisten Studien fokussierten auf die Gebäude-Netz-Interaktion; der typische Betrachtungszeitraum war tägliches Lastmanagement.

### 6.4.3 Erkenntnisse aus den Fallstudien

Die Erkenntnisse lassen sich in zwei Hauptgruppen gliedern:

#### 1. Nutzerverhalten, thermischer Komfort und Akzeptanz

- Gebäude und Bewohner:innen sind individuell und dürfen nicht nur als „Lastpunkte“ behandelt werden.
- Dezentrale Steuerungsstrategien sind nötig, um Raumvariationen im Gebäude zu berücksichtigen.
- Akzeptanz steigt, wenn Funktionen und Nutzen von DR klar kommuniziert werden.
- Wichtige Faktoren: Innenklima, Timing von Lastverschiebungen, individuelle Eingriffsmöglichkeiten.
- Finanzielle Anreize motivieren stark – besonders in Kombination mit ökologischen Argumenten.
- Bewohner:innen akzeptieren Temperaturschwankungen, solange diese im Komfortbereich bleiben.

#### 2. Flexibilitätsquellen, DSM-Strategien und technische Aspekte

- Gebäudemasse kann als wertvolle Flexibilitätsquelle genutzt werden.
- Peak-Load-Management reduziert signifikant die Nachfrage in kritischen Phasen.
- Fortgeschrittene Steuerungssysteme (z. B. Economic Model Predictive Control) steigern die Wirksamkeit, müssen aber raumweise angepasst werden, um Überhitzung zu vermeiden.
- Ein ganzheitlicher Ansatz, der Nutzerpräferenzen und technische Innovationen verbindet, ist entscheidend.

### 6.4.4 Empfehlungen für Stakeholder

#### • Gebäude- & Systemaspekte:

- Dezentrale raumweise Steuerungsstrategien einsetzen.
- Massive Gebäude als thermische Speicher anerkennen.
- Speicherkapazität in Gradstunden quantifizieren.
- Zielgerichtetes Vorerwärmen bestimmter Zonen priorisieren.
- Kurze Eingriffszeiten können Spitzenlasten reduzieren.
- Hybridnetze im Sommer abschalten → Verluste minimieren.

#### • Steuerung & Technologie:

- DSM-Auslöser mit Energiemanagementsystemen koordinieren.
- Prognosehorizonte verlängern.
- Keine Teilregelung von Heizkörpern in E-MPC-Anwendungen.

- Warmwasserbereitung in Spitzenzeiten priorisieren.
- Thermostate aktiv lassen → Kondensationsgefahr vermeiden.
- **Nutzer:innen-Einbindung & Kommunikation:**
  - DSM-Funktionen und Nutzen klar erklären.
  - Teilnahme als gemeinschaftliche Leistung darstellen.
  - Ökonomische & ökologische Vorteile betonen.
  - Nutzer:innen Eingriffsmöglichkeiten geben (z. B. App-Benachrichtigungen).
- **Umsetzungsstrategie:**
  - Gebäudeprobleme vor DSM-Einführung adressieren.
  - Kürzere DR-Ereignisse für Gebäude mit hohem Override-Risiko wählen.
  - Einfache, kostengünstige, datengetriebene Lösungen priorisieren.
  - Umfassende Stakeholder-Beteiligung sicherstellen.
- **Fehler vermeiden:**
  - Gebäude nicht als reine Lastpunkte betrachten.
  - Keine neuen Spitzenlasten erzeugen.
  - Nutzer:innen nicht ignorieren.
  - Keine Temperaturabsenkung in bereits kalten Perioden.
  - Übermäßig komplexe Lösungen vermeiden, wenn einfache Alternativen genügen.

## 6.5 Überblick: Projektergebnisse, Innovationen und Weiterentwicklungen

Der IEA EBC Annex 84 hat gezeigt, dass Gebäude im Kontext von Fernwärme- und Fernkältesystemen (DHC) nicht nur passive Verbraucher, sondern aktive Elemente für die Systemflexibilität sein können. Durch die Nutzung von Gebäudemasse, thermisch aktivierten Bauteilen, Speichern und digitalen Steuerungen lassen sich erhebliche Potenziale für Demand Response (DR) erschließen. Der Annex 84 verdeutlicht, dass technische Machbarkeit, soziale Akzeptanz und digitale Methoden zusammenwirken müssen, um Demand Response im großen Maßstab umzusetzen.

### 6.5.1 Internationale Erkenntnisse und Wirkungen

Auf internationaler Ebene wurden folgende wesentliche Erkenntnisse gewonnen:

- **Technisch:** Gebäude können als dezentrale Speicher genutzt werden und sind damit integraler Bestandteil künftiger DHC-Systeme.
- **Sozial:** Nutzer:innen akzeptieren DR, wenn Komfort, Transparenz und faire Tarifmodelle gewährleistet sind.
- **Digital:** Datengetriebene Methoden und digitale Zwillinge gelten als Schlüsseltechnologien für Planung, Betrieb und Wartung.

- **Politisch/regulatorisch:** Fehlende regulatorische Rahmenbedingungen, geringe Verbreitung variabler Tarife und mangelnder Wissenstransfer hemmen die Umsetzung.

Die Wirkungen sind weitreichend: Annex 84 hat zu einem internationalen Wissenspool beigetragen, der die Standardisierung von DR-Begriffen und -Methoden fördert und Versorgern, Forschungseinrichtungen und politischen Entscheidungsträger:innen konkrete Handlungsoptionen bietet.

Für Österreich lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Relevanz von dezentralen Flexibilitätsquellen in Gebäuden, insbesondere in Mehrfamilienhäusern.
- Notwendigkeit, die Regulatorik anzupassen (z. B. rechtliche Rahmen für variable Tarife, Datenschutz bei Smart-Meter-Daten).
- Bedeutung von Wissenstransfer und Schulung für Versorgungsunternehmen.
- Stärkung der Rolle Österreichs als aktiver Partner in internationalen IEA-Kooperationsprojekten.
  - Mehrere internationale Publikationen zu DSM in DHC-Systemen, KI-gestützter Fehlerdiagnose und Nutzerakzeptanz.

## 6.5.2 Relevante Publikationen für Österreich

Besonders relevant für Österreich und mit starker nationaler Beteiligung sind:

- Deliverable Subtask B: Bewertung von Technologien auf Gebäudeebene – da hier die österreichische Expertise in Gebäudetechnologien und Speicheroptionen stark eingebracht wurde.
- Fallstudienanalyse (Subtask D): Österreichische Partner:innen wirkten bei der Sammlung, Strukturierung und Analyse der internationalen DSM-Projekte mit.
- Publikationen im Kontext von Nutzerakzeptanz (Subtask A): Erkenntnisse fließen direkt in nationale Projekte und Programme zur Wärmewende ein.

# 7 Vernetzung und Ergebnistransfer

Im Rahmen des IEA EBC Annex 84 wurden zahlreiche Veranstaltungen, Publikationen und Disseminationsaktivitäten durchgeführt, um die Projektergebnisse an die relevanten Zielgruppen in Wissenschaft, Industrie, Politik und Gesellschaft weiterzugeben.

## 7.1 Webinare und Veranstaltungen des Annex 84

1. **Öffentliches Abschluss-Webinar des IEA EBC Annex 84**, 24. April 2025. Präsentation der internationalen Projektergebnisse durch Subtask-Leiter:innen, offene Diskussion mit Teilnehmenden.  
Materialien: [annex84.iea-ebc.org](https://annex84.iea-ebc.org)  
Videos: [YouTube Playlist](#)
2. **Special Session „Demand Response in DHC Systems“** im Rahmen der *Smart Energy Systems Conference 2024*, 10.–11. September 2024, Aalborg, Dänemark.
3. **Workshop „Flexibility and Load Management for Energy Grids: The Hidden Potential of Buildings“**, 10. April 2024, im Rahmen der ISEC 2024 (International Sustainable Energy Conference) in Graz; Beiträge u. a. von AEE INTEC, IEA ES Task 43.  
[ISEC Konferenz 2024 Programm](#)
4. **Gemeinsamer Workshop des IEA EBC Annex 84 mit dem IEA ES Task 43** („Standardized Use of Building Mass as Storage for Renewables and Grid Flexibility“), 09. April 2024 in Graz, ca. 30 Teilnehmende.  
[IEA ES Task 43](#)  
[LinkedIn-Post](#)



Abbildung 5: Gemeinsamer Workshop des IEA EBC Annex 84 mit dem IEA ES Task 43 („Standardized Use of Building Mass as Storage for Renewables and Grid Flexibility“) Copyright: Ingo Leusbrock

## 7.2 Vorträge und Präsentationen im direkten Zusammenhang mit Annex 84

1. Leusbrock, I., Marzsal, A., u. a. (2024): *Flexibility and Load Management for Energy Grids – The Role of Buildings*. Beitrag bei ISEC 2024, Graz.
2. Special Session: *Demand Response in District Heating and Cooling – Opportunities and Barriers*, Smart Energy Systems Conference 2024, Aalborg.
3. Präsentationen der Subtask-Leiter:innen auf internationalen Working Meetings des Annex 84 (Graz 2024, Aalborg 2024).

## 7.3 Abschlussworkshop

Die wesentlichen Ergebnisse der österreichischen Beteiligung wurden im Rahmen eines öffentlichen Webinars und Workshops in Graz (ISEC 2024) sowie in einem Abschluss-Webinar im April 2025 präsentiert.

Beteiligte Zielgruppen:

- Energieversorger und Netzbetreiber (z. B. Stadtwerke, Fernwärmeunternehmen)
- Industrie und Technologieanbieter (z. B. Komponenten- und Systemhersteller)
- Politische Entscheidungsträger und Förderinstitutionen (BMK, FFG, E-Control)
- Forschungs- und Bildungseinrichtungen
- Öffentlichkeit und Endkund:innen (über frei zugängliche Online-Formate)

Im Fokus standen:

- Präsentation der Deliverables (Subtask A–D)
- Diskussion von Flexibilitätspotenzialen in Gebäuden und Netzen
- Strategien zur Nutzerintegration und zu fairen Preismodellen
- Politische und regulatorische Rahmenbedingungen für Demand Response in Österreich

## 7.4 Nutzung der Inhalte in Publikationen und Veröffentlichungen

- **Peer-Reviewed Article:** *Strengths, weaknesses, opportunities and threats of demand response in district heating and cooling systems. From passive customers to valuable assets, Smart Energy, 2024.*  
DOI: [10.1016/j.segy.2024.100135](https://doi.org/10.1016/j.segy.2024.100135)
- **Deliverables Subtask A–D:** Internationale Berichte, veröffentlicht auf der Annex-Website.
  - <https://annex84.iea-ebc.org/publications> (alle Publikationen)
  - [IEA EBC || Annex 84 || Demand Management of Buildings in Thermal Networks || IEA EBC || Annex 84](#) (Videos, Informationsmaterial, Deliverables, auch vom Abschlussmeeting)
- **Project Summary Report (2025):** Konsolidierte Zusammenfassung der Ergebnisse.
  - [EBC Annex 84 Project Summary Report 2025.pdf](#)
- **Fallstudienbroschüre (Subtask D, 2025):** Übersicht von 29 DSM-Fallstudien mit praxisnaher Darstellung für Versorger und Politik.
  - [20240902 IEA EBC Annex 84 Case Studies final RGB Web.pdf](#)
- **LinkedIn-Kommunikation:** Mehrere Posts und Diskussionsbeiträge durch österreichische Projektpartner (u. a. Ingo Leusbrock):
  - [Joint workshop on the role of buildings in the energy systems | LinkedIn](#)

## 7.5 Relevanz und Nutzen der Ergebnisse – national und international

**National:**

- Ergebnisse fließen in die Weiterentwicklung der österreichischen Wärmestrategie ein, insbesondere im Hinblick auf die Integration von Nachfrageflexibilität in Sanierungsprogrammen und kommunale Wärmeplanung.
- Empfehlungen zu fairen Preismodellen und Nutzerintegration sind relevant für Regulatorien und Energieversorger.
- Österreichisches Know-how zu Speichertechnologien, Übergabestationen und Regelstrategien wird durch die Teilnahme international sichtbar gemacht.
- Die österreichischen Projektpartner erhalten neue Impulse und Ideen für weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

**International:**

- Annex 84 schuf eine gemeinsame Terminologie und Bewertungsgrundlagen für Demand Response, die international anschlussfähig sind.
- Die Fallstudien aus Annex 84 dienen als Best-Practice-Sammlung für andere Länder.
- Die Ergebnisse tragen zur Standardisierung und Harmonisierung von DSM-Ansätzen in DHC-Systemen bei.
- Impulse für Folgeprojekte auf IEA-Ebene (z. B. zu Building-to-Grid-Konzepten, digitale Zwillinge, sektorübergreifende Flexibilität).

# 8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

## 8.1 Erkenntnisse für das Projektteam – fachliche Einschätzung

Der IEA EBC Annex 84 hat in den letzten Jahren gezeigt, dass Demand Response (DR) in Fernwärme- und Fernkältesystemen technisch machbar, wirtschaftlich sinnvoll und gesellschaftlich akzeptabel ist – unter bestimmten Voraussetzungen. Eine zentrale Erkenntnis ist, dass Gebäude nicht mehr nur als Verbraucher, sondern als aktive Elemente und thermische Speicher betrachtet werden können. Dadurch lassen sich Netze flexibler betreiben, Lastspitzen reduzieren und erneuerbare Energien besser integrieren.

Aus den vier Subtasks lassen sich folgende fachliche Schlussfolgerungen ziehen:

- **Kooperationsmodelle (Subtask A):** Die Akzeptanz von Endkund:innen hängt maßgeblich von Transparenz, Komfortwahrung und fairen Tarifen ab. Fehlt es an klarer Kommunikation, entstehen Frustration und Widerstand. Für Versorger stellt die regulatorische Unsicherheit ein wesentliches Hindernis dar. Ein wesentlicher Befund ist, dass DR nur erfolgreich umgesetzt werden kann, wenn sozial gerechte Preismodelle, Kommunikationsstrategien und Vertrauen aufgebaut werden.
- **Technologien auf Gebäudeebene (Subtask B):** Der Gebäudebestand ist heterogen und erfordert maßgeschneiderte Flexibilitätsstrategien. Neubauten und sanierte Gebäude mit hoher Speicherkapazität eignen sich besonders gut für DR, während Altbauten oft Nachrüstungen benötigen. Übergabestationen können als wichtige Schnittstellen für Flexibilität dienen. Monitoring- und Regelungstechnik ist entscheidend, jedoch fehlen vielfach standardisierte Kommunikationsprotokolle. Es zeigt sich eine Lücke zwischen technologischem Potenzial und reifen Steuerungssystemen.
- **Methoden und Tools (Subtask C):** Fortschritte bei Simulation, Big-Data-Analysen und digitalen Zwillingen eröffnen neue Möglichkeiten für eine prädiktive, effiziente Steuerung von Netzen. Allerdings bestehen Skalierungsprobleme, Interoperabilitätshürden und Datenlücken. Besonders kritisch ist der Mangel an hochwertigen Referenzdaten für die Entwicklung von KI-basierten Fehlererkennungs- und Steuerungsalgorithmen.
- **Fallstudien (Subtask D):** Die Analyse von 29 europäischen Projekten (vorwiegend in Dänemark und Deutschland) zeigt, dass die meisten Ansätze technisch funktionieren und Lastverschiebungen ermöglichen. Erfolgreiche Projekte zeichnen sich durch enge Kooperation

mit Endkund:innen, einfache Steuerungsansätze und wirtschaftliche Anreize aus. Technologisch dominieren thermische Speicherlösungen – insbesondere die Nutzung der Gebäudemasse. Die meisten Projekte verfolgen technische Innovationsziele, gleichzeitig gewinnen Aspekte wie Nutzerverhalten und soziale Akzeptanz zunehmend an Bedeutung.

In Summe hat das Projektteam die Einschätzung gewonnen, dass Demand Response in DHC-Systemen ein entscheidendes Instrument für die Dekarbonisierung sein kann, wenn technologische Innovation, regulatorische Rahmenbedingungen und Nutzerakzeptanz zusammenspielen. Österreich konnte durch seine Beteiligung sowohl technologische Erkenntnisse (z. B. Potenziale der Gebäudemasse, Rolle der Übergabestationen) als auch strategische Empfehlungen für Politik und Versorger ableiten.

## **8.2 Weiterführende nationale Forschungs- und IEA-Kooperationsprojekte**

Annex 84 hat Impulse für neue Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gegeben. Auf nationaler Ebene werden mehrere Folgeprojekte im Bereich energie-flexible Gebäude, Demand Response und Smart Thermal Grids verfolgt, darunter Projekte zur dynamischen Betriebsführung von Fernwärmesystemen, zur Kopplung von Fernwärme mit Stromnetzen (Sektorkopplung) sowie zur Nutzung von Big-Data-Analysen für Betriebsoptimierung und Fehlerdiagnose.

International wird die Arbeit im Rahmen der IEA fortgeführt. In der EBC-Community sind Folgeaktivitäten zu digitalen Zwillingen, Gebäude-zu-Netz-Interaktion (Building-to-Grid, B2G) und Sektorkopplung in Vorbereitung. Auch im Rahmen der IEA DHC Plattform wird das Thema Demand Response weiterbearbeitet, insbesondere im Hinblick auf die praktische Umsetzung in europäischen Ländern. Österreich ist hier stark eingebunden und kann durch seine Erfahrungen aus Annex 84 einen wichtigen Beitrag leisten.

Besonders relevant ist die zunehmende Verzahnung mit der Stromseite: Während Demand Response bisher stark stromfokussiert war, zeigt Annex 84, dass auch thermische Netze flexible Potenziale bereitstellen. Dies eröffnet neue Forschungsfragen zur Kombination thermischer und elektrischer Flexibilität sowie zur integrierten Optimierung urbaner Energiesysteme.

## **8.3 Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik**

Aus den Arbeiten im Annex 84 lassen sich mehrere konkrete Empfehlungen für die österreichische Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik (FTI-Politik) ableiten:

- 1. Stärkung von Pilot- und Demonstrationsprojekten:**

Um Demand Response großflächig in der Praxis zu etablieren, sind nationale Leuchtturmprojekte notwendig, die technische Lösungen im Realbetrieb testen. Diese Projekte sollten sowohl technische Aspekte (z. B. intelligente Übergabestationen, digitale Zwillinge) als auch soziale Aspekte (Kundenzufriedenheit, faire Tarife) abdecken.
- 2. Förderung von Dateninfrastruktur und Interoperabilität:**

Hochwertige Daten sind die Grundlage für prädiktive Steuerung und KI-Algorithmen. Österreich sollte daher Initiativen zur Standardisierung von Datenformaten, Kommunikationsprotokollen und Schnittstellen unterstützen. Gleichzeitig sind Datenaustauschplattformen zwischen Versorgern, Forschung und Industrie zu fördern.
- 3. Soziale Dimension und Nutzerakzeptanz stärker adressieren:**

Nutzer:innen akzeptieren Demand Response nur, wenn Komfort, Transparenz und Kontrolle gewahrt bleiben. Es braucht sozial gerechte Tarifmodelle und Kommunikationsstrategien, die sowohl ökonomische Anreize als auch ökologische Vorteile vermitteln. Die Politik sollte Rahmenbedingungen schaffen, die Energiearmut verhindern und gleichzeitig Anreize für Sanierungen und Effizienzmaßnahmen setzen.
- 4. Fokus auf Gebäudebestand und Sanierung:**

Der größte Teil des Potenzials liegt in Bestandsgebäuden. Politische Maßnahmen sollten die Integration von Flexibilitätsoptionen in Sanierungsprogrammen verankern und Nachrüstungen (z. B. smarte Übergabestationen, steuerbare Heizsysteme) fördern.
- 5. Verknüpfung mit nationalen und internationalen Forschungsinitiativen:**

Österreich sollte seine aktive Rolle in internationalen IEA-Kooperationen beibehalten und ausbauen. Dies stärkt nicht nur die internationale Sichtbarkeit, sondern ermöglicht auch den Zugang zu Best Practices. Nationale Forschungsprogramme sollten gezielt mit internationalen Initiativen gekoppelt werden.
- 6. Rahmenbedingungen für Marktdesign und Regulierung:**

Viele Hürden für Demand Response liegen im regulatorischen Bereich. Die österreichische FTI-Politik sollte daher eng mit der Energiepolitik verzahnt werden, um Flexibilität als Systemdienstleistung anzuerkennen und entsprechende Marktmechanismen einzuführen.

## 8.4 Fazit

Annex 84 hat gezeigt, dass Demand Response in Fernwärme- und Fernkältesystemen ein Schlüsselement der Energiewende darstellt. Österreich konnte durch seine Beteiligung wertvolle wissenschaftliche und praktische Erkenntnisse gewinnen, die sowohl für die Forschung als auch für die Energiepolitik von hoher Relevanz sind.

Die Ergebnisse belegen:

- Technisch sind Flexibilitätsoptionen vorhanden und erprobt,
- digital stehen Werkzeuge wie Big Data, Simulation und digitale Zwillinge bereit,
- sozial ist die Akzeptanz gegeben, wenn Komfort und Fairness gewährleistet sind,
- politisch/regulatorisch besteht jedoch Handlungsbedarf zur Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen.

Damit liefert Annex 84 eine solide Grundlage für die nächste Phase der Forschungs- und Umsetzungstätigkeiten. Österreich ist gut positioniert, diese Themen weiterzuentwickeln und aktiv zur internationalen Energiewende beizutragen.

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Struktur des IEA EBC Annex 84 auf internationaler Projektebene .....  | 18 |
| Abbildung 2: Struktur des IEA EBC Annex 84 auf österreichischer Projektebene.....  | 18 |
| Abbildung 3: Terminologie im Rahmen des IEA EBC Annex 84.....  | 19 |
| Abbildung 4: Illustrationen der vier DR-Typen laut Annex 84.....   | 20 |
| Abbildung 5: Gemeinsamer Workshop des IEA EBC Annex 84 mit dem IEA ES Task 43<br>(„Standardized Use of Building Mass as Storage for Renewables and Grid Flexibility“) Copyright:<br>Ingo Leusbrock ..... | 37 |

## Literaturverzeichnis

- [1] T. Abergel and C. Delmastro, 'Is cooling the future of heating? – Analysis', IEA. Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.iea.org/commentaries/is-cooling-the-future-of-heating>
- [2] S. Werner, 'International review of district heating and cooling', *Energy*, vol. 137, pp. 617–631, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.04.045.
- [3] A. R. Mazhar, S. Liu, and A. Shukla, 'A state of art review on the district heating systems', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 96, pp. 420–439, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.08.005.
- [4] 'District Heating - Energy System', IEA. Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/district-heating>
- [5] 'Net Zero by 2050 – Analysis', IEA. Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- [6] H. Lund, A. N. Andersen, P. A. Østergaard, B. V. Mathiesen, and D. Connolly, 'From electricity smart grids to smart energy systems – A market operation based approach and understanding', *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 96–102, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.04.003.
- [7] Y. Li, Y. Rezgui, and H. Zhu, 'District heating and cooling optimization and enhancement – Towards integration of renewables, storage and smart grid', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 281–294, May 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.061.
- [8] P. Sorknæs *et al.*, 'Smart Energy Markets - Future electricity, gas and heating markets', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 119, p. 109655, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109655.
- [9] F. Reda, S. Ruggiero, K. Auvinen, and A. Temmes, 'Towards low-carbon district heating: Investigating the socio-technical challenges of the urban energy transition', *Smart Energy*, vol. 4, p. 100054, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.segy.2021.100054.
- [10] M. A. Sayegh *et al.*, 'Trends of European research and development in district heating technologies', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 1183–1192, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.02.023.
- [11] V. Verda and F. Colella, 'Primary energy savings through thermal storage in district heating networks', *Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 4278–4286, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.04.015.

- [12] D. Olsthoorn, F. Haghghat, and P. A. Mirzaei, 'Integration of storage and renewable energy into district heating systems: A review of modelling and optimization', *Solar Energy*, vol. 136, pp. 49–64, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.06.054.
- [13] E. Guelpa and V. Verda, 'Thermal energy storage in district heating and cooling systems: A review', *Applied Energy*, vol. 252, p. 113474, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113474.
- [14] A. Vandermeulen *et al.*, 'SOURCES OF ENERGY FLEXIBILITY IN DISTRICT HEATING NETWORKS: BUILDING THERMAL INERTIA VERSUS THERMAL ENERGY STORAGE IN THE NETWORK PIPES', presented at the uSim Conference 2018, in uSim Conference, vol. 1. IBPSA Scotland, 2018, pp. 114–121. Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: [https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=usim2018\\_025](https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=usim2018_025)
- [15] W. Gu, J. Wang, S. Lu, Z. Luo, and C. Wu, 'Optimal operation for integrated energy system considering thermal inertia of district heating network and buildings', *Applied Energy*, vol. 199, pp. 234–246, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.004.
- [16] S. F. Van Der Meulen, 'Load management in district heating systems', *Energy and Buildings*, vol. 12, no. 3, pp. 179–189, Nov. 1988, doi: 10.1016/0378-7788(88)90063-1.
- [17] S. Ø. Jensen *et al.*, 'IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings', *Energy and Buildings*, vol. 155, pp. 25–34, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.08.044.
- [18] R. Li *et al.*, 'Ten questions concerning energy flexibility in buildings', *Building and Environment*, vol. 223, p. 109461, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109461.
- [19] S. Goy, A. Ashouri, F. Maréchal, and D. Finn, 'Estimating the Potential for Thermal Load Management in Buildings at a Large Scale: Overcoming Challenges Towards a Replicable Methodology', *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 740–749, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.236.
- [20] H. Li *et al.*, 'Data-driven key performance indicators and datasets for building energy flexibility: A review and perspectives', *Applied Energy*, vol. 343, p. 121217, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121217.
- [21] 'IEA EBC Annex 84, Case Studies – Demand Management of Buildings in Thermal Networks', Bericht (online), Sep. 2024. [Online]. Available: [https://annex84.iea-ebc.org/Data/publications/20240902\\_IEA%20EBC%20Annex%2084%20Case%20Studies\\_final\\_RGB\\_Web.pdf](https://annex84.iea-ebc.org/Data/publications/20240902_IEA%20EBC%20Annex%2084%20Case%20Studies_final_RGB_Web.pdf)

## Abkürzungen

|       |   |
|-------|---|
| AI    | Artificial Intelligence (KI – Künstliche Intelligenz)                                   |
| AP    | Arbeitspaket  |
| BIM   | Building Information Modeling / Building Information Model                              |
| BMIMI | Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur                           |
| COP   | Coefficient of Performance (Leistungszahl)  |
| DC    | District Cooling (Fernkühlung)  |
| DHC   | District Heating and Cooling (Fernwärme und Fernkälte)                                  |
| DH    | District Heating (Fernwärme)  |
| DR    | Demand Response (Nachfragesteuerung)  |
| DSM   | Demand Side Management (Lastmanagement auf Nachfrageseite)                              |
| EBC   | Energy in Buildings and Communities (IEA-Programm)                                      |
| ExCo  | Executive Committee (Lenkungsausschuss der IEA)   |
| FTI   | Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik  |
| FMI   | Functional Mock-up Interface  |
| FWK   | Fernwärme- und Fernkälte  |
| HP    | Heat Pump (Wärmepumpe)  |
| HVAC  | Heating, Ventilation and Air Conditioning (Heizung, Lüftung, Klima)                     |
| ICT   | Information and Communication Technology (Informations- und Kommunikationstechnologien) |
| IEA   | International Energy Agency (Internationale Energieagentur)                             |
| ISEC  | International Sustainable Energy Conference   |
| MPC   | Model Predictive Control (modellprädiktive Regelung)                                    |
| PCM   | Phase Change Material (Latentwärmespeicher-Material)                                    |
| RES   | Renewable Energy Sources (Erneuerbare Energieträger)                                    |
| TRL   | Technology Readiness Level (Technologie-Reifegrad)                                      |
| TES   | Thermal Energy Storage (Thermischer Energiespeicher)                                    |

