

# Urbaner Kältebedarf in Österreich 2030/2050

F. Wimmer, A. Pummer,  
P. Holzer, B. Beigelböck, K. Eder,  
L. Abart-Heriszt, M. Wolf,  
C. Rzhacek, T. Keller, B. Kling

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**3/2025**

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

DI Felix Wimmer BSc, Andreas Pummer MSc, DI Dr. Peter Holzer

Institute of Building Research and Innovation

DI Barbara Beigelböck, DI Dr. Katharina Eder

VASKO+PARTNER Ingenieure | Ziviltechniker für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH

DI Dr. Lore Abart-Heriszt

Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung

Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

DI Dr. Magdalena Wolf, DI Constanze Rzhacek,

DI Thomas Keller, DI Bernhard Kling

Institut für Verfahrens- und Energietechnik

Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

Wien, 2024

# Urbaner Kältebedarf in Österreich 2030/2050

UKÖ 2030/2050

DI Felix Wimmer BSc, Andreas Pummer MSc, DI Dr. Peter Holzer  
Institute of Building Research and Innovation

DI Barbara Beigelböck, DI Dr. Katharina Eder  
VASKO+PARTNER Ingenieure | Ziviltechniker für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH

DI Dr. Lore Abart-Heriszt  
Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung  
Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

DI Dr. Magdalena Wolf, DI Constanze Rzhacek, DI Thomas Keller, DI Bernhard Kling  
Institut für Verfahrens- und Energietechnik  
Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

Wien, Mai 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von





## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>12</b>
4.1.	Bildungsfaktoren des Kältebedarfs .....	12
4.2.	Analyse und Bewertung bestehender Kältebedarfsszenarien.....	13
4.3.	Kältematrix.....	14
4.4.	Kältebedarfsmodellierung und Kältebedarfskarten .....	15
4.5.	Technologieanalyse und -bewertung.....	17
4.6.	Machbarkeitsstudie an 5 Stadtquartieren .....	20
4.6.1.	Methode .....	20
4.6.2.	Kurzbeschreibung Stadtquartier 1 (offene Block-Bauweise).....	21
4.6.3.	Kurzbeschreibung Stadtquartier 2 (Blockrand-Bebauung).....	22
4.6.4.	Kurzbeschreibung Stadtquartier 3 (Bauweise geschlossen, nachverdichtet) .....	23
4.6.5.	Kurzbeschreibung Stadtquartier 4 (offene Bauweise, Neubau).....	24
4.6.6.	Kurzbeschreibung Stadtquartier 5 (gemischte Bauweise, Bahnhofsviertel) .....	25
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>26</b>
5.1.	Bildungsfaktoren des Kältebedarfs .....	26
5.2.	Analyse und Bewertung bestehender Kältebedarfsszenarien.....	32
5.3.	Kältematrix.....	37
5.4.	Kältebedarfsmodellierung und Kältebedarfskarten .....	44
5.4.1.	Wesentliche Erkenntnisse .....	44
5.4.2.	Bedeutende Einflussgrößen.....	50
5.4.3.	Schlussfolgerungen.....	54
5.5.	Technologieanalyse und -bewertung.....	55
5.6.	Machbarkeitsstudie an 5 Stadtquartieren .....	65
5.6.1.	Systemübersicht .....	65
5.6.2.	Vorgeschlagene Maßnahmen.....	73
5.6.3.	Grobkosten .....	76
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick und Empfehlungen</b> .....	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>85</b>

# 1 Kurzfassung

## Motivation

Es besteht weltweit und in Österreich eine deutlich steigende Nachfrage nach Gebäudekühlung. Sie wird getrieben durch eine Kombination aus steigendem Wohlstand, Urbanisierung, demografischen Entwicklungen und nicht zuletzt durch den Klimawandel. Gleichzeitig ist der aktuelle Wissensstand noch nicht ausreichend, um daraus konkrete Schlussfolgerungen für Politik und Verwaltung abzuleiten oder technologische Innovationen anzustoßen.

## Projekt-Inhalte und Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund zielt die gegenständliche Studie darauf ab, den zukünftigen Gebäude-Kältebedarf von Gebäuden und Quartieren für Österreich zu quantifizieren und darzustellen, Entscheidungsträger:innen bei der Entwicklung von Klimaschutzmaßnahmen und Klimawandelanpassungsstrategien zu unterstützen und Energieversorgern sowie Technologie- und Komponentenherstellern eine Abschätzung zum Kältebedarf der Zukunft zu liefern.

## Methodische Vorgehensweise

Die Arbeit ist wie folgt strukturiert:

1. Eine systematische Aufarbeitung der Bildungsfaktoren des steigenden Kältebedarfs wird vorgenommen.
2. Existierende Kältebedarfsszenarien werden analysiert und vergleichend bewertet.
3. Eine Kältebedarfsmatrix wird ausgearbeitet, in welcher der künftige Kältebedarf für unterschiedliche Klimastandorte, für unterschiedliche künftige Klimaszenarien, für unterschiedliche Gebäudestrukturen und für unterschiedliche Komfortanspruchsniveaus dargestellt wird. Die Zahlenwerte des Kältebedarfs werden mit dem Mittel der dynamischen thermischen Gebäudesimulation ermittelt.
4. Die Inhalte dieser Kältebedarfsmatrix werden geografisch verortet und in Kältebedarfskarten anschaulich dargestellt.
5. Eine strukturierte techno-ökonomische Technologieanalyse wird vorgenommen.
6. Die gesammelten Erkenntnisse werden exemplarisch in einer Machbarkeitsstudie auf fünf Stadtquartiere angewandt.

## Ergebnisse

Die wesentlichen **Bildungsfaktoren des Kältebedarfs** sind das Außenklima, die Gebäudequalität und die Gebäudenutzung. Die für den Kältebedarf relevante Maßzahl des Außenklimas ist die Anzahl der Kühlgradtage an einem Standort. Es ist anzunehmen, dass sich die Kühlgradtage im österreichischen Mittel bis 2050 um 50 % bis fast 100 % erhöhen werden.

Neben dem Außenklima erweist sich die Gebäudequalität als bestimmender Faktor für den Kältebedarf. Allen voran die Qualität der Befensterung und des Sonnenschutzes. Nachgelagert, aber dennoch relevant, sind die Qualitäten des Wärmeschutzes und der Lüftung. Der letzte Komplex von Bildungsfaktoren ergibt sich aus der Gebäudenutzung, also aus inneren Wärmelasten durch Personen oder Geräte.

Die nationalen **Kältebedarfsszenarien** prognostizieren ein diverses Bild des Kältebedarfs. Je nach Studie schwankt der Kältebedarf für das Jahr 2050 zwischen 3 TWh und 19 TWh. Eine Ausnahme ist die Studie nach Kranzl et al. (2011), die mit den Erkenntnissen aus Persson und Werner (2015) übereinstimmt.

Im Kontrast zu **Internationalen Kältebedarfsszenarien** klimatisch und kulturell ähnlicher Nationen, darunter Deutschland und Belgien, ist die Entwicklung des zukünftigen Kältebedarfs mit Österreich vergleichbar. Starke Abweichung ergeben sich durch die angewandte Grenztemperatur für die Bestimmung der Kühlgradtage, der Flächenangabe und - in Einzelfällen – die Berücksichtigung der Flächen- und Bevölkerungsentwicklung mit moderatem oder dynamischem Ansatz.

Eine **Kältematrix** wurde auf Basis der ermittelten Einflussfaktoren des Kältebedarfs als Excel Dokument entwickelt. Sie berücksichtigt Komfortniveau (generelles oder adaptives), Nutzungsart (Wohnen oder Büro), Bauperiode (vor 1945, 1945-1990 oder nach 1990) und Gebäudezustand (Bestand oder Saniert). Ebenfalls dient sie als Grundlagendokument für die geografische Verortung des Kältebedarfs und -leistung in Österreich.

Die **Kältebedarfskarten** nach dem generellen Komfortmodell zeigen - je nach Szenario - für das Jahr 2050 einen absoluten Kältebedarf von 3,5 bis 6,3 TWh/a. Signifikant hoch ist der Kältebedarf im Jahr 2050 in Wien und dessen Umgebung, im Burgenland und entlang des Donautals, verglichen mit anderen Gemeinden. Ein analoges Bild ergibt sich für die Kälteleistung desselben Jahres. Besonders bedeutende Einflussgrößen sind die Anzahl der Kühlgradtage, das Ausmaß der zu kühlenden Fläche, die Nutzung des Gebäudes und der Gebäudezustand.

Die **Technologieanalyse und -bewertung** bringt hervor, dass einige der untersuchten Technologien wenig Relevanz zugesprochen werden, weil ihr hiesiges Kühlpotenzial zu wenig bekannt oder zu niedrig ist. Weitere Gründe finden sich in ihrer geringen Verfügbarkeit, vergleichsweise hohen Kosten oder der Tatsache, dass ein sinnvoller Einsatz nur unter bestimmten Bedingungen möglich ist. Im Sinne der Nachhaltigkeit sind passive Kühlmaßnahmen oder Maßnahme zur Komfortverbesserung immer zuerst heranzuziehen. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Verschattung, die natürliche Lüftungskühlung und Komfortverbesserung jenseits des physikalischen Wärmeentzuges. Der Einsatz kühlender Hüllmaterialien und Sonnenschutzverglasungen ist individuell abzuwägen. Nur nach Ausschöpfung dieser und anderer passiver Möglichkeiten sollten auf aktive Kühlmaßnahmen zurückgegriffen werden.

Im Rahmen einer **Machbarkeitsstudie** werden für fünf repräsentative Stadtquartiere passive und aktive Kühlmaßnahmen ergriffen. Verschattung und Sonnenschutzverglasung wurden in allen Studien berücksichtigt. Kühlende Hüllmaterialien und hinterlüftete Fassaden wurden in den Studien nicht vorgeschlagen, da sie einen hohen Kostenfaktor darstellen. Ergänzend zu den passiven Maßnahmen werden für die betrachteten Stadtquartiere folgende Systemvarianten zur aktiven Temperierung vorgeschlagen:

- (1) Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung ins Grundwasser
- (2) Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung ins öffentliche Anergienetz
- (3) Fernkälte oder Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung an Erdsonden und Außenluft
- (4) Wärmepumpe/Kompressionskältemaschine mit Rückkühler an Erdsonden
- (5) Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung in den Fernwärme Rücklauf

## 2 Abstract

### **Motivation**

The demand for building cooling is significantly increasing - worldwide and in Austria. It is caused by the increase of prosperity, urbanisation, demographic developments and climate change.

Meanwhile, the current scientific knowledge is insufficient to derive precise conclusions for policy and administration or to initiate technological innovations.

### **Project contents and objectives**

Based on the background, the aim of this study is to quantify and present the future cooling demand of buildings and neighbourhoods in Austria, to support decision-makers in the development of climate protection measures and climate change adaptation strategies and to provide energy suppliers and technology manufactures with an estimate of future cooling demand.

### **Methodical procedure**

The study is structured as follows:

1. The formation factors of the increasing cooling demand are systematically analysed.
2. Existing cooling demand scenarios are analysed and evaluated comparatively.
3. Cooling demand matrix is designed to illustrate future cooling demand depended on climate location, future climate scenario, building structure and comfort requirements. Numerical values of the cooling demand are determined using dynamic thermal building simulation.
4. The contents of this cooling demand matrix are geographically localised and clearly illustrated in cooling demand maps.
5. A structured techno-economic technology analysis is performed.
6. The collected findings are applied to five urban neighbourhoods as examples in a feasibility study.

### **Results**

The main **cooling demand factors** are the outdoor climate, building quality and building utilisation. The relevant measure of the outdoor climate for cooling demand is the number of cooling degree days at a location. It must be assumed that the average number of cooling degree days in Austria will increase by 50 % to almost 100 % by 2050.

In addition to the outdoor climate, the quality of the building proves to be a determining factor for the cooling demand with particular emphasis on the quality of the fenestration and solar shading. Downstream but still relevant are the qualities of thermal insulation and ventilation. The final set of factors results from building utilisation, i.e. internal heat loads from people or appliances.

The **national cooling demand scenarios** forecast a diverse picture of cooling demand. Depending on the study, the cooling demand for 2050 varies between 3 TWh and 19 TWh. One exception is the study by Kranzl et al. (2011), which is justifiable with the findings from Persson and Werner (2015).

In contrast to international cooling demand scenarios of climatically and culturally similar nations, including Germany and Belgium, the development of future cooling demand is comparable with Austria. Significant deviations result from the applied limit temperature for determining the cooling degree days, the area specification and - in individual cases - the consideration of area and population development with a moderate or dynamic approach.

A **cooling matrix** was developed as an Excel document based on the cooling demand formation factors determined. It considers comfort level (general or adaptive), type of use (residential or office), construction period (before 1945, 1945-1990 or after 1990) and building condition (existing or refurbished). It also serves as a basic document for the geographical localisation of cooling demand and output in Austria.

The **cooling demand maps** according to the general comfort model show an absolute cooling demand of 3.5 to 6.3 TWh for the year 2050, depending on the scenario. The cooling demand in 2050 is significantly higher in Vienna and its surroundings, Burgenland and along the Danube valley compared to other regions. A similar picture emerges for the cooling capacity in the same year. Particularly significant influencing factors are the number of cooling degree days, the size of the area to be cooled, the utilisation of the building and the condition of the building.

The **technology analysis and assessment** reveal that some of the technologies analysed are considered to be of little relevance because their local cooling potential is not sufficiently known or is too low. Other limitations are their low availability, comparatively high costs or the fact that they can only be used sensibly under certain conditions. In terms of sustainability, passive cooling measures or measures to improve comfort should always be considered first. Shading, natural ventilation cooling and comfort improvement beyond physical heat extraction should be particularly emphasised here. The use of cooling envelope materials and solar control glazing must be considered on an individual basis. Active cooling measures should only be utilised once these and other passive options have been exhausted.

As part of a **feasibility study**, passive and active cooling measures were evaluated for the five urban neighbourhoods. Shading and solar control glazing were considered in all studies. Cooling envelope materials and ventilated façades were not proposed in the studies, as they either represent a high-cost factor. In addition to the passive measures, the following system variants for active temperature control are proposed for the urban neighbourhoods under consideration:

- (1) Compression chiller with cooler into the groundwater
- (2) Compression chiller with cooler into the public energy grid
- (3) District cooling or compression chiller with cooler to geothermal probes and outside air
- (4) Heat pump/compression chiller with cooler to geothermal probes
- (5) Compression chiller with cooler in the district heating return flow

# 3 Ausgangslage

## Motivation

Es besteht weltweit und in Österreich eine deutlich steigende Nachfrage nach Gebäudekühlung. Sie wird getrieben durch den steigenden Wohlstand, Urbanisierung, demografische Entwicklungen und nicht zuletzt dem Klimawandel (IEA, 2018)

In Österreich waren laut einer repräsentativen Studie der Energievergleichsplattform compera vom April 2019 zum Umfragezeitpunkt gut 30 % der Haushalte mit Klimageräten ausgestattet. Bei 37 % der Befragten war eine Anschaffung eines Klimageräts innerhalb der nächsten zwei Jahren geplant (Compera, 2019).

Im österreichischen mehrgeschoßigen Wohnbau beginnt sich die kombinierte Flächenheizung und -Kühlung zu etablieren. Monitoring-Ergebnisse aus Planungsobjekten aus eigener Beteiligung zeigen einen signifikanten Unterschied des Kältebedarfs für Wohn- und Bürogebäude. Für den Standort Wien ergibt sich derzeit für Wohngebäude ein jährlicher Kältebedarf von circa 10 kWh/(m<sup>2</sup>BGF.a) und circa 30 kWh/(m<sup>2</sup>BGF.a) für den Büroneubau.

Auch in der Forschung zur resilienten und klimaneutralen Kühlung von Gebäuden ist Österreich beteiligt. In internationaler Dimension etwa mit der Leitung des IEA Annex 80 Resilient Cooling of Buildings<sup>1</sup>, unter der Leitung des Konsortialführers des gegenständlichen F&E-Dienstleistungsangebots. Dort wurden ein State-of-the-Art Review und systematische Technologieprofile für resiliente, passive wie aktive, Kühltechnologien entwickelt, die jedenfalls einen deutlichen Mehrwert für die gegenständliche F&E Dienstleistung darstellen werden.

Über diese ersten Beiträge hinaus fehlt aber ein ausreichender Wissensstand, um daraus konkrete Schlussfolgerungen für Politik und Verwaltung abzuleiten oder technologische Innovationen anzustoßen. Dieser Mangel betrifft erstens belastbare Szenarien-Analysen über die Entwicklung des Kältebedarfs in Österreich, in regionaler Auflösung und in Abhängigkeit von Einflussparametern wie Klimawandelszenarien, bauliche Gegebenheiten und nicht zuletzt anzusetzenden Komfortansprüchen. Zweitens betrifft er eine systematische techno-ökonomisch-ökologische Bewertung von Technologien und Konzepten zur Kälteversorgung.

---

<sup>1</sup> <https://annex80.iea-ebc.org/> [letzter Zugriff: 13.01.2025]

## **Forschungsfrage**

Angesichts dieser Unkenntnisse ist die zusammenfassende Beantwortung folgender Forschungsfragen Ziel dieser Forschungsdienstleistung.

- Wie groß ist der Kältebedarf für Raumkühlung und in welchem Maß ist er abhängig von der absehbaren Klimaveränderung, von unterschiedlichen Gebäudestrukturen und von unterschiedlichen Komfortansprüchen?
- In welchem Maß und mit welchen Mitteln kann der Kältebedarf für Raumkühlung vermieden oder gesenkt werden und kann seine zukünftige Entwicklung gesteuert werden?
- Welche Technologien zur nachhaltigen, klimaneutralen Kühlung stehen zur Verfügung oder sind Optionen einer künftigen Entwicklung?
- Welche Handlungsempfehlungen hinsichtlich technologischer Entwicklung, Gebäuderenovierung, infrastruktureller Investitionen und regulatorischer Maßnahmen sind abzuleiten?

## **Zielsetzung**

Aus den Forschungsfragen heraus wurden nachfolgende konkrete Projektziele definiert.

- (1) Es sollen Einflussfaktoren auf den Kältebedarf und deren geeignete Festlegung für zukünftige Entwicklungen ausgearbeitet werden.
- (2) Der künftige Energiebedarf für Raumkühlung, einschließlich seiner monatlichen Verteilung und des maximalen Kühlleistungsbedarfs, immer je Quadratmeter konditionierte Fläche soll für verschiedene Szenarien berechnet und als Kältebedarfskarten auf Gemeindeebene visualisiert werden.
- (3) Eine techno-ökonomisch-ökologische Bewertung verfügbarer Technologien zur Gebäudekühlung soll als Grundlage für Systementscheidungen und Setzung politischer Rahmenbedingungen ausgearbeitet werden.
- (4) Die zuvor ausgearbeiteten Szenarien und Technologieprofile sollen in fünf unterschiedlichen, für Österreich typischen Stadtquartiere praktisch überprüft werden, um politische Steuerungsaktivitäten vorsorglich abzusichern.

# 4 Projektinhalt

## 4.1. Bildungsfaktoren des Kältebedarfs

Der Kältebedarf setzt sich aus unterschiedlichen Einflüssen zusammen. Zum Ziel dessen Bestimmung werden im Zuge dieser Forschungsarbeit sieben Faktoren identifiziert, interpretiert und analysiert.

Weiterführend werden sie als Bildungsfaktoren des Kältebedarfs bezeichnet. Identifiziert und untersucht wurden (1) Sozio-kulturelle Komfortanspruchsniveaus, (2) Nutzungsbedingungen, (3) Bauphysikalische und geometrische Eigenschaften, (4) Gebäude- und Siedlungsstrukturen, (5) Betriebsweise des Kälteabgabesystems, (6) Außenklima und (7) Entfeuchtungsenergiebedarf.

(1) Sozio-kulturelle Komfortanspruchsniveaus bildet sich aus den Ansprüchen des generellen Komforts, des adaptiven Komforts und der Arbeitsstättenverordnung. Für die Untersuchung wird für das Komfortanspruchsniveau „genereller Komfort“ Klasse II aus der ÖNORM EN 16498-1:2019 gewählt. Mit einer Unzufriedenheitsrate von 10 %, wie sie in haustechnischen Anwendungen üblich ist, ist somit eine Maximaltemperatur von 26 °C einzuhalten. Für die Untersuchung wird für das Komfortanspruchsniveau „adaptiver Komfort“ Klasse II aus der ÖNORM EN 16798-1:2019 gewählt. Nach Arbeitsstättenverordnung wird für Bürogebäude, abweichend von Wohngebäuden, ein Maximaltemperatur von 25 °C bei Vorhandensein einer technischen Kühlung festgelegt.

(2) Nutzungsbedingungen ergeben sich aus den Nutzungstypen Wohnen oder Büro, die sich anhand interner Lasten durch Personen und Gerät, sowohl auch durch Anforderungen des hygienischen Luftwechsels, unterscheiden. Für die Simulation werden Normwerte und -profile nach ÖNORM B 8110-3:2020 gewählt.

(3) Bauphysikalische und geometrische Eigenschaften bilden einen wesentlichen Anteil des Kältebedarfs. Für die Simulation werden bauphysikalische Kennwerte gemäß EU-Projekt Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA) (Amtmann und Altmann-Mavaddat, 2014) herangezogen und nach ÖNORM B 8110-7:2013 reproduziert. Die Berücksichtigung eines Wärmebrückenaufschlages wird nicht vorgenommen. Geometrische Eigenschaften werden nach OIB-Kostenoptimalitätsstudie definiert. Bezüglich transparenter Bauteile wird der Kennwert  $g_{\text{total,Fassade}}$  zur Abbildung der solaren Wärmeeinträge des Gebäudes definiert. Dieser Kennwert erweitert den Wert des Gesamtenergiedurchlassgrades um den Glasanteil in der Fassade und die Fremdverschattung durch gebaute Strukturen. Dadurch kann eine Vielzahl an unterschiedlichen Konfigurationen aus Verglasungsart, Sonnenschutzeinrichtung, Fremdverschattung und Glasanteil der Fassade abgebildet werden. Eine detaillierte Beschreibung des  $g_{\text{total,Fassade}}$  kann dem Bericht „E2.1 Bildungsfaktoren des Kältebedarfs“ entnommen werden.

(4) Gebäude- und Siedlungsstruktur bemisst sich anhand der Orientierung des Gebäudes und dem Effekt der Verschattung durch Nachbargebäude. Für die Simulation wird das Gebäude in 45°-Schritten gedreht. Aufgrund der Verglasungsfläche der Fenster decken vier Orientierungen alle kritischen Ausrichtungen ab (0°, 45°, 90° und 315°). Der Effekt der Verschattung durch Nachbargebäude wird anhand zwei Entfernungen zum Nachbargebäude ermittelt, die aus einer statistischen Untersuchung mithilfe des digitalen Flächen- und Bebauungsplans (FLWBPL) von Wien hervorgingen. Die Abstände wurden mit 15 m und 8 m ermittelt und für die Simulation angewendet.

(5) Betriebsweise des Kälteabgabesystems bezeichnet in dieser Forschungsarbeit das Regelungssignal des idealen Kälteabgabesystems.

(6) Außenklima wird durch stündliche Datensätze, sogenannte Typical Metrological Year (TMY), simuliert, die mit der Software Meteororm V8 generiert wurden. Unter Variation des Entwicklungsstandortes wurden mehrere TMY-Datensätze generiert und über einen iterativen Prozess ausgedünnt bis eine Auswahl an Klimadatensätzen entwickelt wurde, die das österreichische Bundesgebiet bestmöglich repräsentiert.

(7) Entfeuchtungsbedarf besteht aufgrund der Klimaveränderung und dem damit verbundenen Anstieg an absoluter Luftfeuchtigkeit. In der Praxis wird die Kennzahl der Entfeuchtungsgrammstunde angewandt. Sie beschreibt das Produkt aus Befeuchtungsstunde und der Differenz aus einem bestimmten Wassergehalt in der Raumluft und dem mittleren Wassergehalt der Außenluft. Der Wassergehalt der Außenluft ist jedoch in den Daten aus den Klimadatensätzen nicht enthalten, wodurch eine Abschätzung mit theoretischem Ansatz vorgenommen wurde.

## **4.2. Analyse und Bewertung bestehender Kältebedarfsszenarien**

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird zu bestehenden Kältebedarfsszenarien eine Literatur- und Umfeldstudie durchgeführt. Sie umfasst die Analyse und Bewertung nationaler Kältebedarfsszenarien für Österreich und jene vergleichbarer Länder. Die Aufführung nationaler und transnationaler rechtlicher Rahmenbedingungen zu Raumkühlung sind ebenfalls Teil der Analyse.

Bei der Analyse internationaler Szenarien wird ein zweiteiliger Ansatz gewählt. Zum einen werden Länder untersucht, die klimatische Ähnlichkeiten mit Österreich aufweisen. Diese werden durch Anwendung der Köppen-Geiger Klimaklassifikation (vgl. Beck et al., 2018) festgestellt. Zum anderen werden Länder mit kulturellen Ähnlichkeiten mit Österreich untersucht. Als Ausgangslage dienen hierzu international anerkannte Kulturindizes.

Im ersten Schritt wird eine Recherche über die Grundlagen zu nationalen und vergleichbaren internationalen Kältebedarfsszenarien und Kühlgradtagen durchgeführt. Als Methode für die Recherche wird eine Kombination aus systematischer Recherche und einer Schneeballsystem Recherche angewandt. Bei den nationalen Kältebedarfsszenarien wird der Fokus auf die Schlüsselbegriffe Kältebedarf und Kühlgradtage gelegt. Dazu wird ein zeitlicher Prognoserahmen bis zum Jahr 2050 priorisiert.

Im zweiten Schritt werden nationale und transnationale rechtliche Rahmenbedingungen zu Anforderungen an Raumkühlung recherchiert.

### 4.3. Kältematrix

Das Ziel der Kältematrix ist es Aussagen zum Kältebedarf und zur Kälteleistung anhand möglichst weniger wechselnder Randbedingungen zu erhalten, dennoch aber die wichtigsten Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Die Kältematrix wurde auf Basis der Randbedingungen sowie der Erkenntnisse aus dem Bericht „E2.1 Bericht Bildungsfaktoren des Kältebedarfs“ generiert. Dabei wurden gewisse Annahmen fixiert und andere wiederum frei auswählbar gestaltet. Näheres zu den Randbedingungen ist dem genannten Bericht zu entnehmen.

Aufgrund dieser Vorgangsweise ist es möglich generalisierte Aussagen zum Gebäudebestand zu treffen, jedoch ist es nur bedingt möglich konkrete Rückschlüsse auf ein individuelles Gebäude zu ziehen. Jedenfalls stellen die im gegenständlichen Projekt ausgegebenen Angaben zum Kältebedarf sowie der Kälteleistung eine grobe Abschätzung und Orientierung hinsichtlich Größenordnung und Einflüssen dar, ersetzen jedoch für etwaige bauliche Maßnahmen keinesfalls eine fachkundige Planung.

Aus der erarbeiteten Kältematrix geht eine Auswahl von 28 Kurven zur Bestimmung des Kältebedarfs und der Kälteleistung hervor. Die verschiedenen gewählten wechselnden Randbedingungen werden in den Diagrammen farblich und linienstilistisch unterschieden. Dabei stehen die unterschiedlichen Farben für die verschiedenen Gesamtenergiedurchlassgrade der Fassade und die unterschiedlichen Linienstile für die unterschiedlichen U-Werte der Außenwand. Die Zugehörigkeit der Farben und Linienstile kann folgender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 1: Übersicht Darstellungsarten Randbedingungen

	$g_{total, Fassade}$ 5 %
	$g_{total, Fassade}$ 10 %
	$g_{total, Fassade}$ 15 %
	U-Wert 1,50 W/(m <sup>2</sup> .K)
	U-Wert 1,00 W/(m <sup>2</sup> .K)
	U-Wert 0,35 W/(m <sup>2</sup> .K)
	U-Wert 0,20 W/(m <sup>2</sup> .K)

Darüber hinaus wird bei den Kurven unterschieden zwischen der Nutzung und dem Komfortmodell. Folgend werden alle Szenarien, die mittels der Kurven ausgedrückt werden, zusammengefasst.

Tabelle 2: Inhaltsunterschiede der Szenarien zwischen den Nutzungen Wohnen und Büro

	Wohnen	Büro
Komfortniveau	Generelles und adaptives Komfortniveau	Generelles Komfortniveau
$g_{total, Fassade}$	5 % und 10 %	5 %, 10 % und 15 %
U-Wert Außenwand	1,5 W/(m <sup>2</sup> .K), 1,0 W/(m <sup>2</sup> .K), 0,35 W/(m <sup>2</sup> .K), 0,20 W/(m <sup>2</sup> .K)	

## 4.4. Kältebedarfsmodellierung und Kältebedarfskarten

Ein zentrales Anliegen von UKÖ 2030/2050 besteht in der **Quantifizierung des künftigen österreichischen Energiebedarfs für Raumkühlung** in räumlicher, zeitlicher und sachlicher Differenzierung sowie in der **Erstellung von Kältebedarfskarten** für Österreich.

Der im Folgenden zu quantifizierende künftige Kältebedarf Österreichs umfasst den Energiebedarf für die Kühlung von Wohnungen und Büros; er wird auch als **urbaner Kältebedarf** bezeichnet. Dieser beschränkt sich allerdings nicht im engeren Sinne des Wortes auf städtisch geprägte Gemeinden, sondern kann auch – vornehmlich in Abhängigkeit von den innerhalb Österreichs höchst unterschiedlichen klimatischen Rahmenbedingungen – in ländlich strukturierten Regionen identifiziert werden. Demgegenüber werden die Kältebedarfe zur Kühlung weiterer Gebäude (z.B. Hotels) ebenso wie jene von Produktionsprozessen (z.B. die Erzeugung von Lebensmitteln) oder Kältebedarfe, die im Rahmen der Erbringung von Dienstleistungen außerhalb von Büros anfallen (z.B. das Angebot von Kühlprodukten im Handel), nicht erfasst. Im Rahmen von UKÖ 2030/2050 wird unter dem Kältebedarf die aus Wohnungen und Büros thermisch abzuführende jährliche Energiemenge einschließlich der Entfeuchtung von Büroflächen verstanden. Die Kälteleistung beschreibt die maximale aus den Innenräumen von Wohnungen und Büros innerhalb einer Stunde thermisch abzuführende Leistung.

Ausgangspunkt für die Modellierung des künftigen österreichischen Kältebedarfs ist die **Kältematrix** (vgl. E3.1 Bericht Kältematrix), die für 30 verschiedene Gebäudekategorien Funktionen für den jährlichen Kältebedarf je Quadratmeter Bruttogrundfläche und die maximale Kälteleistung je Quadratmeter Nutzfläche ausweist. Diese Funktionen hängen vornehmlich von der Anzahl an Kühlgradtagen ab, dem bestimmenden Parameter zur Beschreibung der klimatologischen Rahmenbedingungen für den Kältebedarf. Die Quantifizierung der absoluten Höhe des jährlichen Kältebedarfs in Österreich sowie der maximalen Kälteleistung erfordert demnach Angaben zum Stand, zur künftigen Entwicklung und zur räumlichen Verteilung sowohl der Kühlgradtage als auch der zu kühlenden Flächen in Wohnungen und Büros in den ausgewiesenen Gebäudekategorien.

Als Grundlage für die Ermittlung der **Kühlgradtage** aller österreichischen Gemeinden werden Daten für das Szenario RCP (representative concentration path) 8.5 herangezogen, die auf den Österreichischen Klimaszenarien 2015 (ÖKS15) (vgl. Chimani et al., 2016) basieren und österreichweit im 1km-Raster vorliegen (Climamap-Daten); dabei kommen gleitende 30-jährige Mittelwerte der Kühlgradtage, die in über 11.300 Siedlungsräumen innerhalb Österreichs ermittelt werden, zur Anwendung. Aus dieser Analyse der *originalen* Climamap-Daten leitet sich die moderate Entwicklung der Kühlgradtage ab. Unter Berücksichtigung der Abweichung zwischen den Climamap-Daten und Beobachtungsdaten in der Klimanormalperiode 1991 bis 2020 wird eine dynamische Entwicklung der Kühlgradtage formuliert.

Die Ausgangslage hinsichtlich der **zu kühlenden Flächen** in Wohnungen und Büros kann basierend auf gemeindespezifischen Daten der Statistik Austria betreffend die Wohnflächen und die Beschäftigten unter Berücksichtigung branchenspezifischer Anteile der Bürobeschäftigten an allen Beschäftigten sowie einem spezifischen Flächenbedarf je bürobeschäftigter Person beschrieben werden. Für die künftige Entwicklung wird die regionale Bevölkerungsprognose 2050 der Österreichischen Raumordnungskonferenz unter Berücksichtigung gemeindespezifischer Daten zur Bevölkerungsentwicklung verfeinert und daraus ein moderater Pfad zur räumlichen Entwicklung

abgeleitet. In Anbetracht der Zunahme des spezifischen Flächenbedarfs pro Person wird ein dynamischer Pfad zur räumlichen Entwicklung formuliert.

Basierend auf den Datensätzen zur räumlich differenzierten Entwicklung der Kühlgradtage sowie der Wohn- und Büroflächen von 2021 bis 2050 wird unter Berücksichtigung der Kältebedarfs- und Kälteleistungsfunktionen aus der Kältematrix ein Modell entwickelt, mit dem für jede österreichische Gemeinde Aussagen zum Kältebedarf für die Zeithorizonte 2030, 2040 und 2050 getroffen werden können. Als Referenz dafür wird das Modell zunächst auf das **Ausgangsjahr 2021** angewendet: Darin fließen der Bestand an Wohn- und Büroflächen im Jahr 2021 sowie die originalen Climamap-Daten nach dem Szenario RCP8.5 für das Jahr 2021 ein, die auch dem moderaten Entwicklungspfad zugrunde liegen. Sämtliche Aussagen zur Entwicklung von Kältebedarf und Kälteleistung referenzieren demnach auf die Ausprägung der originalen Climamap-Daten im Jahr 2021.

Im Anschluss an die Modellierung der Ausgangslage werden für die **drei künftigen Zeithorizonte 2030, 2040 und 2050** jeweils die **vier Szenarien [A], [B], [C] und [D]** modelliert, die auf den Kombinationen von moderater bzw. dynamischer Entwicklung der Kühlgradtage sowie der Wohn- und Büroflächen basieren: Die Szenarien [A] und [B] beruhen auf einer moderaten Entwicklung der Kühlgradtage und unterscheiden sich hinsichtlich der räumlichen Entwicklung ([A] moderat und [B] dynamisch). Die Szenarien [C] und [D] gehen von einer dynamischen Entwicklung der Kühlgradtage aus und bilden wiederum beide Pfade der räumlichen Entwicklung ab ([C] moderat und [D] dynamisch).

Zentrale Ergebnisse der Szenarioanalyse sind die Aussagen zum **Kältebedarf** und zur **Kälteleistung**. Die Ergebnisse der Szenarioanalyse schließen für die Wohnnutzung auch Aussagen zum Unterschied zwischen dem generellen und dem adaptiven **Komfortniveau** ein. Weiters wird der Einfluss der **Kühlsättigung** der Wohnungen untersucht, d.h. welche Wirkung auf den Kältebedarf und die Kälteleistung auftritt, wenn ausgewählte Schwellenwerte für den spezifischen Kältebedarf der Wohnungen unterschritten und die betreffenden Wohnflächen nicht gekühlt werden. Außerdem wird der Einfluss der **Gebäudesanierung** auf den Kältebedarf und die Kälteleistung aufgezeigt und deren Rolle dem Einfluss der beiden anderen Komponenten, die für die Entwicklung des Kältebedarfs und der Kälteleistung maßgeblich sind, nämlich der räumlichen Entwicklung und der Entwicklung der Kühlgradtage, gegenübergestellt.

Die höchste räumliche Auflösung der Modellierung umfasst grundsätzlich eine einzelne **Gemeinde**, die höchste zeitliche Auflösung stellt ein einzelner **Monat** dar, die höchste sachliche Auflösung basiert auf einer einzelnen **Gebäudekategorie**. Für die Darstellung der Ergebnisse erfolgt eine im jeweiligen Kontext zielführende Aggregation der räumlichen, zeitlichen und sachlichen Auflösung. Der Kältebedarf der Wohnungen wird auch auf der Ebene der Katastralgemeinden ermittelt und kartographisch dargestellt.

Das methodische Vorgehen und die Ergebnisse der Modellierung und Szenarioanalyse sind eingehend im **Bericht „Kältebedarfsmodellierung und Kältebedarfskarten“ (E3.2)** dokumentiert.

## 4.5. Technologieanalyse und -bewertung

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, alle am Markt verfügbaren Kühltechnologien anhand ihrer technischen, ökologischen und ökonomischen Eigenschaften zu bewerten. Hierbei sollten möglichst alle etablierten und noch nicht etablierten, aber zukunftsfähig anmutenden Technologien einbezogen werden. Im derzeit noch laufenden Forschungsprojekt *Annex 80: Resilient Cooling of Buildings* im Rahmen des *Energy in Buildings and Communities (EBC)* Programmes der IEA wurden bereits auf internationaler Ebene Vorarbeiten zur Recherche und Bewertung verschiedener Kühltechnologien geleistet. Die in den Technologieprofilen vorgestellten Kühltechnologien werden daher – ähnlich dem Annex 80 – nach ihrem grundsätzlichen Funktionsprinzip drei Kategorien zugeordnet:

1. Vermeidung von Wärmeeinträgen in Innenräume
2. Komfortverbesserungen jenseits von physikalischem Wärmeentzug
3. Physikalischer Wärmeentzug aus Innenräumen

In die erste Kategorie der **Vermeidung von Wärmeeinträgen in Innenräume** fallen vor allem Technologien, deren Nutzung im Betrieb keinen (oder nur einen sehr geringen) Energieaufwand erfordern und daher gemeinhin auch als „passive Kühltechnologien“ bekannt sind:

- Verschattung
- Kühle Hüllmaterialien
- Sonnenschutzverglasung
- Hinterlüftete Fassaden
- Gebäudebegrünung

Darüber hinaus werden Technologien betrachtet, die ohne eine Wärmeabfuhr aus dem Innenraum einen Kühleffekt erzeugen können. Diese werden unter dem Sammelbegriff der **Komfortverbesserungen jenseits des physikalischen Wärmeentzugs** eingeordnet:

- Komfortlüftung und erhöhte Luftbewegung
- Mikrokühlung und individuelle Komfortregelung

Schließlich wird noch jene Kategorie von Technologien behandelt, die einen **physikalischen Wärmeentzug aus Innenräumen** ermöglichen. Da hier häufig ein Energieaufwand zum Betrieb des Kühlsystems notwendig ist, werden viele dieser Systeme auch als „aktive Kühltechnologien“ bezeichnet. Um dem/der Leser:in eine möglichst aufschlussreiche und vollständige Zusammenstellung zu geben, wird in diesem Abschnitt nicht nur auf die Kälteerzeugungs- sondern auch auf die Kälteabgabesysteme eingegangen, sowie auch der Fernkälte als eigenes Kälteerzeugungs- und -übertragungssystem ein Abschnitt gewidmet:

- Lüftungskühlung
- Verdunstungskühlung
- Sky Radiative Cooling
- Kompressionskältemaschinen
- Adsorptionskältemaschinen

- Absorptionskältemaschinen
- Natürliche Wärmesenken
- Kälteabgabesysteme
  - Lüftung
  - Direktverdampfer (Klimaanlage/VRF-Systeme)
  - Kühlkonvektoren/Induktionsgeräte
  - Gebläsekonvektoren (Fan Coil Units)
  - Heizkörper
  - Passive Nutzung thermischer Masse
  - Strahlungskühlung und Bauteilaktivierung
- Fernkälte

Wesentliche Technologien zur Rückkühlung insbesondere von Kältemaschinen werden im Technologieprofil zu den Kompressionskältemaschinen vorgestellt. Weiters werden auch die zu beachtenden Sicherheitsaspekte von Kältemaschinen und Kältemittleigenschaften in einem eigenen Kapitel erläutert.

Ergänzend zu den Kühltechnologien wird auch der Entfeuchtung als weiterer Bestandteil der Raumluftkonditionierung ein Abschnitt gewidmet.

Der Inhalt der Technologieprofile umfasst neben einer Beschreibung des Funktionsprinzips und der verschiedenen Typen oder Ausführungsmöglichkeiten eine Erläuterung der wichtigsten Kennzahlen zur Beschreibung der Funktion, Leistung und ggf. Effizienz der jeweiligen Technologie. Weiters werden verschiedene Aspekte der Anwendung herausgearbeitet, wie etwa die Wirkung im Gebäude, Auswirkungen klimatischer Bedingungen, Nachrüstbarkeit, Verfügbarkeit und Anwendungsgrenzen. Abschließend werden wesentliche Vor- und Nachteile zusammengefasst sowie eine Literaturliste mit interessanten Publikationen, Informationsmaterial oder Links für Interessierte bereitgestellt.

Die Ergebnisse der Technologieanalyse und -bewertung beruhen insbesondere auf Literaturrecherche. Erkenntnisse des international orientierten Annex 80 wurden an die Gegebenheiten in Österreich angepasst aufbereitet. Die Ermittlung bzw. Quantifizierung der Kennzahlen zur Technologiebewertung (insbesondere der verhinderten Wärmeeinträge oder entzogenen Wärmemengen) stellt bei einigen Kühltechnologien eine Schwierigkeit dar, die nicht allein über eine Literaturrecherche bewältigt werden kann. Grund hierfür sind die Bandbreite an Rahmenbedingungen, wie etwa die klimatischen Bedingungen sowie gebäudegeometrische und gebäudemorphologische Eigenschaften, die den Kältebedarf einerseits und die Leistungsfähigkeit verschiedener Kühlmaßnahmen andererseits bedingen. In diesen Fällen sind Aussagen über die Leistungsfähigkeit der betreffenden Kühlmaßnahmen schwer zu treffen, da kein Anspruch auf Allgemeingültigkeit gestellt werden kann. Um dem/der Leser:in dennoch einen Anhaltspunkt über die Leistungsfähigkeit einiger dieser Kühltechnologien geben zu können, wurden – wo möglich – Simulationsrechnungen an einem Beispielgebäude in IDA ICE durchgeführt. Diese Ergebnisse können zumindest als Vergleich verschiedener Kühltechnologien an diesem beispielhaften Gebäude mit definierten Eigenschaften dienen. Folgende Kühltechnologien wurden hierbei betrachtet:

- Verschattung
- Kühle Hüllmaterialien

- Verglasung
- Lüftungskühlung

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen dienen ebenfalls als Grundlage für die ökonomische und ökologische Bewertung von Kompressionskältemaschinen, für die aus dem in IDA ICE berechneten Kältebedarf über die Effizienz (Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER) der Anlage die jährlichen Stromkosten (Kältegestehungskosten) sowie die über die Nutzungsdauer der Anlage ausgestoßenen Treibhausgasemissionen in Form des TEWI (Total Equivalent Warming Impact) ermittelt wurden. Die Annahmen für den Strompreis und den Emissionsfaktor von Strom basieren auf einer umfassenden Recherche dieser beiden Faktoren aus verschiedenen Quellen. Die Stromkosten und Treibhausgasemissionen anderer Kühltechnologien wurden aufgrund des zu erwartenden deutlich geringeren Ausmaßes nicht quantifiziert. Die Ergebnisse der Technologieanalyse und -bewertung sollen dem/der Leser:in also lediglich eine grobe Einschätzung der verschiedenen Bewertungskategorien geben.

Die Inhalte des Arbeitspakets sollen es dem/der Leser:in ermöglichen, einfache informierte Entscheidungen hinsichtlich der Eignung und Anwendbarkeit verschiedener Kühltechnologien zu treffen. Die Technologieprofile sollen dem derzeitigen Stand der Forschung entsprechend eine grobe Einschätzung der Leistungsfähigkeit sowie der Kosten und ökologischen Wirkung und Risiken geben. Sie sind nicht als Instrument zur Planung von Kühlsystemen gedacht; eine Planung durch einen Fachbetrieb ist für den überwiegenden Teil der vorgestellten Technologien unerlässlich.

Die Technologieanalyse und -bewertung unterstützt den Transformationsprozess in Richtung Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit von Städten, indem Maßnahmen zur Gebäudekühlung aufgezeigt werden, die abgesehen von unmittelbaren Komfortverbesserungen auch längerfristig eine Anpassung an den Klimawandel ermöglichen. Dies ergibt sich aus dem zu erwartenden höheren Kältebedarf in der Gebäudekühlung, der möglichst effizient und emissionsarm zu bestreiten ist. Es werden daher insbesondere auch Technologien vorgestellt, die das Entstehen eines Kältebedarfs verhindern sollen (Technologien zur Vermeidung von Wärmeeinträgen in Innenräume sowie Technologien zur Komfortverbesserung jenseits von physikalischem Wärmeentzug) und gleichzeitig ohne oder nur mit einem geringen Einsatz von Energie betrieben werden können. Der gesamte Katalog an Technologien soll ein Instrumentarium an möglichen Lösungen darstellen, mit denen der derzeitige und zukünftige Kältebedarf gedeckt werden kann. Die Bewertung der technischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkte soll eine Orientierung hinsichtlich der Eignung und des Potentials jeder der vorgestellten Technologien geben.

## 4.6. Machbarkeitsstudie an 5 Stadtquartieren

### 4.6.1. Methode

Ziel dieses Arbeitspaketes war es anhand von 5 Beispielquartieren mögliche Umsetzungsvarianten für Kältesysteme mittels Machbarkeitsstudien aufzuzeigen. Sie ersetzen keine tatsächliche Bestandserhebung und Planung für ein tatsächliches Quartier.

Die Leistungsermittlung sowie die Abschätzung des Kältebedarfs für das jeweilige Quartier erfolgt anhand der **Kältematrix** UKÖ 2030-2050 Nutzer:innen (E3.1) jeweils für das Referenzjahr 2030 und das Vergleichsjahr 2050. Dazu dienen Baujahr und Nutzung, sowie die Verschattung (über den Kennwert  $g_{\text{total, Fassade}}$ ) und Sanierungsgrad als Basis. Die spezifischen Werte der Kältematrix multipliziert mit dem jeweiligen Anteil (Verschattung, Sanierungsgrad) ergeben gewichtete spezifische Werte je Nutzung, die wiederum mit dem jeweiligen Flächenanteil im Quartier zur Gesamtkälteleistung bzw. zum Gesamtkältebedarf führen.

Die 5 Stadtquartiere sind so ausgewählt, dass sie eine hohe Multiplizierbarkeit aufgrund der Bauweise in Österreich aufweisen. Je Quartier werden beispielhaft ähnliche Quartiere in anderen Städten aufgezeigt. Sämtliche Informationen sind öffentlich zugänglichen Medien entnommen. Eine Abstimmung mit den Gebäudeeigentümern hat nicht stattgefunden. Daher wurden Annahmen für die bestehende Wärmeversorgung und die Verteilung der Nutzflächen getroffen.

Ausgehend von einer Systemübersicht mit Möglichen Systemen zur Kälteerzeugung, Kälteverteilung und Kälteabgabe in den Raum, werden die Varianten aufgrund der Bauweise und Lage des Quartiers bereits im ersten Schritt ausgeschlossen. Mögliche Varianten – vor allem zur Rückkühlung von Kompressionskältemaschinen – werden je Quartier diskutiert.

Bei den gewählten und ausgearbeiteten Varianten wurde darauf geachtet, möglichst viele unterschiedliche Beispiele aufzuzeigen. So wurde für jedes Quartier eine andere Lösung vorgeschlagen, auch wenn andere Varianten möglich gewesen wären.

Es sind dabei auch Varianten zur Rückkühlung als Lösungsansatz vorgeschlagen, die derzeit noch keine Möglichkeit zur Umsetzung bieten (z.B. Anschluss an ein öffentliches Anergienetz) oder noch wenig verbreitet sind (z.B. Rückkühlung in den Fernwärme-Rücklauf), da für einen breiten Einsatz von Kälteenergie solche Alternativen angeboten werden müssen, um die Rückkühlung an die Außenluft (zusätzliche dezentrale Erwärmung der Außenluft) so gering wie möglich zu halten.

Die Möglichkeit der Fernkälte wurde lediglich in Wien als Option herangezogen, da hier das Fernkältenetz bereits am besten ausgebaut ist. Das Beispielquartier liegt jedoch auch in einiger Entfernung zur nächsten Fernkälteleitung und das ein Ausbau – vor allem zum Anschluss mehrerer Wohnbauten – erfolgen kann, kann nicht vorausgesetzt werden.

Die Ausarbeitung je Quartier ist jeweils einer eigenen Machbarkeitsstudie zu entnehmen. Die Ergebnisse sind in Kapitel 5.6 zusammengefasst.

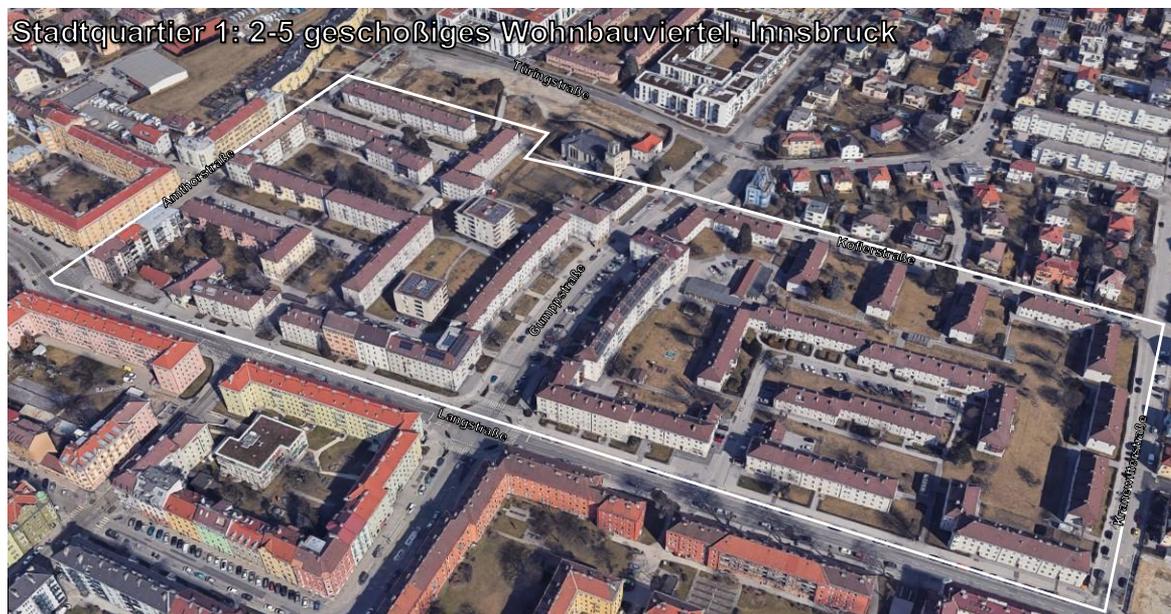
Nachfolgend eine kurze Beschreibung der 5 Beispielquartiere.

#### 4.6.2. Kurzbeschreibung Stadtquartier 1 (offene Block-Bauweise)

- Lage: Innsbruck, Ortsteil Pradl  
(Langstraße/Amtsthorstraße/Türingstraße/Koflerstraße/Kranewetterstraße)
- Google Maps: <https://goo.gl/maps/akrj6GsBjF6qk3BbA>
- Besonderheit: Südtiroler Siedlung
- Bauweise: offene Block-Bauweise
- Baujahr: ca. 1939-1943
- Geschoßanzahl: 2 bis 5
- Untersuchungsgebiet: 8,8 Hektar
- Bebaute Grundfläche: 18.800 m<sup>2</sup>
- Nutzfläche näherungsweise: 40.400 m<sup>2</sup>
- Nutzung: 95 % Wohnbau, 5 % gewerblich genutzt (Annahme)

Abbildung 1 zeigt einen Blick aus der Vogelperspektive auf das 1. Quartier. Es gibt teilweise noch 2-geschoßige Gebäude, die voraussichtlich in den nächsten Jahren neueren Bauten (Stichwort Nachverdichtung) weichen.

Abbildung 1: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 1 (offene Bauweise) (1)



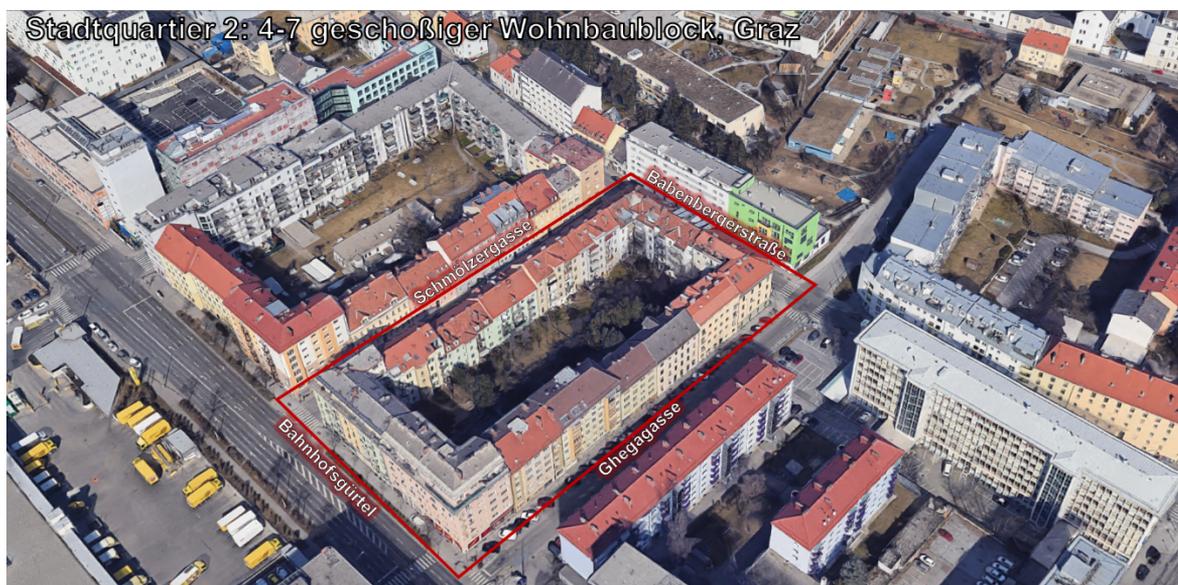
Quelle: Imagery © 2025 Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2025 Google

#### 4.6.3. Kurzbeschreibung Stadtquartier 2 (Blockrand-Bebauung)

- Lage: Graz Gürtel (KG Lend)  
(Schmolzergasse/Babenbergerstraße/Ghegagasse/Bahnhofsgürtel)
- Google Maps: <https://goo.gl/maps/pp4vH3rLpmxJp6Ss9>
- Bauweise: Blockrand-Bebauung
- Baujahr: Gründerzeit + Nachkriegszeit
- Geschoßanzahl: 4 bis 7
- Untersuchungsgebiet: 1,1 Hektar
- Bebaute Grundfläche: 4.200 m<sup>2</sup>
- Nutzfläche näherungsweise: 15.700 m<sup>2</sup>
- Nutzung: 85% Wohnbau, 15% gewerblich genutzt (Annahme)

Abbildung 2 zeigt einen Blick aus der Vogelperspektive auf das 2. Stadtquartier in Bahnhofsnähe. Der große Innenhof ist mit Bäumen versehen.

Abbildung 2: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 2 (Blockrand-Bebauung) (2)



Quelle: Imagery © 2025 Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2025 Google

#### 4.6.4. Kurzbeschreibung Stadtquartier 3 (Bauweise geschlossen, nachverdichtet)

- Lage: Wien Neubau (Burggasse/Kirchengasse/Siebensterngasse/Stuckgasse)
- Google Maps: <https://goo.gl/maps/LEGaqaBJCPTFhm36>
- Bauweise: geschlossen, nachverdichtet
- Baujahr: 18./19. Jhdt.
- Geschoßanzahl: 4 bis 6
- Untersuchungsgebiet: 1,4 Hektar
- Bebaute Grundfläche: 9.200 m<sup>2</sup>
- Nutzfläche näherungsweise: 30.600 m<sup>2</sup>
- Nutzung: 45 % Wohnbau, 30 % Büro, 25 % gewerblich genutzt (Annahme)

Abbildung 3 zeigt einen Blick aus der Vogelperspektive auf das 3. Stadtquartier. Der gesamte Stadtteil ist sehr dicht verbaut, auch in Innenhöfen sind zusätzliche Gebäude errichtet. Es gibt keine Grünflächen in unmittelbarer Nähe.

Abbildung 3: Vogelperspektive auf Stadtquartier 3 (Bauweise geschlossen, nachverdichtet) (3)



Quelle: Imagery © 2025 Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2025 Google

#### 4.6.5. Kurzbeschreibung Stadtquartier 4 (offene Bauweise, Neubau)

- Lage: Linz Pichling  
(Traundorfer Straße / Fusseneggerstraße)
- Besonderheit: Stadtentwicklungsgebiet
- Google Maps: <https://goo.gl/maps/KEsEpqmFcmhjmT5z6>
- Bauweise: offen
- Baujahr: 2022
- Geschoßanzahl: 3-4
- Untersuchungsgebiet: 2,2 Hektar
- Bebaute Grundfläche: 4.300 m<sup>2</sup>
- Nutzfläche näherungsweise: 10.600 m<sup>2</sup>
- Nutzung: 100 % Wohnbau (Annahme)

Abbildung 4 zeigt einen Blick aus der Vogelperspektive auf das 4. Stadtquartier. Die offene Bauweise bietet Platz für Grünflächen zwischen den 3- bis 4-geschoßigen Objekten. Das Quartier liegt in einem Stadtentwicklungsgebiet und grenzt sowohl an mehrgeschoßige Wohnbauten im Norden als auch an Einfamilienhäuser im Süden. Felder und Grünflächen sind in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

Abbildung 4: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 3 (offene Bauweise, Neubau) (4)

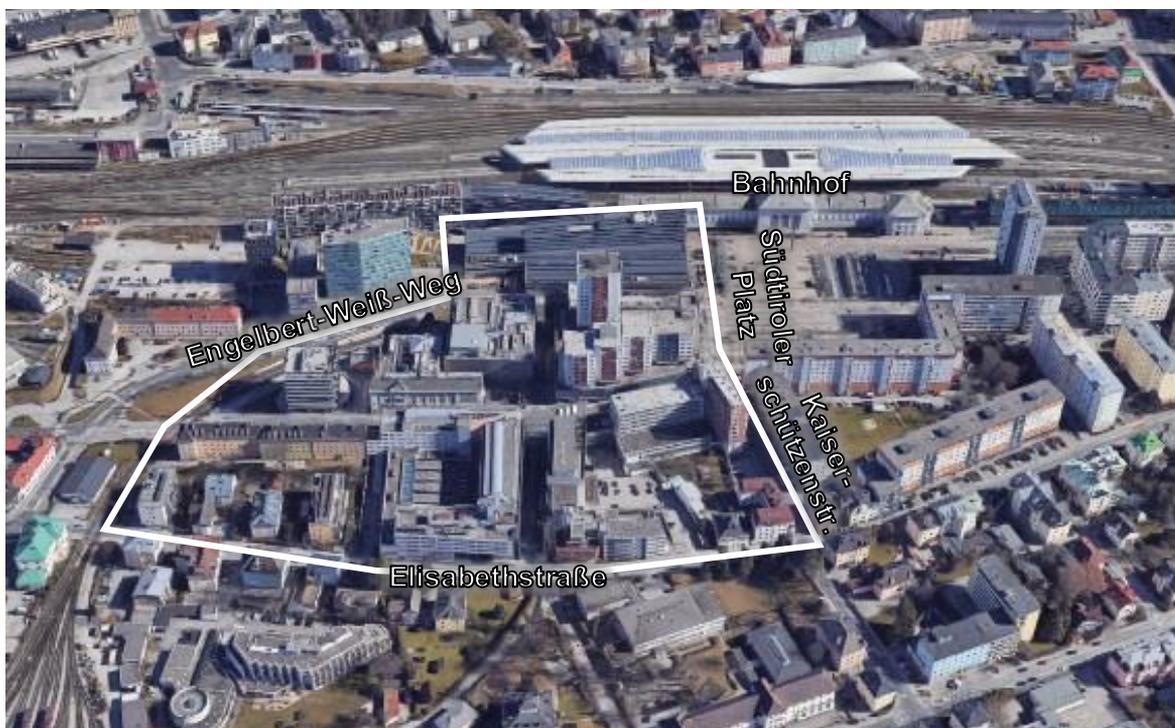


#### 4.6.6. Kurzbeschreibung Stadtquartier 5 (gemischte Bauweise, Bahnhofsviertel)

- Lage: Salzburg, Umgebung Hauptbahnhof  
(Elisabethstraße/Kaiserschützenstraße/Südtiroler Platz/Engelbert-Weiß-Weg)
- Bauweise: gemischt
- Baujahr: 20.+21. Jhd.
- Geschoßanzahl: 2 bis 14
- Untersuchungsgebiet: 6 Hektar
- Bebaute Grundfläche: 28.100 m<sup>2</sup>
- Nutzfläche näherungsweise: 94.400 m<sup>2</sup>
- Nutzung: 28% Hotel, 17% Wohnbau, 19% Büro, 12% gewerblich genutzt (Annahme)

Abbildung 5 zeigt einen Blick aus der Vogelperspektive auf das gewählte 5. Stadtquartier, das einen Teil des Bahnhofsviertels ausmacht. Es zeichnet sich durch unterschiedliche Nutzung und verschiedenen Gebäudehöhen aus.

Abbildung 5: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 5 (gemischte Bauweise, Bahnhofsviertel) (5)



# 5 Ergebnisse

## 5.1. Bildungsfaktoren des Kältebedarfs

### Sozio-kulturelle Komfortanspruchsniveaus

Die untersuchten Komfortanspruchsniveaus, genereller und adaptiver Komfortniveaus, werden als geeignet befunden den Kältebedarf von Österreich bestmöglich abzubilden.

Aufgrund der technischen Möglichkeit einer „stillen Kühlung“ (Verwendung einer Deckenkühlung mit geringer Temperaturdifferenz) in Wohngebäuden wird der Auslegungsrahmen des adaptiven Komfortmodells aus ÖNORM EN 16798-1:2019 auf Gebäude mit aktiver Kühlung ausgeweitet.

Da davon auszugehen ist, dass in Wohngebäuden nicht nur Kühlsysteme eingesetzt werden, die das adaptive Komfortmodell berücksichtigen, sowie der zur persönlichen Komfortsteigerung (durch Kleidungsanpassung oder Ähnliches) bestehen, wird das generelle Komfortmodell nach ÖNORM EN 16798 1:2019 als zweites Komfortmodell berücksichtigt.

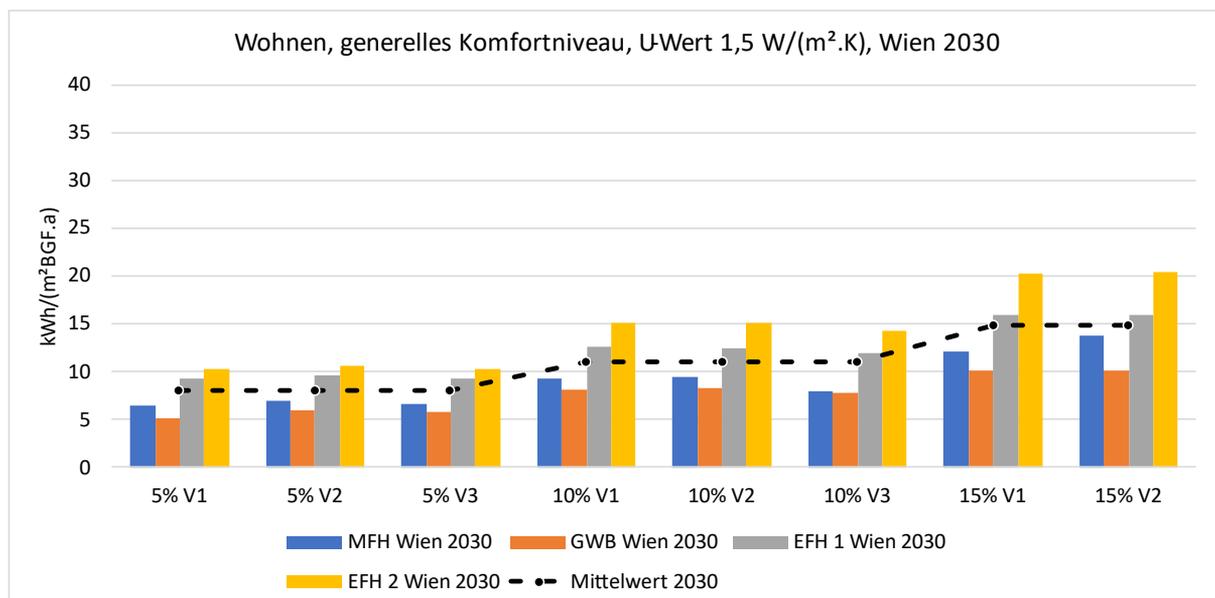
### Nutzungsbedingungen

Bei der Büronutzung bestimmten vor allem die inneren Lasten den Kältebedarf und -leistung. Daher wurde bei den inneren Lasten eine realistische Belegungsdichte von 15 m<sup>2</sup> pro Person gewählt.

### Bauphysikalische und geometrische Eigenschaften

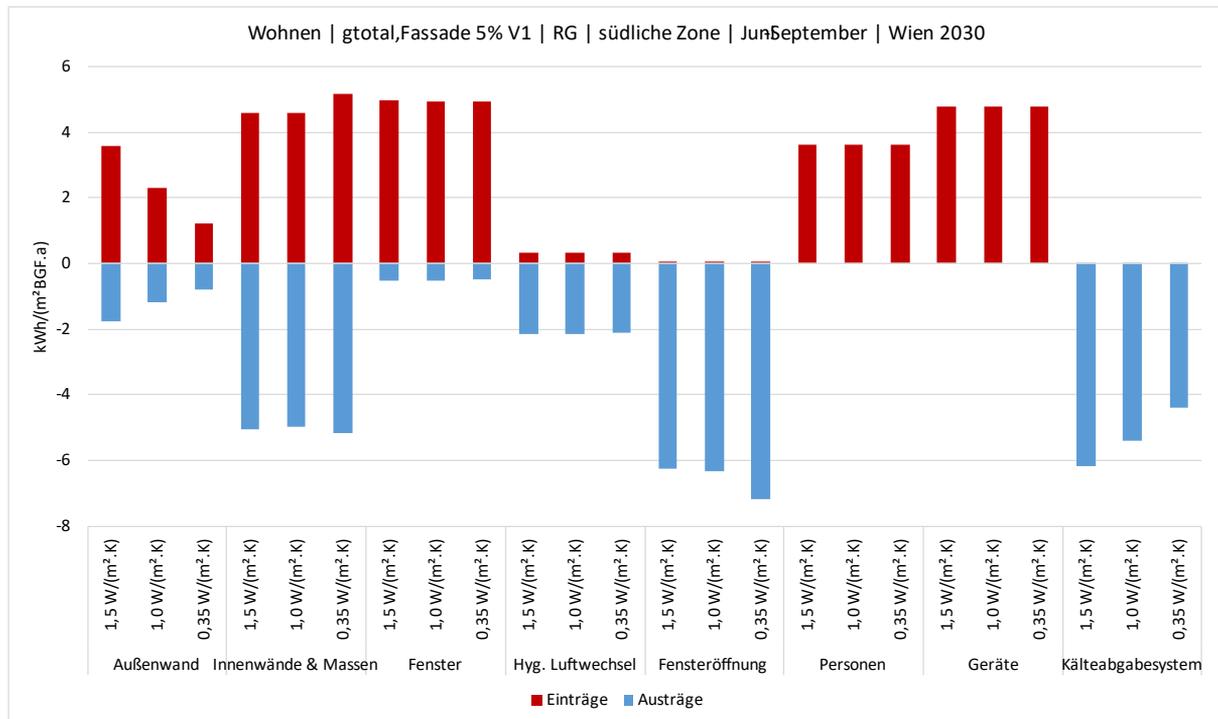
Die Analyse des Einflusses der **Geometrie** auf den Kältebedarf ergibt, dass die Bauform des EFH einen signifikant höheren Kältebedarf aufweist als die Gebäude MFH und GWB (vgl. Abbildung 6). Um den österreichischen Gebäudebestand in urbanen Gebieten bestmöglich abzubilden, wird für die folgenden Simulationen festgelegt, die Geometrie MFH gekuppelt anzuwenden.

Abbildung 6: Vergleich des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf am Standort Wien 2030



Die Ergebnisse zum Einfluss der **U-Werte** auf die einzelnen Wärmeströme in und aus einem Gebäude zeigen, dass sie bei der Berechnung des Kältebedarfs nicht vernachlässigt werden dürfen (vgl. Abbildung 7). Der Einfluss des Wärmeschutzniveau ist ebenfalls vom angewendeten Komfortmodell abhängig. Bei der Berücksichtigung des generellen Komfortmodells führt ein geringerer U-Wert stets zu einer Reduktion des Kältebedarfs. Bei der Anwendung des adaptiven Komfortmodells kann es vereinzelt dazu führen, dass ein höherer Kältebedarf resultiert.

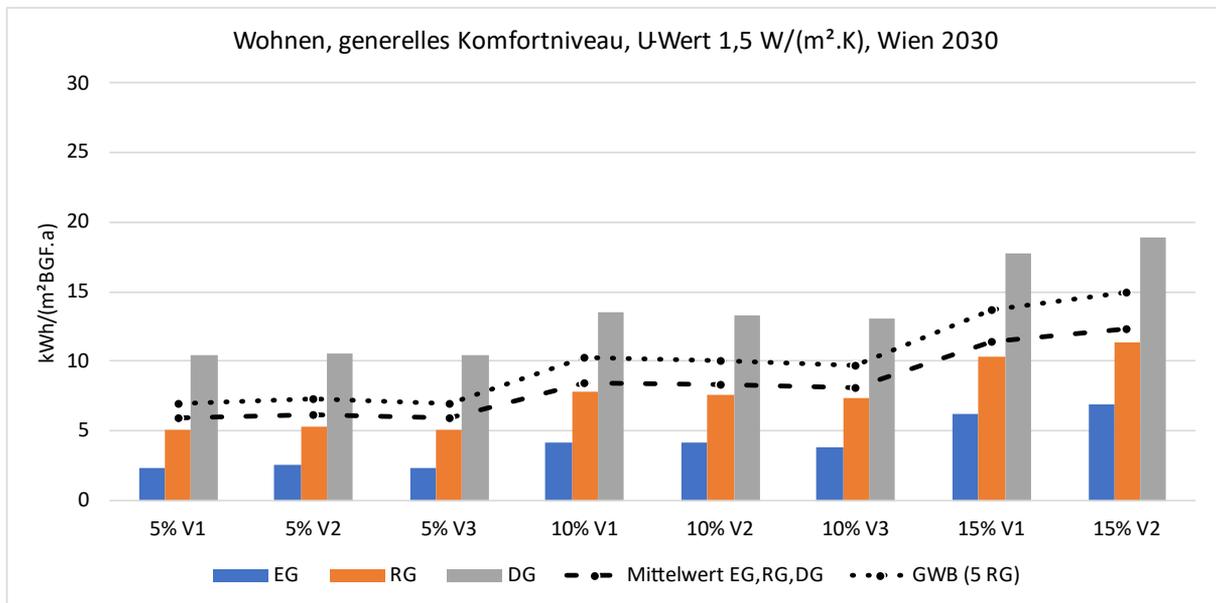
Abbildung 7: Wärmeströme in und aus dem Gebäude der südlichen Zone untergliedert in Zugehörigkeit bei unterschiedlichen U-Werten der Außenwand bei der Variante  $g_{\text{total,Fassade}} 5\%$  V1, während dem Zeitraum Juni bis September am Standort Wien 2030 RCP4.5



Die Ergebnisse der Analyse des Einflusses der **Zonenposition** und des Wärmeschutzniveaus zeigen, dass die Abbildung des Regelgeschoßes ausreichend ist, um den Kältebedarf des Erdgeschoßes und Dachgeschoßes zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 8). Weist das Gebäude mehr als ein Regelgeschoß auf, verringert sich die Gewichtung der Unterschiede zwischen Ober- und Erdgeschoß zusätzlich.

Für zukünftige Analysen wird daher festgelegt, dass eine Berücksichtigung des Regelgeschoßes der Geometrie MFH gekuppelt ausreichend ist, um den Kältebedarf des Gebäudes zu bestimmen. Dadurch werden definierte U-Werte von Dach und Bodenplatte für die zukünftigen Analysen obsolet.

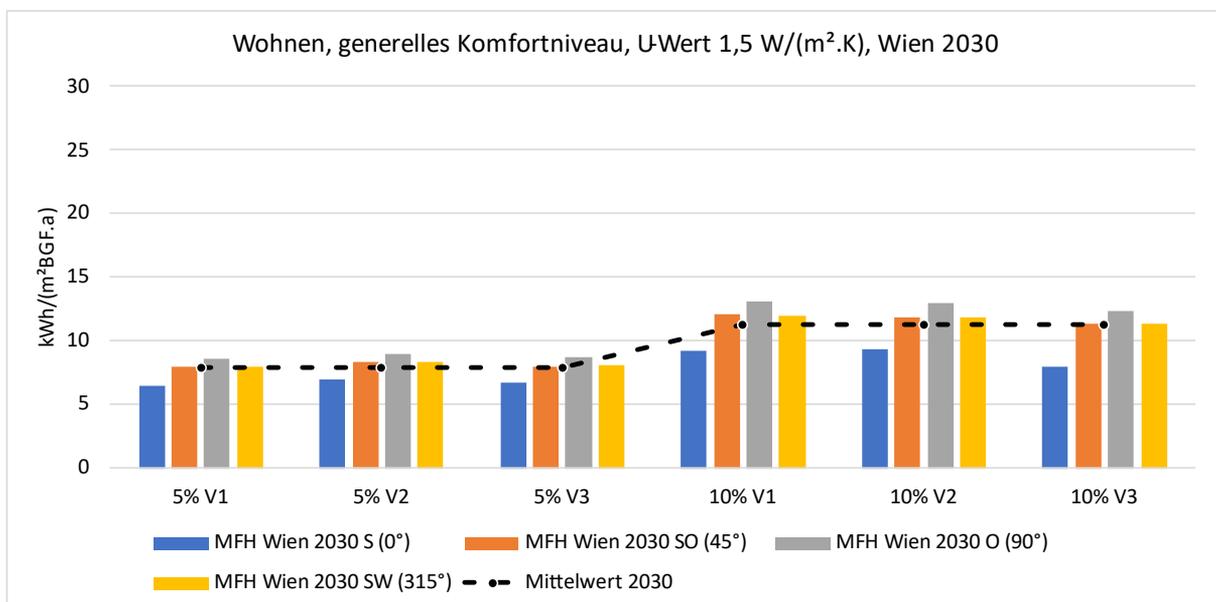
Abbildung 8: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, U-Wert der Außenwand von 1,5 W/(m<sup>2</sup>.K) am Standort Wien 2030



### Gebäude- und Siedlungsstruktur

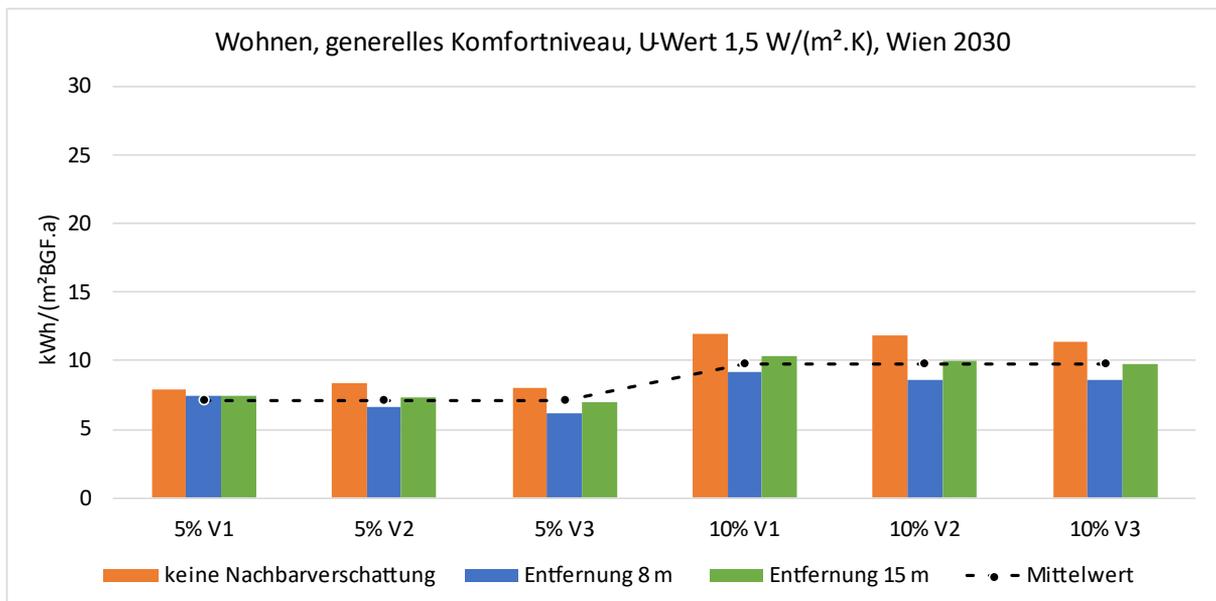
Die Ergebnisse der Analyse der **Ausrichtung** auf den Kältebedarf zeigen, dass die Ausrichtungen Süd-Westen bzw. Süd-Osten zu ähnlichen Ergebnissen führen und diese beiden Ausrichtungen den erhöhten Kältebedarf der östlichen und den reduzierten Kältebedarf der südlichen Ausrichtung abbilden. Für zukünftige Analysen wird daher festgelegt, dass eine Berücksichtigung der Ausrichtung nach Süd-Westen ausreichend ist, um den Kältebedarf des Gebäudes zu bestimmen (Abbildung 9).

Abbildung 9: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5



Die Ergebnisse der Analyse der **Verschattung durch Nachbargebäude** zeigen, dass Nachbargebäude einen signifikanten Einfluss auf den Kältebedarf eines Gebäudes haben. Der Einfluss ist umso größer, je näher das Nachbargebäude situiert ist (vgl. Abbildung 10). Im Zuge der Analyse des Straßenraumes hat sich der Abstand zu Nachbargebäuden von 15 m als am häufigsten herausgestellt.

Abbildung 10: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Abständen der Nachbargebäude, Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5

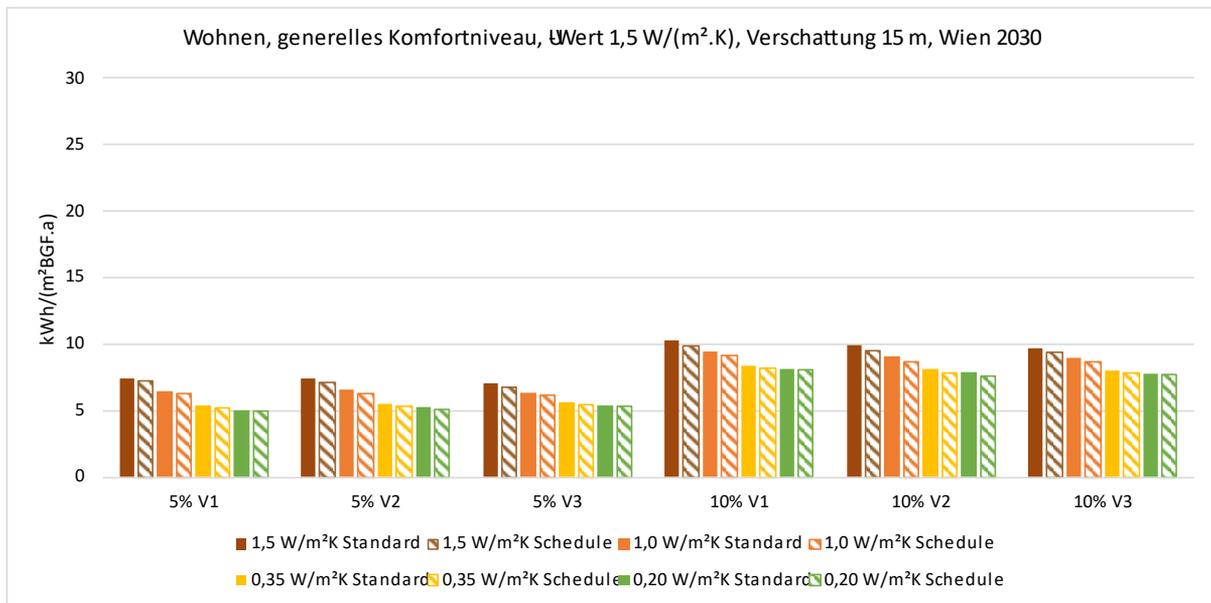


### Betriebsweise des Kälteabgabesystems

Die Ergebnisse der Analyse des Einflusses der Betriebsweise des Kälteabgabesystems zeigen, dass durch die Veränderung der Betriebsweise lediglich ein um maximal 5 % geringerer Kältebedarf entsteht als bei der standardmäßigen Betriebsführung (vgl. Abbildung 11). Zusätzlich führt solch eine Betriebsweise zu signifikanten Einschaltspitzen, die vor allem im Kontext des urbanen Kältebedarfs nicht unterschätzt werden sollten.

Für zukünftige Analysen wird daher festgelegt, dass ausschließlich eine durchgängige Betriebsweise des Kälteabgabesystems berücksichtigt wird.

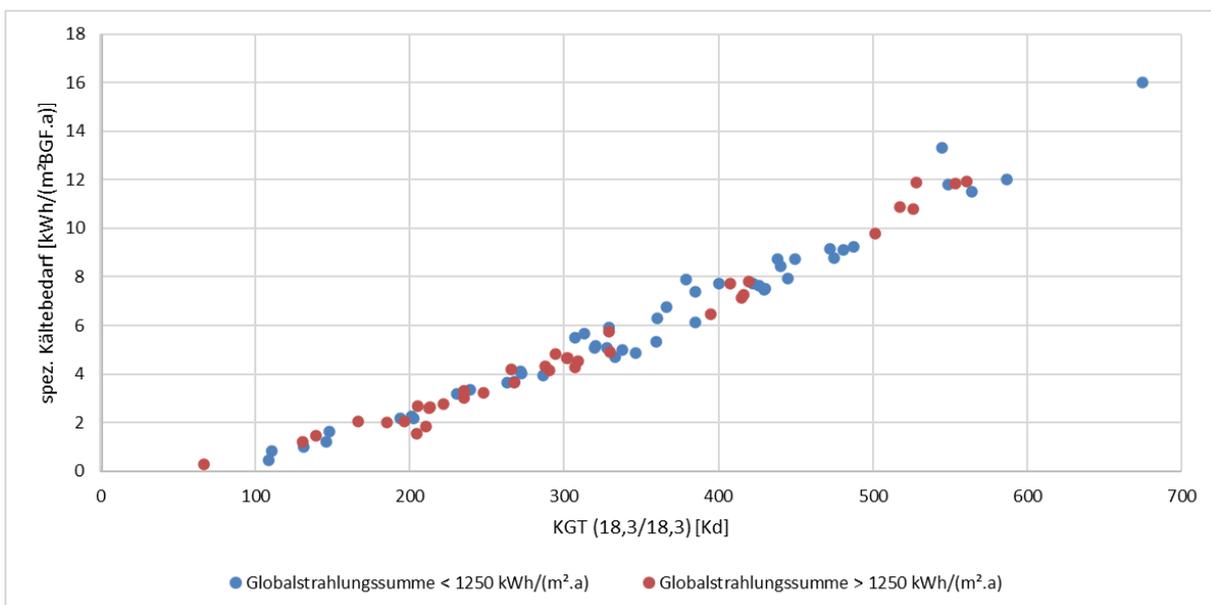
Abbildung 11: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlicher Betriebsweise und U-Werten der Außenwand, generelles Komfortmodell am Standort Wien 2030 RCP 4.5



## Außenklima

Die Ergebnisse der Analyse des Einflusses der Globalstrahlungssumme und der Kühlgradtage auf einen Standort ergeben, dass die Globalstrahlungssumme nicht der entscheidende Faktor für die Bestimmung des Kältebedarfs ist, sondern die Kühlgradtage (vgl. Abbildung 12).

Abbildung 12: Spez. Kältebedarf bei verschiedenen Klimadatensätzen unterteilt in unterschiedliche Globalstrahlungssummen



Für zukünftige Simulationen wird, aufbauend auf diesen Ergebnissen, auf eine Unterscheidung bzw. auf die Ausweisung der Globalstrahlungssumme der Klimadatensätze verzichtet.

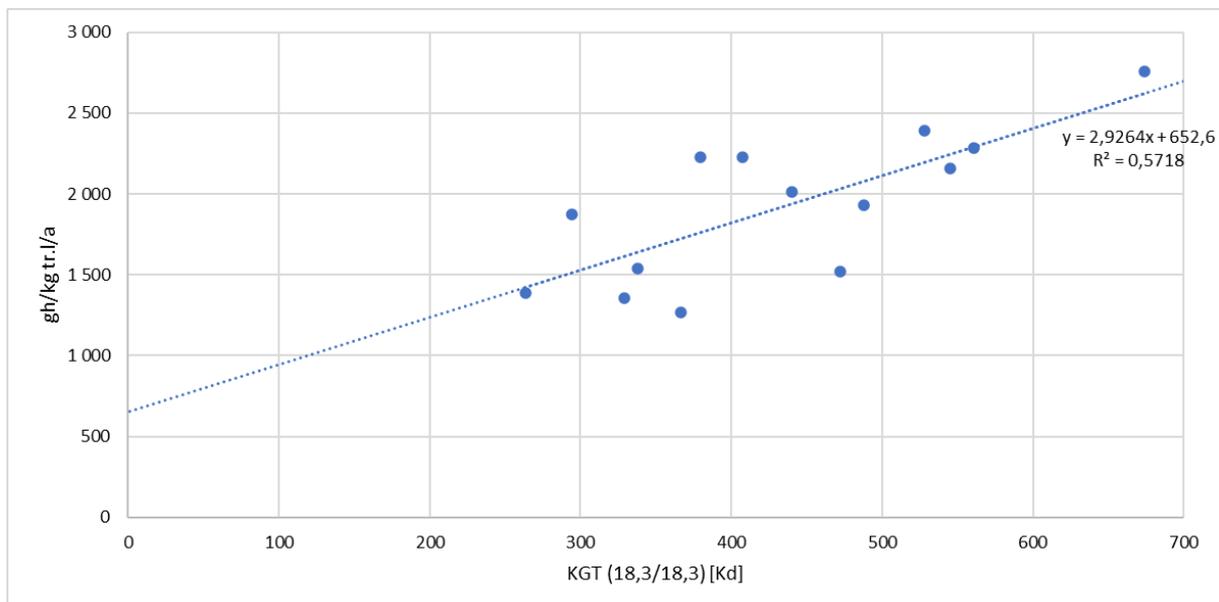
## Entfeuchtungsenergiebedarf

Der erforderliche **Energiebedarf zur Entfeuchtung** der Raumluft für ein Gramm Wasser (absolute Feuchte) korrespondiert mit der Enthalpiedifferenz von zwei Zuständen. Eindeutig bestimmt sind die Enthalpien beider Zustände durch einen Luftdruck von 1013,25 hPa (Satttdampfdruck 31,6 hPa) und einer Lufttemperatur von 25 °C (vgl. Arbeitsstättenverordnung Büronutzung). Die Zustände unterscheiden sich anhand ihrer absoluten Feuchtigkeit von 1 g/kg. Als Bezugswert für die absolute Feuchtigkeit werden 12 g/kg angenommen.

Darauf aufbauend wurde ein geeigneter **Parameter** zur Abbildung der korrespondierenden Entfeuchtungsgrammstunde ermittelt. Durch statistische Methoden wurde mit Kühlgradtagen als Parameter ein Bestimmtheitsmaß von 57 % festgestellt. Dieses Bestimmtheitsmaß ist gering, jedoch weicht es lediglich um 4 % von dem Bestimmtheitsmaß mit der Jahresmitteltemperatur als Parameter ab.

Mit der **Festlegung der Kühlgradtage** als Parameter zur Quantifizierung der Entfeuchtungsgrammstunden kann der Energiebedarf zur Entfeuchtung eines Standortes definiert werden (vgl. *Urbaner Kältebedarf Österreich 2030/2050 – E2.1 Bildungsfaktoren des Kältebedarfs*). Abbildung 13 zeigt den ermittelten spezifischen Energiebedarf zur Entfeuchtung in Abhängigkeit der Kühlgradtage.

Abbildung 13: Spezifischer Energiebedarf der Entfeuchtung in Abhängigkeit der Kühlgradtage



## 5.2. Analyse und Bewertung bestehender Kältebedarfsszenarien

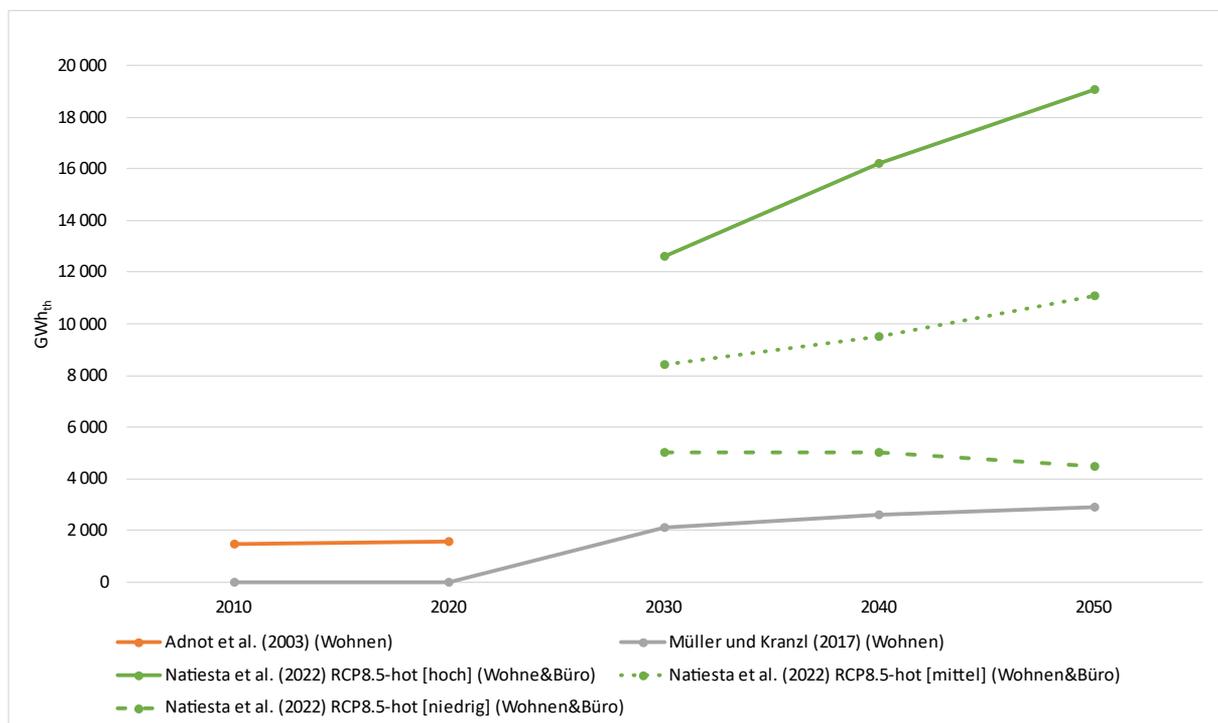
### Nationale Kältebedarfsszenarien

Die Literaturrecherche zu nationalen Kältebedarfsszenarien brachte hervor, dass zum notwendigen Endenergiebedarf zur Raumkühlung für Österreich derzeit eingeschränkte Daten und Untersuchungen vorliegen.

In den untersuchten Studien wurde eine Übereinstimmung der Prognosedaten und realen Verbrauchsdaten nicht erreicht. Nach der Studie Person und Werner (2015) wurde im Jahr 2015 in Österreich ein Kältebedarf für Wohngebäude von 32 GWh/a festgestellt, während dieser nach Adnot et al. (2003) für das Jahr 2005 bereits mit 503 GWh/a prognostiziert wurde.

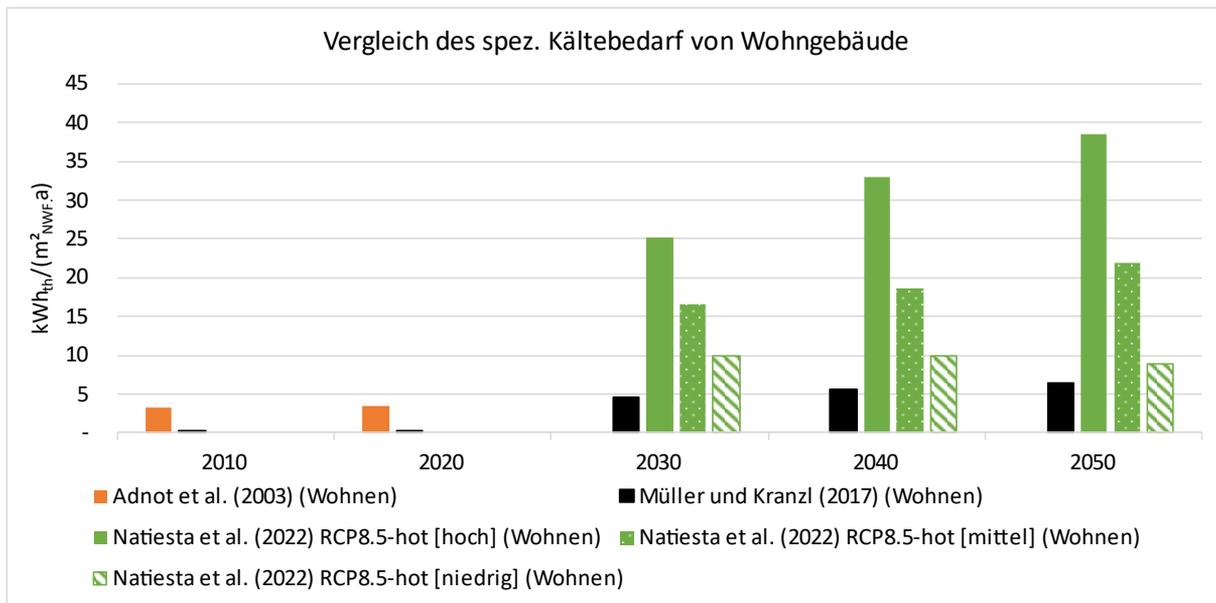
Signifikant sind ebenso die Abweichungen des prognostizierten Kältebedarfs der untersuchten Studien untereinander (vgl. Abbildung 14). Die Abweichung des Kältebedarfs könnte auf die zu berücksichtigende zu kühlende Fläche zurückgehen. In den Studien wird jedoch nicht darauf eingegangen. Die Prognosen nach Müller et al. (2017) sind mit den Erkenntnissen aus Persson und Werner (2015) vertretbar.

Abbildung 14: Vergleich des Kältebedarfs der untersuchten Studien für Wohnen und Büro



Werden die Prognosewerte aus den Studien mit einer einheitlichen Nettowohnfläche (WNF) für Österreich von 455 Mio. m<sup>2</sup> dividiert, ergeben sich untereinander vergleichbare spezifische Kältebedarfe nach Abbildung 15. In Relation zu derzeitigen Planungskennwerten für Kälteanlagen im Raum Wien von 8 bis 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) decken die spezifischen Kältebedarfe nach Natiesta et al. (2022) eine breite Bandbreite von 10 bis 25 kWh/(m<sup>2</sup>.a) ab.

Abbildung 15: Prognostizierte spezifische Kältebedarfswerte von Wohngebäuden der untersuchten Studien



Eine Gegenüberstellung der Prognosen zu den Kühlgradtagen zeigt dessen eindeutigen Anstieg. Dabei sei jedoch auf die unterschiedlichen Grenztemperaturen von 18,3 °C oder 21 °C für die Ermittlung der Kühlgradtage hingewiesen. Gemäß Klimaszenarien für Österreich (ÖKS15) ist bis zum Jahr 2050 von marginalen Unterschieden zwischen den Klimaszenarien auszugehen (vgl. Chimani et al., 2016). Die Auswirkungen der Treibhausgaszenarien nehmen jedoch bis Ende des Jahrhunderts stark zu. Aufgrund der Trägheit des Klimas müssen Weichen der Klimawandelanpassung bereits jetzt getroffen werden.

### Internationale Kältebedarfsszenarien

Die Auswertung der **kulturellen Ähnlichkeit** zu Österreich zeigt, dass die Länder Deutschland und Belgien nach den untersuchten Kriterien (Index kultureller Ähnlichkeit, Kaufkraft und Baustil) als kulturell ähnlich zu Österreich gelten.

**Klimatische Ähnlichkeit** nach der Köppen-Geiger Klimaklassifikation ist Österreich aufgrund seiner Landschaft, insbesondere der Alpenregion, in mehrere klimatische Klassen unterteilt. Dazu zählen Dfb (Kalt, ohne Trockenperiode, warme Sommer) in niedrigeren Lagen und Dfc (kalt, ohne Trockenperiode, kalte Sommer) in den höheren Lagen. Aufgrund des Klimawandels werden die alpinen Regionen zukünftig als Dfb (Kalt, ohne Trockenperiode, warme Sommer) und die flacheren Gebiete als Cfa (gemäßigt, ohne Trockenperiode, heiße Sommer) klassifiziert. Länder mit ähnlicher Klassifikation sind u.a. Polen, Tschechien, Litauen, Südost-Deutschland für die Voralpenregionen und Finnland, Schweden für die alpinen Regionen.

In Kontext mit anderen europäischen Ländern besteht eine klimatische Ähnlichkeit nach Kühlgradtagen mit der Schweiz, Deutschland, Tschechien und Belgien. Mit Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung der Kühlgradtage bleibt die klimatische Ähnlichkeit mit den zuvor genannten Ländern bestehen. Vor allem die Schweiz weist, aufgrund der ähnlichen geografischen Topologie durch die Alpen, eine hohe Ähnlichkeit mit Österreich auf.

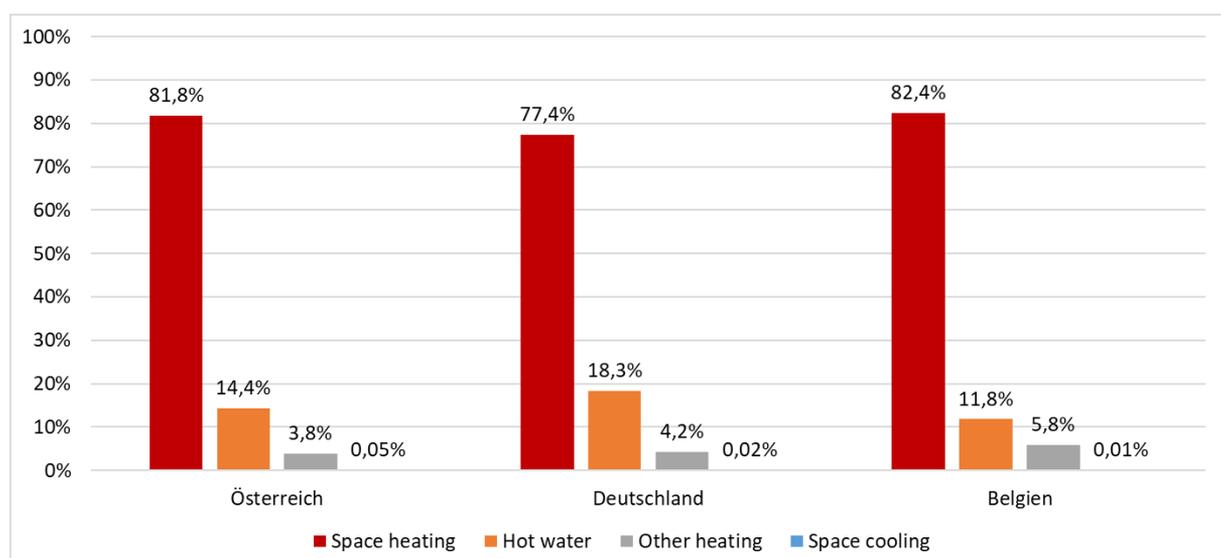
Auf Basis der kulturellen und klimatischen Ähnlichkeit werden die Kältebedarfsszenarien für die Länder Deutschland und Belgien zur Herstellung des internationalen Vergleichs analysiert.

**Deutschland** ist ebenso wie Österreich im EU-Projekt Heat Roadmap Europe vertreten. Nach dieser Studie wurde für das Jahr 2015 ein Kältebedarf für Raumkühlung von 0,12 TWh beansprucht. In einer weiteren Studie „Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung“ wurde durch eine Metaanalyse von Untersuchungen zum Kältebedarf von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden der beanspruchte Endenergiebedarf im Jahr 2005 ermittelt. Die Ergebnisse zeigen einen großen Unterschied des Endenergiebedarfs für Gebäudeklimatisierung für Wohn- und Nicht-Wohngebäude. Die Studie stellte ebenfalls eine Prognose des Kältebedarfs bis zum Jahr 2030, unterteilt in zwei Szenarien, auf. Dabei entspricht das Szenario Baseline der Fortführung des Status quo und das Szenario BFROZEN die Miteinbeziehung von Bevölkerungs- und Flächenentwicklung. Für das Prognosejahr 2030 zeigt das Baseline Szenario einen minimalen Anstieg des Endenergiebedarfs zur Gebäudeklimatisierung, während das Szenario BFROZEN von einer Vervierfachung (zum Referenzjahr 2010) auf circa 12 TWh ausgeht. (vgl. Persson und Werner, 2015)

**Belgien** ist wie Österreich und Deutschland im EU-Projekt Heat Roadmap Europe vertreten. Nach dieser Studie wurde für das Jahr 2015 ein Kältebedarf für Raumkühlung von 0,01 TWh beansprucht (vgl. Persson und Werner, 2015). In einer anderen Studie von Vingerhoets et al. (2021) von der flämischen Energie- und Klimaagentur (VEKA) wird auf eine Statistik der Eurostat verwiesen, die einen Endenergiebedarf für Gebäudekühlung von Haushalten von 61 GWh/a im Jahr 2018 ausweist. Die Studie geht weiters von dem Erhalt des Kältebedarfs für Gebäudekühlung von Haushalten bis zum Jahr 2050 aus.

Eine Gegenüberstellung der österreichischen, deutschen und belgischen Endenergien aus „Heat Roadmap Europe“ zeigt, dass der Kältebedarf 2015 für alle Nationen in einer ähnlich geringen Größenordnung vertreten ist (vgl. Abbildung 16).

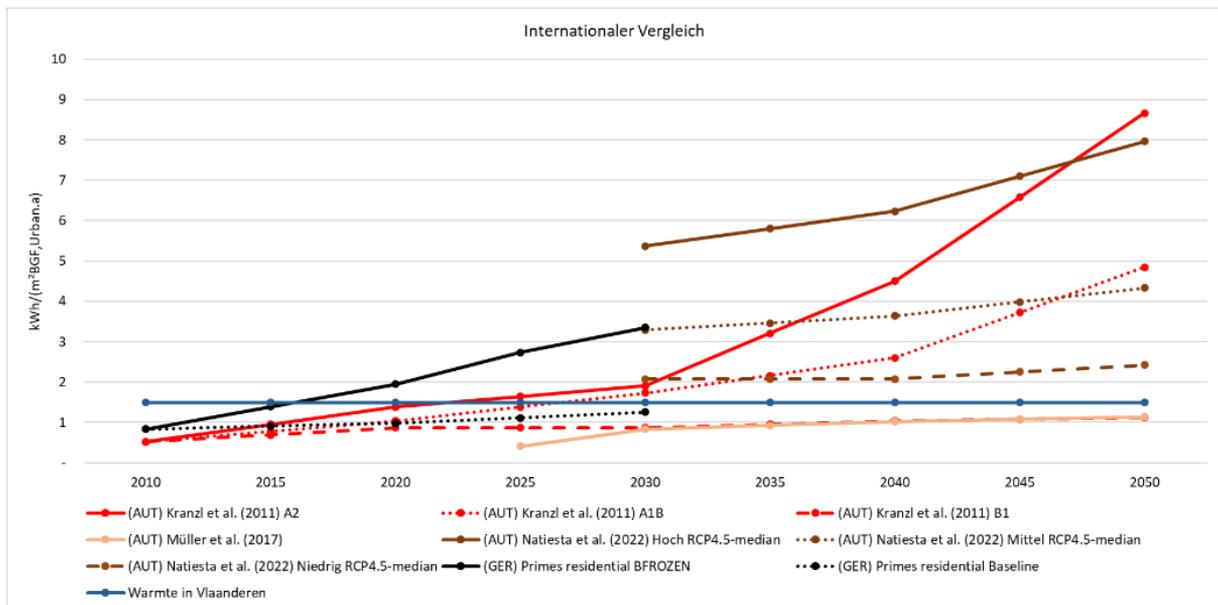
Abbildung 16: Gegenüberstellung der Endenergien von Österreich, Deutschland und Belgien (erstellt mit Daten aus Heat Roadmap Europe)



Im Vergleich der nationalen und internationalen Kältebedarfsszenarien (Abbildung 17) ist eine hohe Übereinstimmung des prognostizierten Kältebedarfs bis zum Jahr 2030 festzustellen. Ein spezifischer Kältebedarf pro  $m^2_{BGF}$  urbaner Fläche ist jedoch mit  $2 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$  gering. In nahezu allen Studien

wird ein signifikanter Anstieg des Kältebedarfs erst nach dem Jahr 2030 erfolgen. Wie zuvor erwähnt ist nach der belgischen Studie von Vingerhoets et al., (2020) der Kältebedarf bis 2050 als konstant anzunehmen.

Abbildung 17: Vergleich des Kältebedarfs für Raumkühlung von Österreich, Deutschland und Belgien gemäß der Untersuchten Studien



### Nationale rechtliche Rahmenbedingungen

Im Rahmen der Analyse national-rechtlichen Rahmenbedingen wurden im Besonderen nationale Verordnungen und Normen untersucht.

Gemäß **den nationalen Landesbauordnungen** der neun Bundesländern ist dem Verwendungszweck entsprechend die Verpflichtung Bauwerke lüftbar und beheizbar einzurichten. Eine gesetzliche Verpflichtung zur Raumkühlung ist nicht enthalten.

Laut **Arbeitsstättenverordnung (AStV) § 28 Abs. 1** ist dafür zu sorgen, dass die Lufttemperatur in Arbeitsräumen

- 1) zwischen 19 und 25 °C bei Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung beträgt.
- 2) zwischen 18 und 24 °C bei Arbeiten mit normaler Körperlicher Belastung beträgt.
- 3) mindestens 12 °C bei Arbeiten mit ausschließlich hoher körperlicher Belastung beträgt.

Abweichend von Abs. 1 ist bei Vorhandensein einer Klima- oder Lüftungsanlage eine Lufttemperatur von 25 °C möglichst nicht zu überschreiten. Kann dies nicht erreicht werden müssen andernfalls sonstige Maßnahmen ausgeschöpft werden, um nach Möglichkeit eine Temperaturabsenkung zu erreichen.

Zusätzlich zu den Vorgaben zur Temperatur werden in der AStV Regelungen für die maximale Luftgeschwindigkeit festgelegt. Bei ortsgebundenen Arbeitsplätzen in Arbeitsräumen sollen folgende Mittelwerte über eine Mittelungsdauer von 200 Sekunden nicht überschritten werden:

- 1) 0,10 m/s bei Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung
- 2) 0,20 m/s bei Arbeiten mit normaler körperlicher Belastung
- 3) 0,35 m/s bei Arbeiten mit hoher körperlicher Belastung.

Beim Betrieb einer Klimaanlage ist laut AStV eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40 und 70 % einzuhalten.

Gemäß **OIB-Richtlinie 6** ist die Berechnung des Energieausweises festgelegt. Darin wird in Kapitel 4.9 der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden definiert. Die Nachweise der sommerlichen Überwärmung unterscheiden sich in Wohn- und Nicht-Wohngebäude. Bei Wohngebäuden gilt der sommerliche Wärmeschutz als eingehalten, wenn für die kritische Nutzungseinheit keinen außeninduzierten Kältebedarf (KB\*) vorhanden ist, oder die operative Temperatur im Raum den standortabhängigen Tagesmittelwert nicht überschreitet. Bei Nicht-Wohngebäuden ist eine sommerliche Überwärmung entweder zu vermeiden oder eine Obergrenze des KB\* von 1,0 kWh/(m<sup>3</sup>.a) für Neubauten oder 2,0 kWh/(m<sup>3</sup>.a) nicht zu überschreiten.

**ÖNORM B 8110** ist ein österreichischer Standard zum Wärmeschutz im Hochbau. Für die Untersuchung nationaler Rahmenbedingungen besonders relevant sind: *Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall*, *Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile* und *Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren*.

**ÖNORM B 8110-3** legt ein Verfahren zur Bestimmung der operativen Temperatur in Räumen für den Sommerfall fest. Der Gültigkeitsbereich dieser Norm sind alle Gebäude oder Räume, in denen es zu dauerhaftem oder vorübergehendem Aufenthalt von Personen kommt.

**ÖNORM B 8110-5** definiert die Rahmenbedingungen des standortabhängigen Außenklimas zur Berechnung des Heizwärme- und des Kältebedarfs gemäß ÖNORM B 8110-6-1. Sie enthält eine Klimatografie Österreichs, worin das Bundesgebiet in sieben unterschiedliche Regionen, entsprechend dem mittleren vertikalen Temperaturgradienten, einteilt. Zusätzlich werden in diesem Teil der Norm je nach Raumnutzung unterschiedliche Solltemperaturen im Kühlfall identifiziert, vgl. ÖNORM B 8110-5 (2019) Tabelle 6 und Tabelle 7. Gemäß gegenständlicher Norm ist keine Solltemperatur für Wohngebäude definiert. Für Nicht-Wohngebäude ist sie mit 26 °C festgelegt.

**ÖNORM B 8110-6-1** ist die Grundlage zur Berechnung des Heizwärme- und Kältebedarfs. Die Ergebnisse dienen zur Erstellung des Energieausweises gemäß OIB-Richtlinie 6.

**ÖNORM H 6040** ist ein österreichischer Standard zur Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast sowie der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden. Sie ist eine nationale Ergänzung zu den europäischen Standards ÖNORM EN 15255 und ÖNORM EN ISO 13791. Zur nationalen Ergänzung von ÖNORM EN 15255 legt die Norm das anzuwendende Rechenverfahren zur Ermittlung der sensiblen und latenten Kühllast von Räumen und Gebäuden sowie der Temperaturgänge von Räumen bei begrenzter Kühlleistung unter instationären Grundbedingungen fest. Als nationale Ergänzung zur ÖNORM EN ISO 13791 legt diese Norm das Rechenverfahren zur Ermittlung der Raumtemperaturgänge (Luft und operativ) ohne Kühlanlage unter instationären Randbedingungen fest.

### 5.3. Kältematrix

Die im Rahmen dieses Projekts erarbeitete Kältematrix umfasst eine Auswahl von 28 Kurven zur Bestimmung des Kältebedarfs und der Kälteleistung in Abhängigkeit von den Kühlgradtagen. Diese ist als Excel Dokument (Kältematrix UKÖ 2030-2050.xls) veröffentlicht. Die Kältematrix dient als Grundlegendokument für die geografische Verortung des Kältebedarfs und der Kälteleistung in Österreich. Die Kältematrix kann zudem verwendet werden, um an einem beispielhaften Gebäude die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen an einem beliebigen Standort zu analysieren. Aufgrund der notwendigen Vereinfachungen und Annahmen sind planerische Rückschlüsse auf einzelne Gebäude jedoch nur eingeschränkt möglich. Das Tool kann allerdings verwendet werden, um die Größenordnung des Kältebedarfs und der Kälteleistung in einem ersten Schritt abzuschätzen.

Die Kältematrix besitzt neben den Hintergrundberechnungen zwei Registerblätter. Im Registerblatt Kältematrix können Eingaben zum Standort getätigt werden sowie der Kältebedarf und Kälteleistung für die unterschiedlichen Gebäudekonfigurationen ausgelesen werden. Im Registerblatt Kurvendiagramme sind die dahinterliegenden Kurven zur Bestimmung des Kältebedarfs und Kälteleistung an einem beliebigen Standort dargestellt.

Bei der Anwendung der Kältematrix werden verschiedene Auswahlmöglichkeiten angeboten. Dazu zählen die Auswahl der Nutzung (Wohnen oder Büro), die Auswahl des Komfortniveaus (generelles Komfortmodell oder adaptives Komfortmodell), die Auswahl der Bauperiode (vor 1945, 1945 – 1990, nach 1990), die Auswahl des Gesamtenergiedurchlassgrades der Fassade sowie die Auswahl zwischen Bestand, Saniert und Neubau/Saniert.

Abbildung 18: Auszug Kältebedarfsmatrix

Kühlgradtage (18,3/18,3) 0  
Auffeilungsschlüssel monatliche Verteilung

Finanziert durch Fördermitteln der FFG im Rahmen der 9. Ausschreibung Stadt der Zukunft  
Eingaben können nur in Zellen mit roter Schrift getätigt werden.  
In Zeile C2 können die Kühlgradtage eines beliebigen Standorts von den Nutzer:innen eingetragen werden. Daraus berechnen sich die Kältebedarfe bzw. die Kälteleistung je nach Gebäudezustand

Die Dokumentation sowie Anmerkungen zur Anwendung der Kältematrix finden sich in E3.1 Bericht Kältematrix.

**Kältematrix - UKÖ 2030/2050**

Nutzungsart Bauperiode gtotal.Fassade Gebäudezustand	Wohnen (generelles Komfortmodell)											
	vor 1945				1945 - 1990				nach 1990			
	gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%	
	Bestand U-Wert 1,5 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,5 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,0 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,0 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 0,35 W/(m²K)	Neubau/Saniert U-Wert 0,20 W/(m²K)	Bestand U-Wert 0,35 W/(m²K)	Neubau/Saniert U-Wert 0,20 W/(m²K)
spez. Kältebedarf	in kWh/(m².a)											
jährl. spez. Kältebedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juni	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juli	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
August	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
September	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Oktober	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
spez. Kälteleistung	in W/m²											
max. Kälteleistung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nutzungsart Bauperiode gtotal.Fassade Gebäudezustand	Wohnen (adaptives Komfortmodell)											
	vor 1945				1945 - 1990				nach 1990			
	gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%	
	Bestand U-Wert 1,5 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,5 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,0 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,0 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 0,35 W/(m²K)	Neubau/Saniert U-Wert 0,20 W/(m²K)	Bestand U-Wert 0,35 W/(m²K)	Neubau/Saniert U-Wert 0,20 W/(m²K)
spez. Kältebedarf	in kWh/(m².a)											
jährl. spez. Kältebedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juni	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juli	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
August	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
September	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Oktober	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
spez. Kälteleistung	in W/m²											
max. Kälteleistung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nutzungsart Bauperiode gtotal.Fassade Gebäudezustand	Wohnen (generelles Komfortmodell)																																			
	vor 1945												1945 - 1990												nach 1990											
	gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%		gtotal.Fassade = 5%		gtotal.Fassade = 10%													
	Bestand U-Wert 1,5 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,5 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,0 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 1,0 W/(m²K)	Saniert U-Wert 0,35 W/(m²K)	Bestand U-Wert 0,35 W/(m²K)	Neubau/Saniert U-Wert 0,20 W/(m²K)																										
spez. Kältebedarf	in kWh/(m².a)																																			
jährl. spez. Kältebedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
Mai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
Juni	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
Juli	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
August	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
September	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
Oktober	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													
spez. Kälteleistung	in W/m²																																			
max. Kälteleistung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0													

Detailliertere Informationen und Interpretationen, eine Handlungsanleitung zur Verwendung der Kältematrix sowie ein dokumentierter Anwendungsfall sind im Bericht E3.1. Bericht Kältematrix festgehalten.

Folgend werden die Kältebedarfskurven und Kälteleistungskurven zu den Nutzungen Wohnen und Büro bei Anwendung des generellen Komfortniveaus oder adaptiven Komfortniveaus (nur bei Wohnen) dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind stets die Kühlgradtage in Kd aufgetragen und auf der Vertikalen der spezifische Kältebedarf in kWh/m<sup>2</sup>BGFa beziehungsweise die spezifische Kälteleistung in W/m<sup>2</sup>NF.

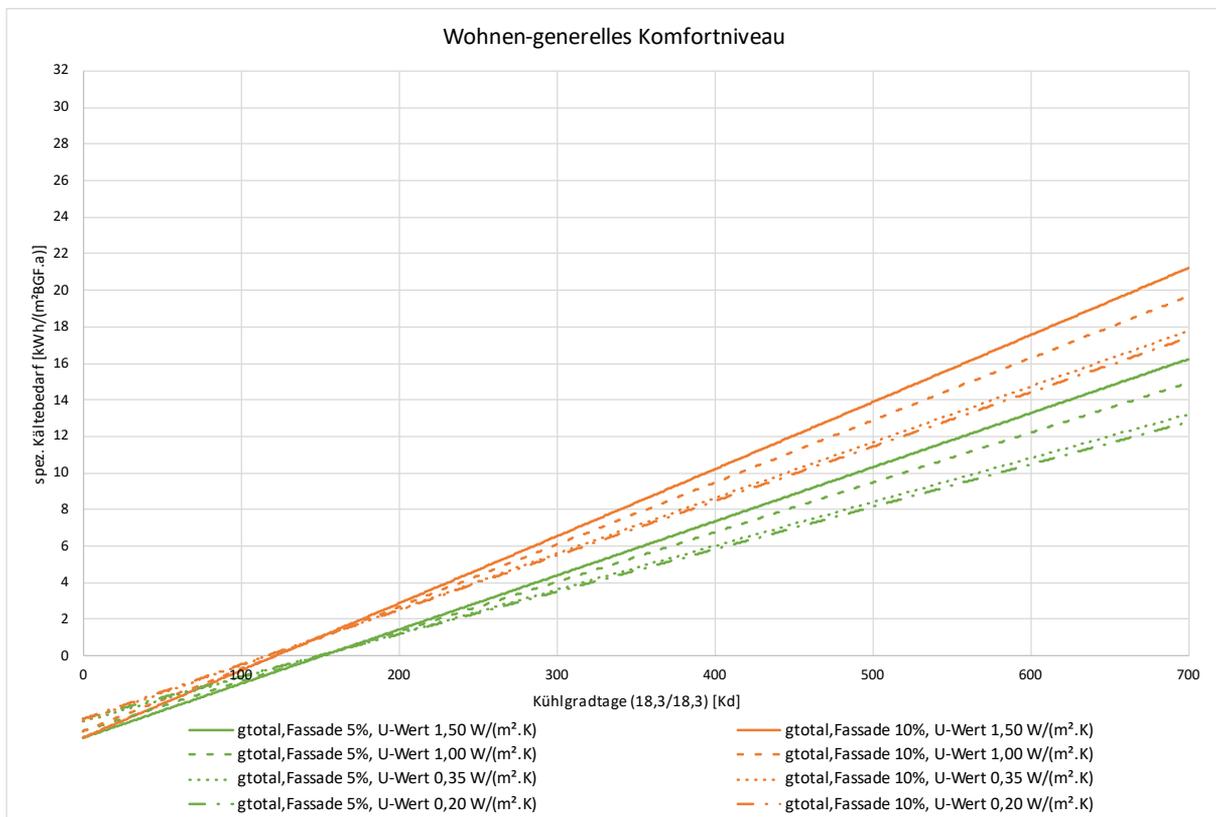
In den Diagrammen werden bei den Kurven die verschiedenen Varianten farblich und stilistisch differenziert. Die verschiedenen  $g_{\text{total,Fassade}}$  Konfigurationen werden farblich und die unterschiedlichen U-Werte der Außenwand linienstilistisch dargestellt. Die Zuordnung der Farben und Linienstile ist den Legenden der Abbildungen zu entnehmen.

Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die Kältebedarfskurven bei Wohnnutzung unter Anwendung der generellen (Innenraumtemperatur bei 26 °C) und adaptiven (außentemperaturabhängige Innenraumtemperaturen) Komfortmodelle.

### Kältebedarf bei generellem Komfortmodell - Wohnen

Der spezifische Kältebedarf nach generellem Komfortmodell liegt abhängig von den Kühlgradtagen, dem  $g_{\text{tot,Fassade}}$  und dem U-Wert der Außenwand in einem Bereich von 0 kWh/m<sup>2</sup>BGFa und 21 kWh/m<sup>2</sup>BGFa.

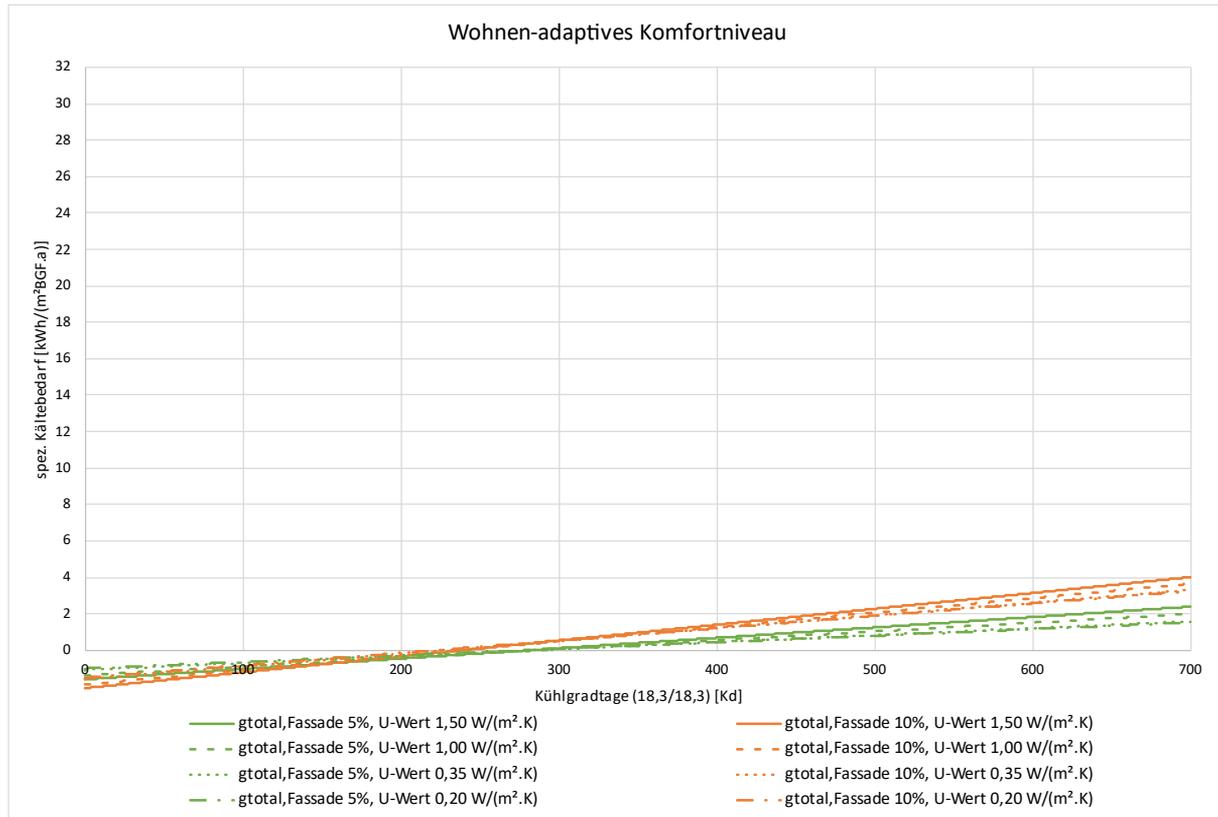
Abbildung 19: Kältebedarfskurve Wohnen – generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)



## Kältebedarf bei adaptivem Komfortmodell -Wohnen

Der spezifische Kältebedarf nach adaptivem Komfortmodell liegt abhängig von den Kühlgradtagen, dem  $g_{\text{tot,Fassade}}$  und dem U-Wert der Außenwand in einem Bereich von  $0 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGfA}}$  und  $4 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGfA}}$ .

Abbildung 20: Kältebedarfskurve Wohnen – adaptives Komfortniveau (eigene Berechnung)

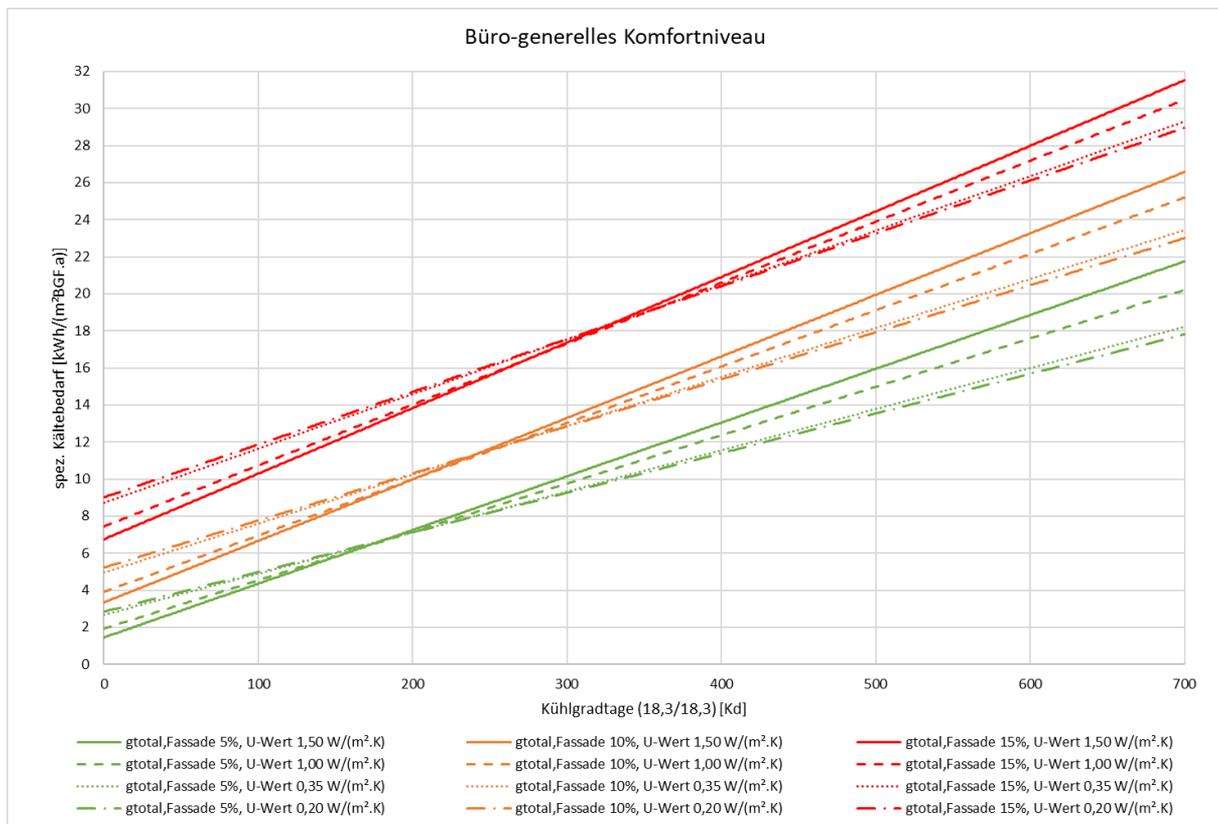


## Kältebedarf bei generellem Komfortmodell - Büronutzung

Abbildung 21 zeigt die Kältebedarfskurve der Büronutzung bei Anwendung des generellen Komfortniveaus mit einer, vom Wohnbau abweichenden Grenztemperatur von  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , gemäß Arbeitsstättenverordnung.

Der spezifische Kältebedarf nach Abhängigkeit von den Kühlgradtagen, dem  $g_{\text{tot,Fassade}}$  und dem U-Wert der Außenwand in einem Bereich von  $2 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGfA}}$  und  $32 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGfA}}$ .

Abbildung 21: Kältebedarfskurve Büro – generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)

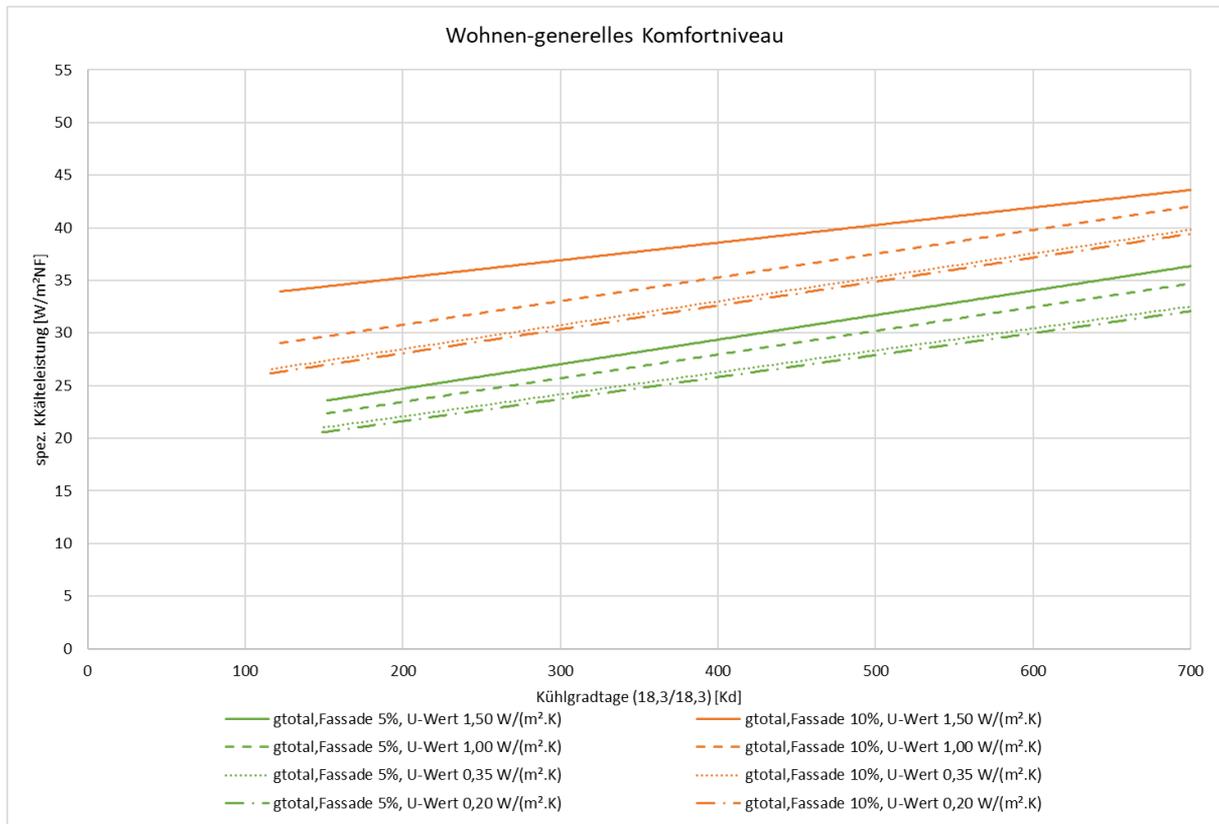


### Kälteleistungskurven bei generellem Komfortmodell - Wohnen

Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die Kälteleistungskurven bei Wohnnutzung unter Anwendung der beiden Komfortmodelle. Erstere Abbildung gibt das generelle Komfortniveau mit einer Innenraumtemperatur von 26 °C wieder und Abbildung 23 die Anwendung des adaptiven Komfortniveaus mit außentemperaturabhängigen Innenraumtemperaturen.

Die spezifische Kälteleistung nach generellem Komfortmodell liegt abhängig von den Kühlgradtagen, dem  $g_{\text{tot,Fassade}}$  und dem U-Wert der Außenwand in einem Bereich von 20 W/m<sup>2</sup><sub>NF</sub> und 44 W/m<sup>2</sup><sub>NF</sub>.

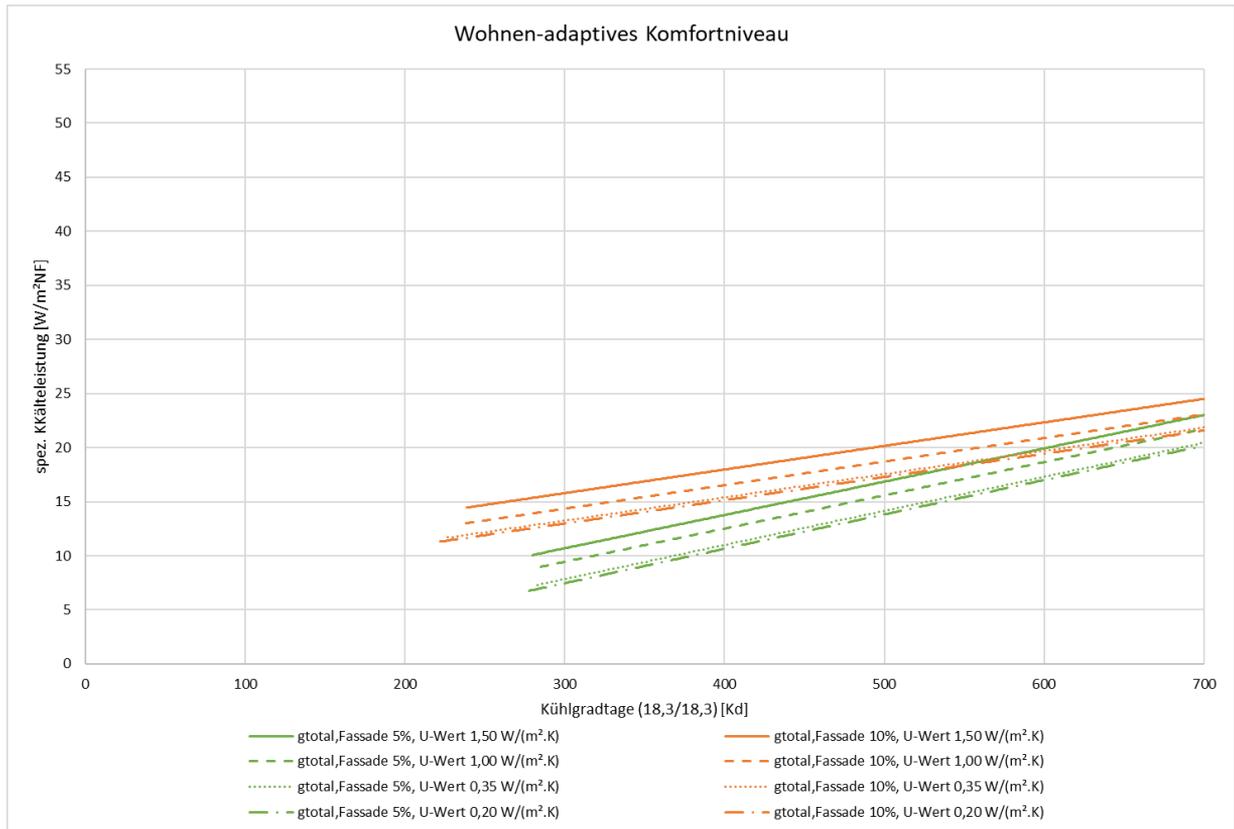
Abbildung 22: Kälteleistungskurve Wohnen – generelles Komfortmodell (eigene Berechnung)



## Kälteleistungskurven bei adaptivem Komfortmodell -Wohnen

Die spezifische Kälteleistung nach adaptivem Komfortmodell liegt abhängig von den Kühlgradtagen, dem  $g_{\text{tot,Fassade}}$  und dem U-Wert der Außenwand in einem Bereich von  $6 \text{ W/m}^2_{\text{NF}}$  und  $25 \text{ W/m}^2_{\text{NF}}$ .

Abbildung 23: Kälteleistungskurve Wohnen-adaptives Komfortniveau (eigene Berechnung)

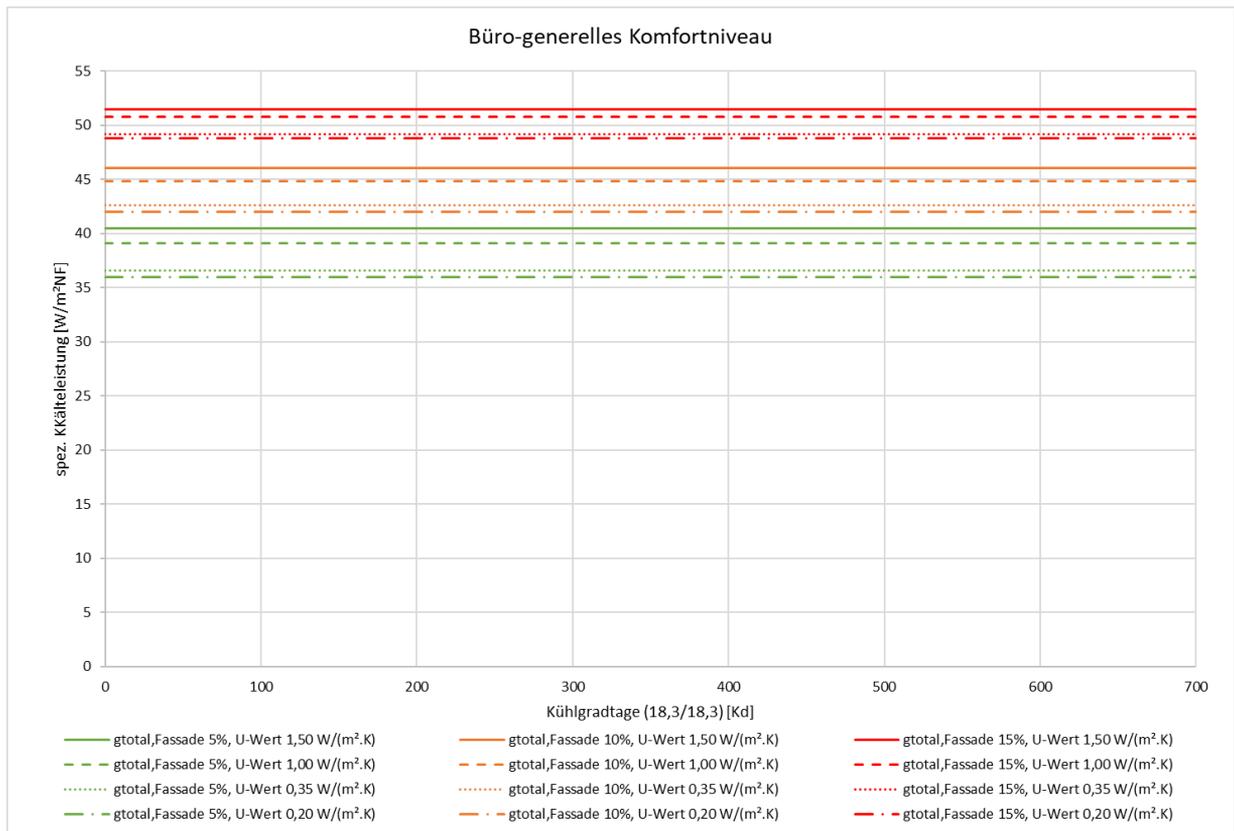


## Kälteleistungskurven bei generellem Komfortmodell - Büronutzung

Abbildung 24 zeigt die Kältebedarfskurve der Büronutzung bei Anwendung des generellen Komfortniveaus mit einer, vom Wohnbau abweichenden Grenztemperatur von 25 °C, gemäß Arbeitsstättenverordnung.

Die spezifische Kälteleistung nach generellem Komfortmodell liegt abhängig vom  $g_{\text{tot,Fassade}}$  und dem U-Wert der Außenwand in einem Bereich von  $36 \text{ W/m}^2_{\text{NF}}$  und  $54 \text{ W/m}^2_{\text{NF}}$ .

Abbildung 24: Kälteleistungskurve Büro – generelles Komfortmodell (eigene Berechnung)



## 5.4. Kältebedarfsmodellierung und Kältebedarfskarten

Ein besonderes Augenmerk im Rahmen von UKÖ 2030/2050 liegt auf der **Quantifizierung des künftigen österreichischen Kältebedarfs** in räumlicher, zeitlicher und sachlicher Differenzierung sowie auf der Erstellung von **Kältebedarfskarten**. Im **Bericht „Kältebedarfsmodellierung und Kältebedarfskarten“ (E3.2)** sind Methodik und Ergebnisse der Modellierung und Szenarioanalyse eingehend dokumentiert. Unterschieden werden dabei die vier Szenarien [A], [B], [C] und [D], die auf unterschiedliche Pfade sowohl betreffend die Entwicklung der Tagesmitteltemperaturen als auch die räumliche Entwicklung Bedacht nehmen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Szenario [D], das durch eine dynamische Temperaturentwicklung sowie eine dynamische Entwicklung der Wohn- und Büroflächen gekennzeichnet ist. Modelliert wird der Kältebedarf (einschließlich der maximalen Kälteleistung) für das Ausgangsjahr 2021 sowie für die drei Zeithorizonte 2030, 2040 und 2050. Als maßgeblich für den Kältebedarf wird dabei vornehmlich das generelle Komfortmodell erachtet, das auf eine konstante Temperatur in den Innenräumen (Wohnungen: 26 Grad, Büros: 25 Grad Celsius) abzielt. Die Ergebnisse werden für alle 2.115 Gemeinden (einschließlich der Wiener Stadtbezirke) differenziert nach 30 verschiedenen Gebäudekategorien ermittelt und in aggregierter Form aufbereitet. Eine bedeutende Grundlage für die Modellierung bilden unter anderem die Kältebedarfs- und Kälteleistungsfunktionen aus der Kältematrix (vgl. E3.1 Bericht Kältematrix), die auf umfangreichen Gebäudesimulationen unter Berücksichtigung eines intelligenten Nutzerverhaltens beruhen; die Rahmenbedingungen hierfür sind in E2.1 Bildungsfaktoren des Kältebedarfs dokumentiert. Im Folgenden werden zunächst die wesentlichen Erkenntnisse betreffend den Kältebedarf und die Kälteleistung in Österreich zusammengefasst (vgl. Kapitel 5.4.1); anschließend werden bedeutende Einflussgrößen auf die Ergebnisse erörtert (vgl. Kapitel 5.4.2); Schlussfolgerungen runden das Kapitel ab (vgl. Kapitel 5.4.3).

### 5.4.1. Wesentliche Erkenntnisse

#### Kältebedarf

Der **absolute Kältebedarf** der Wohnungen und Büros in Österreich wird bei generellem Komfortniveau für das Jahr 2030 – je nach Szenario – mit 2,7 bis 4,3 Terawattstunden pro Jahr (TWh/a) beziffert, für das Jahr 2050 mit **3,5 bis 6,3 TWh/a**. Die Wohnungen weisen dabei im Jahr 2050 einen absoluten Kältebedarf in der Höhe von 2,0 bis 4,2 TWh/a auf, die Büros 1,5 bis 2,2 TWh/a. Damit nimmt der Kältebedarf der **Wohnungen** im Jahr 2050 – je nach Szenario – einen Anteil von **58-66%** am österreichischen Kältebedarf insgesamt ein, jener der **Büros 34-42 %**. Am Beispiel des Szenarios [D] wird die räumliche Verteilung des Kältebedarfs auf die österreichischen Gemeinden im Jahr 2050 gezeigt (vgl. Abbildung 25).

Der **spezifische Kältebedarf** der Wohnungen und Büros insgesamt beläuft sich bei generellem Komfortniveau im Jahr 2030 – je nach Szenario – auf 4,1 bis 6,4 Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr ( $\text{kWh/m}^2, \text{a}$ ), im Jahr 2050 sind es **5,1 bis 7,9  $\text{kWh/m}^2, \text{a}$** . Die Unterschiede zwischen den beiden Nutzungen sind beträchtlich: Während der spezifische Kältebedarf der **Wohnungen** im Jahr 2050 – je nach Szenario – eine Höhe von **3,5 bis 6,2  $\text{kWh/m}^2, \text{a}$**  aufweist, beträgt der spezifische Kältebedarf der **Büros 14,0 bis 17,4  $\text{kWh/m}^2, \text{a}$** . Die Unterschiede im spezifischen Kältebedarf auf Gemeindeebene im Jahr 2050 veranschaulicht Abbildung 26 für das Szenario [D].

Abbildung 25: Absoluter Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt in Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)

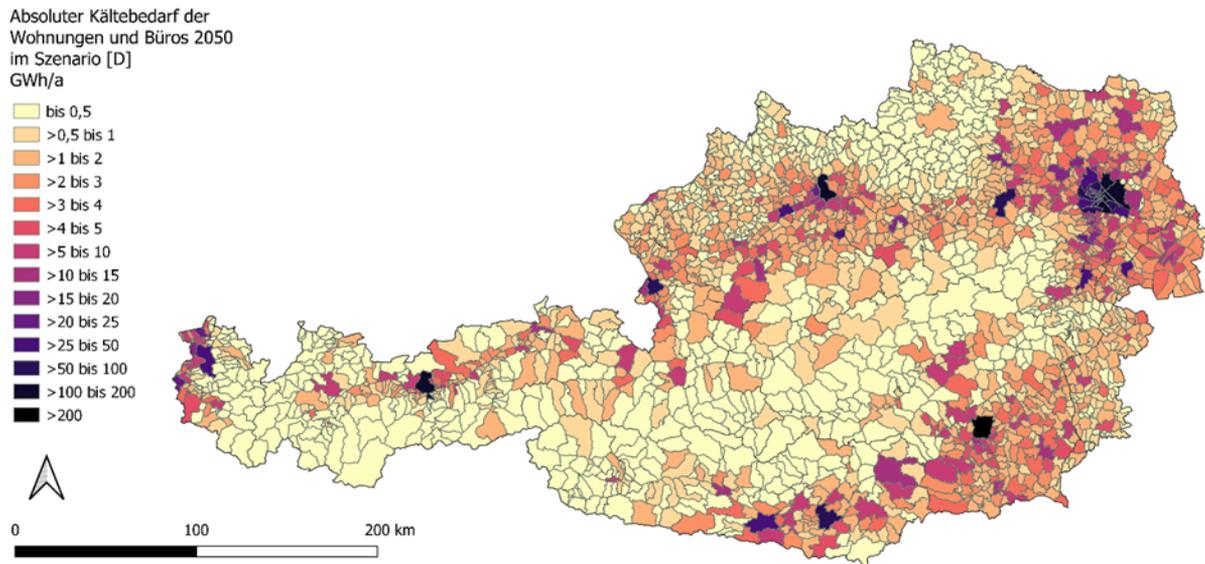
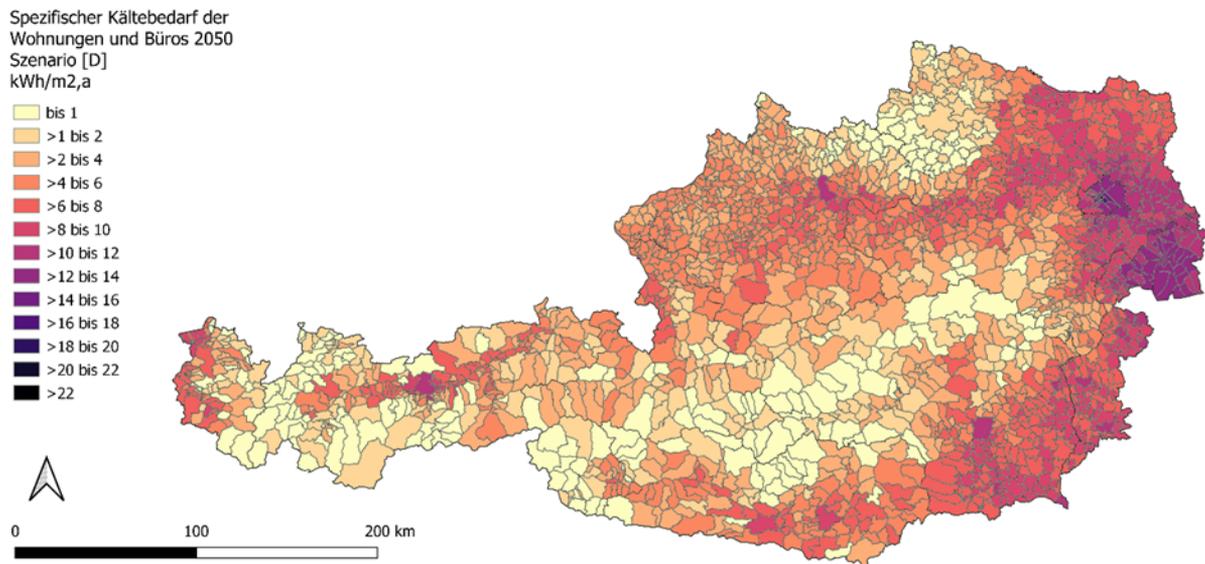


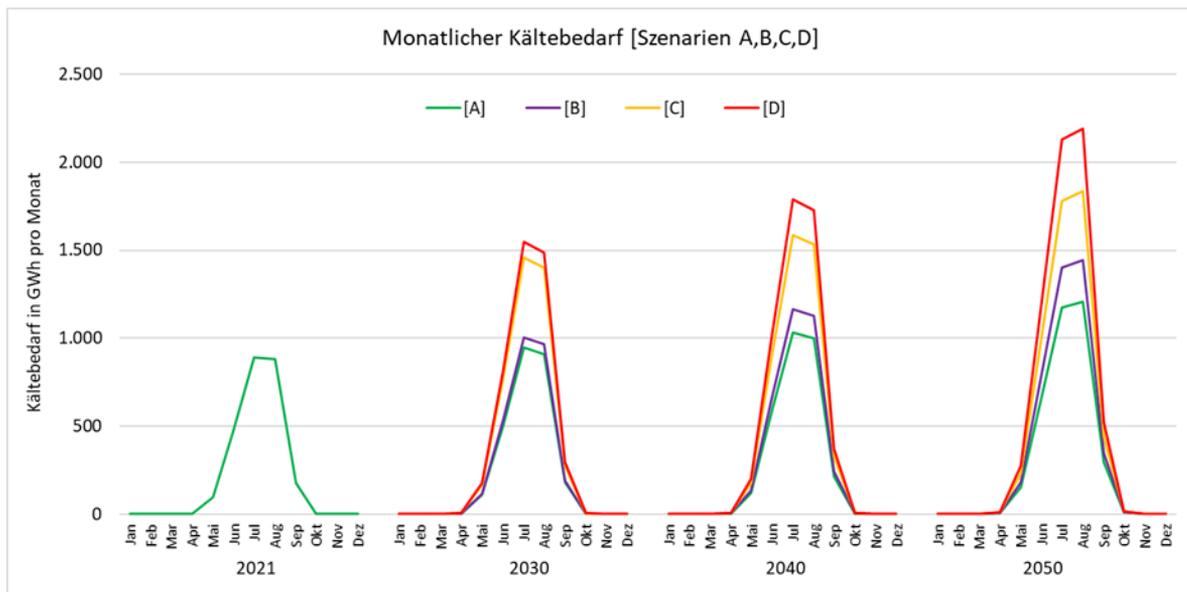
Abbildung 26: Spezifischer Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt in Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr (kWh/m<sup>2</sup>,a) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)



Der **monatliche Verlauf** des Kältebedarfs der Wohnungen und Büros insgesamt zeigt markante Spitzen in den Monaten **Juli und August** mit jeweils **34-35 %** des Jahreswertes; im Juni werden rund **19 %** des jährlichen Kältebedarfs verzeichnet; die übrigen **12 %** entfallen mehrheitlich auf den September; geringe Kältebedarfe treten im April, Mai und Oktober auf. Der Verlauf des Kältebedarfs

über das Jahr ist weitgehend unabhängig vom Zeithorizont und vom Szenario, wie Abbildung 27 darlegt.

Abbildung 27: Absoluter monatlicher Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt in Gigawattstunden (GWh) für 2021 sowie für die vier Szenarien in den Jahren 2030, 2040 und 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)



## Kälteleistung

Die maximale **absolute Kälteleistung** der Wohnungen und Büros in Österreich beträgt – je nach Szenario – 12,9 bis 15,4 Gigawatt (GW) im Jahr 2030 und **13,9 bis 18,6 GW** im Jahr 2050. Die Kälteleistung der Wohnungen ist mit 10,5 bis 14,6 GW im Jahr 2050 erheblich höher als jene der Büros mit 3,3 bis 4,0 GW. Damit entfallen – je nach Szenario – auf die **Wohnungen 76-78 %** und auf die **Büros 22-24 %** der Kälteleistung insgesamt. Exemplarisch wird die absolute Kälteleistung in den österreichischen Gemeinden im Jahr 2050 für das Szenario [D] gezeigt (vgl. Abbildung 28).

Die **spezifische Kälteleistung** der Wohnungen und Büros insgesamt wird – je nach Szenario – für das Jahr 2030 mit 25 bis 28 Watt pro Quadratmeter Nutzfläche und Jahr ( $W/m^2,a$ ) beziffert, für das Jahr 2050 mit **26 bis 29  $W/m^2,a$** . Die **Wohnungen** verzeichnen im Jahr 2050 – je nach Szenario – eine spezifische Kälteleistung in der Höhe von **23 bis 27  $W/m^2,a$** , die **Büros** sind durch eine spezifische Kälteleistung in der Höhe von **40  $W/m^2,a$**  (unabhängig vom Szenario) gekennzeichnet. Die räumliche Verteilung der spezifischen Kälteleistung innerhalb Österreichs im Jahr 2050 stellt Abbildung 29 für das Szenario [D] dar.

Abbildung 28: Absolute Kälteleistung der Wohnungen und Büros insgesamt in Megawatt (MW) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)

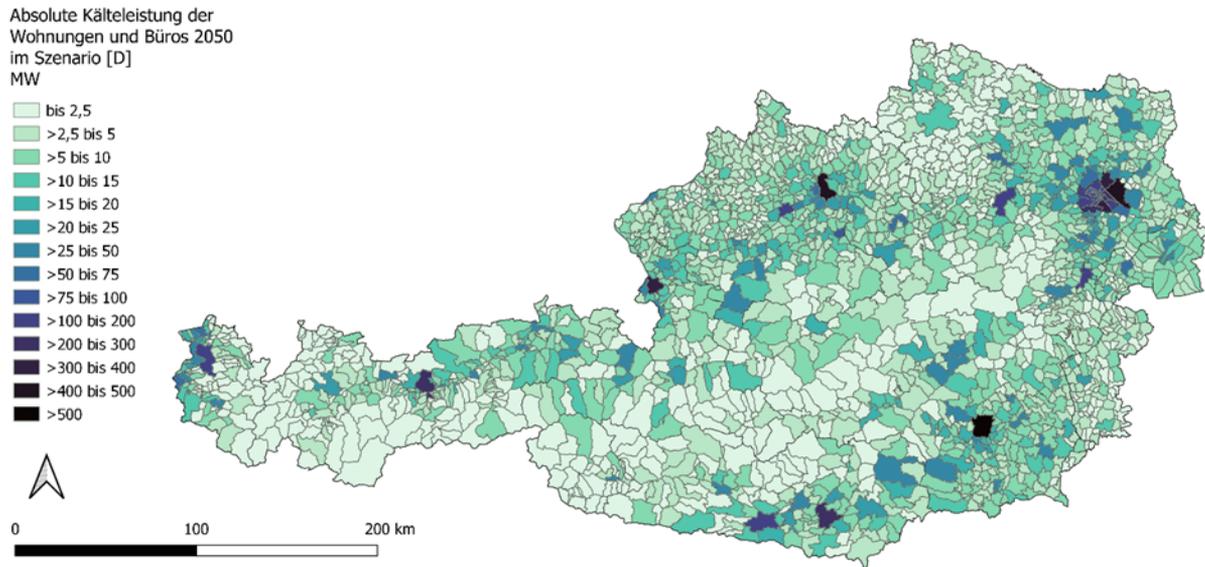
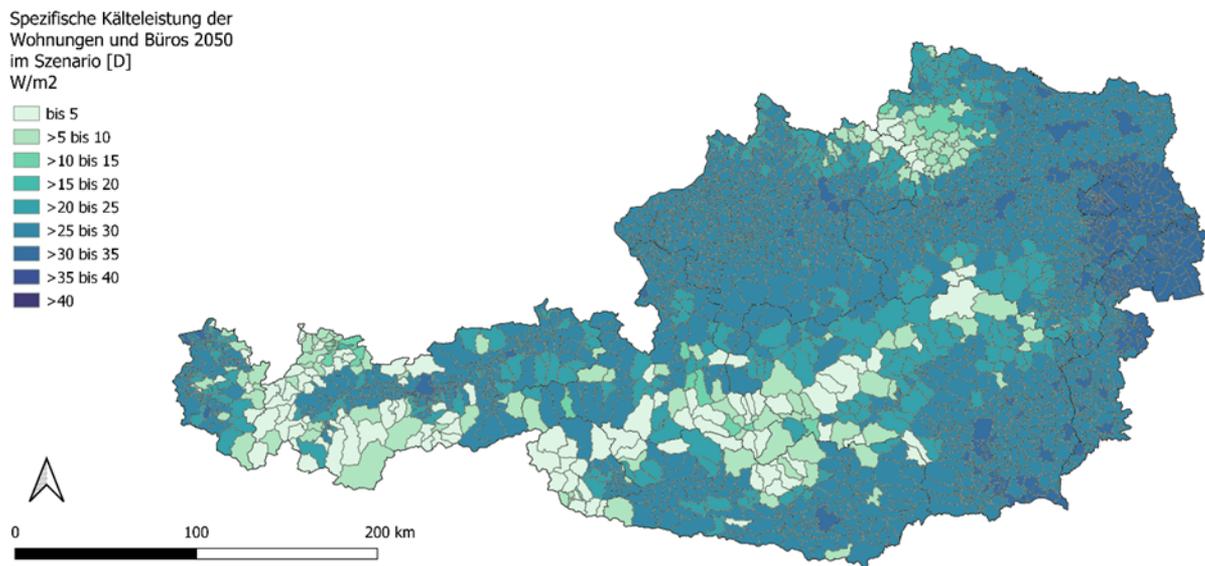


Abbildung 29: Spezifische Kälteleistung der Wohnungen und Büros insgesamt in Watt pro Quadratmeter Nutzfläche ( $W/m^2$ ) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung)

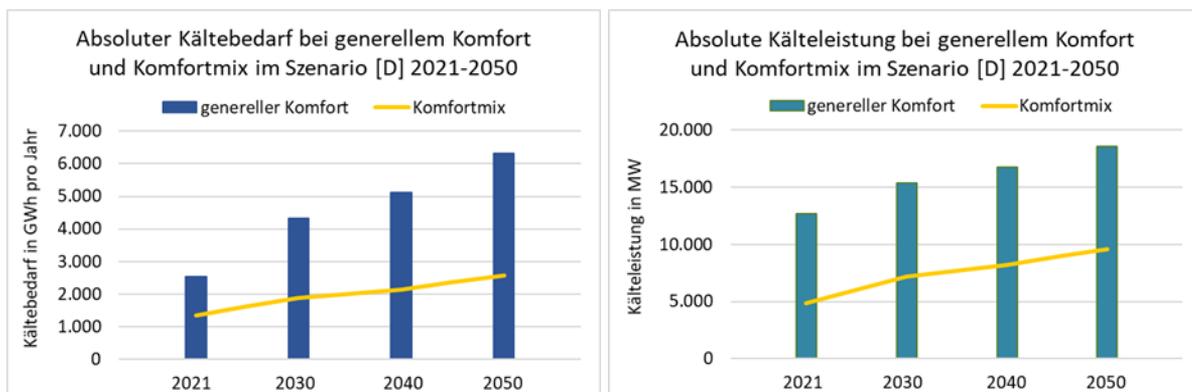


## Komfortniveau

Alternativ zum generellen Komfortniveau kann das adaptive Komfortniveau als Grundlage für die Modellierung des Kältebedarfs herangezogen werden, bei dem in den Wohnungen höhere Temperaturen als 26 Grad Celsius zulässig sind. Sowohl der absolute als auch der spezifische

Kältebedarf der Wohnungen verringert sich im Jahr 2050 bei Bedachtnahme auf das **adaptive Komfortniveau** auf (!) **6-10 %** (je nach Szenario) des Kältebedarfs, der unter Berücksichtigung des **generellen Komfortniveaus** ermittelt wird. Bei **Komfortmix**, d.h. bei adaptivem Komfortniveau für die Wohnungen und bei generellem Komfortniveau für die Büros, beläuft sich der Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt im Jahr 2050 auf **41-46 %** gegenüber dem **Kältebedarf** bei generellem Komfortniveau. Die absolute Kälteleistung der Wohnungen und Büros insgesamt beträgt bei Komfortmix **43-52 %** (je nach Szenario) der **Kälteleistung** bei generellem Komfort. Die Verminderung des Kältebedarfs und der Kälteleistung bei Komfortmix gegenüber dem generellen Komfortniveau zeigt Abbildung 30 anhand des Szenarios [D] anschaulich.

Abbildung 30: Absoluter Kältebedarf (links) und absolute Kälteleistung (rechts) der Wohnungen und Büros insgesamt bei generellem Komfortniveau und bei Komfortmix (Wohnungen: adaptiv; Büros: generell) für 2021 und für das Szenario [D] in den Jahren 2030, 2040 und 2050 (eigene Berechnung)

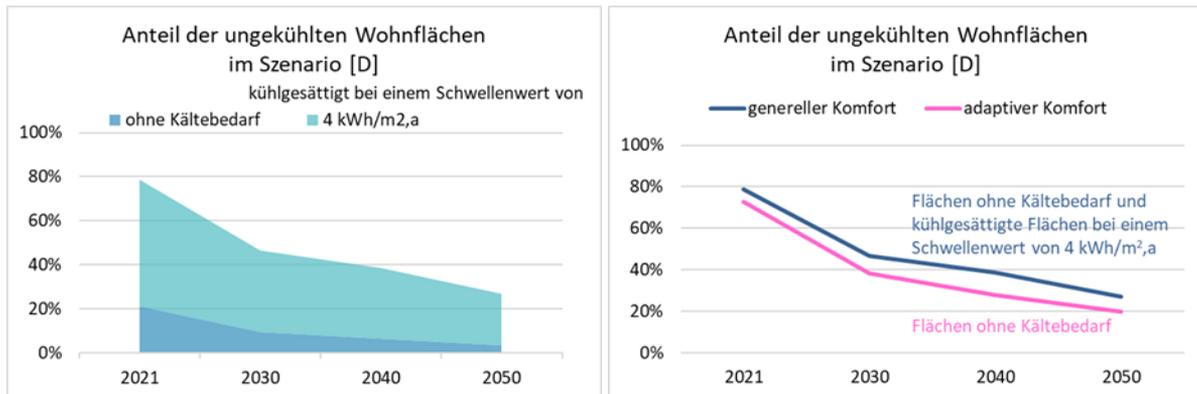


## Flächen ohne Kältebedarf und kühlgesättigte Flächen

Jene Flächen, die im Jahr 2050 **keinen Kältebedarf** aufweisen - dabei handelt es sich ausschließlich um Wohnflächen, nehmen im Szenario [D] unter Berücksichtigung des **generellen Komfortniveaus** einen Anteil von **3,5 %** der Wohnflächen insgesamt ein; unter Bedachtnahme auf das **adaptive Komfortniveau** verzeichnen **20 %** der Wohnflächen insgesamt keinen Kältebedarf. Die **kühlgesättigten Flächen** umfassen jene Wohnflächen, die zwar einen gewissen Kältebedarf aufweisen, der aber unterhalb bestimmter Schwellenwerte liegt und in Zukunft unter Umständen ungedeckt bleiben kann. Bei generellem Komfortniveau und beispielsweise einem **Schwellenwert von 4 kWh/m<sup>2,a</sup>** gelten im Szenario [D] **23 % der Wohnflächen** insgesamt als kühlgesättigt.

Die **ungekühlten Wohnflächen** umfassen sowohl die Flächen ohne Kältebedarf als auch die kühlgesättigten Flächen. Bei generellem Komfortniveau und einem Schwellenwert von 4 kWh/m<sup>2,a</sup> für die Kühl-sättigung bleiben demnach im Jahr 2050 rund **27 % der Wohnflächen** insgesamt im Szenario [D] ungekühlt. Dabei handelt es sich mehrheitlich um jene Flächen, die bei adaptivem Komfortniveau keinen Kältebedarf aufweisen. Einen Überblick über die ungekühlten Wohnflächen gibt Abbildung 31 für das Szenario [D].

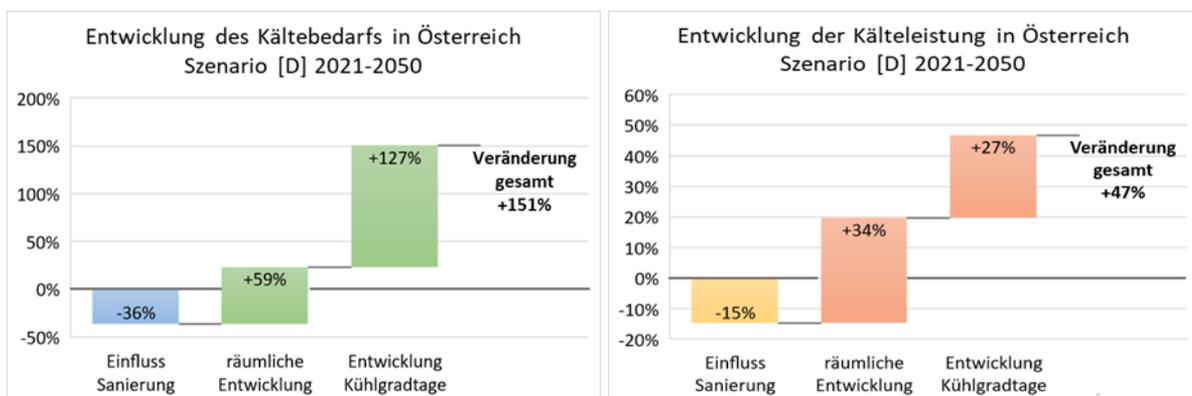
Abbildung 31: Anteil der ungekühlten Wohnflächen an den Wohnflächen insgesamt bei generellem Komfortniveau und einem Schwellenwert von 4 kWh/m<sup>2</sup>,a für die Kühleinsparung im Jahr 2021 und für das Szenario [D] in den Jahren 2030, 2040 und 2050 (links) sowie im Vergleich mit dem Anteil der ungekühlten Wohnflächen an den Wohnflächen insgesamt bei adaptivem Komfortniveau (rechts) (eigene Berechnung)



## Komponenten der Entwicklung von Kältebedarf und Kälteleistung

Drei wesentliche Komponenten werden bezüglich ihres Einflusses auf den Kältebedarf und die maximale Kälteleistung der Wohnungen und Büros in Österreich im Zeitraum von 2021 bis 2050 analysiert: die Gebäudesanierung, die räumliche Entwicklung und die Entwicklung der Kühlgradtage. Im Szenario [D] verringert die **Sanierung** den Kältebedarf um 36 %; die **räumliche Entwicklung** führt zu einem Anstieg des Kältebedarfs um 59 %, und die Entwicklung der Kühlgradtage zieht eine Zunahme des Kältebedarfs um 127 % nach sich. Insgesamt steigt der **Kältebedarf** im betrachteten Zeitraum demnach von 2,5 TWh/a auf 6,3 TWh/a, d.h. um 151%. Im Falle der maximalen **Kälteleistung** beläuft sich die Zunahme insgesamt von 12,6 GW auf 18,6 GW, d.h. um **47 %**. Den Einfluss der drei Komponenten auf Kältebedarf und Kälteleistung veranschaulicht Abbildung 32 anhand des Szenarios [D].

Abbildung 32: Komponenten der Entwicklung von Kältebedarf (links) und Kälteleistung (rechts) der Wohnungen und Büros insgesamt in Prozent im Zeitraum von 2021 bis 2050 für das Szenario [D] (eigene Berechnung)



## 5.4.2. Bedeutende Einflussgrößen

### Kühlgradtage

Die Kühlgradtage charakterisieren die klimatologischen Rahmenbedingungen, die den Kältebedarf maßgeblich bestimmen: An jenen Tagen, an denen die Tagesmitteltemperatur einen Grenzwert erreicht, werden die Temperaturdifferenzen zwischen der Tagesmitteltemperatur und einem Zielwert ermittelt und anschließend über einzelne Monate oder das gesamte Jahr aufsummiert. Im Rahmen des vorliegenden Projekts sind Grenzwert und Zielwert mit 18,3 Grad in identer Höhe definiert. Österreichweit werden im Jahr 2050 im Falle des moderaten Entwicklungspfades **233 Kühlgradtage** verzeichnet. Der dynamische Entwicklungspfad weist österreichweit **319 Kühlgradtage** auf. Allerdings ist die Variation innerhalb Österreichs erheblich: Die höchsten Werte verzeichnen die Regionen in Ostösterreich, während die alpin geprägten Regionen in den westlichen Bundesländern durch eine deutlich niedrigere Anzahl an Kühlgradtagen gekennzeichnet sind. In die Modellierung des Kältebedarfs und der Kälteleistung gehen Kühlgradtage für die 2.115 österreichischen **Gemeinden** (einschließlich der Wiener Stadtbezirke) ein.

Das Gefälle der Kühlgradtage innerhalb Österreichs von (Nord)Ost nach West spiegelt sich in der Höhe des **Kältebedarfs** wider: Wien ist beispielsweise im Jahr 2050 vornehmlich wegen der hohen Anzahl an Kühlgradtagen durch einen – im Vergleich zur Ausstattung mit Wohn- und Büroflächen – überdurchschnittlich hohen **absoluten Kältebedarf** gekennzeichnet: Je nach Szenario entfallen auf Wien 18-20 % der Flächen insgesamt, aber 31-34 % des österreichischen Kältebedarfs. Demgegenüber weisen zahlreiche Gemeinden in Vorarlberg, Salzburg und Kärnten wegen vergleichsweise niedriger Kühlgradtage einen – im Vergleich zur Ausstattung mit Wohn- und Büroflächen – unterdurchschnittlich hohen absoluten Kältebedarf auf. Der Einfluss der Kühlgradtage zeigt sich besonders auf den **spezifischen Kältebedarf**: Im Jahr 2050 beläuft sich der spezifische Kältebedarf in Wien – je nach Szenario – auf 9,1 bis 13,1 kWh/m<sup>2</sup>,a und liegt damit 68-75 % über dem österreichischen Durchschnitt in der Höhe von 5,2 bis 7,8 kWh/m<sup>2</sup>,a. Während der spezifische Kältebedarf in den Gemeinden des Burgenlands angesichts ebenfalls hoher Kühlgradtage durchschnittlich 6,8 bis 10,2 kWh/m<sup>2</sup>,a beträgt, weisen die Gemeinden in den alpin geprägten Bundesländern Tirol und Salzburg einen spezifischen Kältebedarf von – je nach Szenario – durchschnittlich 3,3 bzw. 5,1 kWh/m<sup>2</sup>,a auf; das sind knapp zwei Drittel des österreichischen Durchschnitts. Tirol und Salzburg sind durch eine vergleichsweise geringe Anzahl an Kühlgradtagen gekennzeichnet.

Die maximale **Kälteleistung** wird demgegenüber vergleichsweise moderat von der Anzahl an Kühlgradtagen beeinflusst und folgt stärker der räumlichen Verteilung der Wohn- und Büroflächen. Dies gilt sowohl für die absolute als auch für die spezifische Kälteleistung.

Die **Entwicklung der Kühlgradtage** bis 2050 erfolgt räumlich differenziert. Dies führt zu einer Verringerung des Gefälles der Kühlgradtage von (Nord)Ost nach West und verschiebt geringfügig die Anteile der einzelnen Bundesländer am **absoluten Kältebedarf** Österreichs im Zeitraum von 2021 bis 2050: Wiens Anteil sinkt beispielsweise, denn hier ist ein vergleichsweise schwächerer Anstieg der Kühlgradtage zu verzeichnen als in den alpin geprägten Bundesländern mit Siedlungsräumen in größeren Höhen, die sich durch den Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten stärker erwärmen werden als die tiefen Lagen. Durch die unterschiedliche Entwicklung der Kühlgradtage innerhalb Österreichs verringert sich auch die Bandbreite des **spezifischen Kältebedarfs** zwischen dem

(Nord)Osten und dem Westen Österreichs im Zeitraum von 2021 bis 2050. In beiden Fällen ist allerdings die räumlich differenzierte Entwicklung der Kühlgradtage nur einer von mehreren Einflussfaktoren.

## **Ausmaß der zu kühlenden Flächen**

Die zu kühlenden Wohn- und Büroflächen betragen in Österreich im Jahr 2050 – je nach Entwicklungspfad – **668 bis 810 Mio.m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche**. Am umfangreichsten stellen sich die Flächen in Niederösterreich mit 138 bis 169 Mio.m<sup>2</sup> dar, gefolgt von Wien und Oberösterreich. Das geringste Ausmaß an Flächen weist das Burgenland mit 25 bis 32 Mio.m<sup>2</sup> auf, gefolgt von Vorarlberg, Salzburg und Kärnten. In die Modellierung des Kältebedarfs und der Kälteleistung gehen gemeindespezifische Daten zu den Wohn- und Büroflächen ein.

Ein hohes **Ausmaß an Flächen** kann den Einfluss hoher Kühlgradtage auf den **absoluten Kältebedarf** verstärken: Dies trifft beispielsweise auf den absoluten Kältebedarf von Wien zu, das den höchsten Kältebedarf aller Bundesländer aufweist. Dieser Umstand resultiert aus einem hohen Ausmaß an Wohn- und Büroflächen, den jeweils zweithöchsten Werten aller österreichischen Bundesländer nach Niederösterreich, sowie aus einer hohen Anzahl an Kühlgradtagen, den höchsten Werten innerhalb Österreichs. Demgegenüber kann ein niedriges Ausmaß an Flächen den Einfluss hoher Kühlgradtage auf den absoluten Kältebedarf vermindern bzw. umgekehrt ziehen umfangreiche Flächen auch bei niedrigen Kühlgradtagen einen entsprechend hohen absoluten Kältebedarf nach sich: Beispielsweise sind Kärnten und Burgenland im Jahr 2050 durch einen absoluten Kältebedarf in etwa der gleichen Höhe gekennzeichnet. In Kärnten sind allerdings um etwa 60 % mehr Wohn- und Büroflächen ausgewiesen als im Burgenland; hingegen weist das Burgenland rund 60 % mehr Kühlgradtage auf als Kärnten. Damit führen in Kärnten bei niedrigeren Kühlgradtagen zu demselben Kältebedarf wie im Burgenland, wo geringere Wohn- und Büroflächen bei höheren Kühlgradtagen vorliegen.

Die **Wohn- und Büroflächen entwickeln** sich im Zeitraum von 2021 bis 2050 je nach Lage, Struktur und Funktion in den einzelnen Gemeinden unterschiedlich: Die österreichweite Veränderung der Flächen in der Höhe von +7 % im Falle des moderaten Entwicklungspfades und +30 % im Falle des dynamischen Entwicklungspfades werden vornehmlich in den Zentralräumen überschritten und in einigen peripheren Regionen unterschritten. Dies wirkt sich unmittelbar auf die Entwicklung des **absoluten Kältebedarfs** aus.

Die maximale **absolute Kälteleistung**, die nur moderat von der Anzahl an Kühlgradtagen abhängt, wird in hohem Maße vom Ausmaß der zu kühlenden Flächen bestimmt. Daher orientiert sich deren räumliche Verteilung weniger an jener der Kühlgradtage, sondern stärker an der räumlichen Verteilung der Wohn- und Büroflächen: Im Jahr 2050 entfallen auf Wien 21-23 % der absoluten Kälteleistung (bei einem Anteil von 18-20 % an den Flächen). Die Anteile von Burgenland und Vorarlberg an der absoluten Kälteleistung betragen jeweils 4% und entsprechen damit deren Anteilen an den Wohn- und Büroflächen.

## **Nutzungen**

Im Jahr 2050 entfallen – je nach Szenario – österreichweit 76-78 % der Flächen auf Wohnungen; 22-24 % der Flächen erweisen sich als Büroflächen. Das **Verhältnis der Wohn- und Büroflächen** zueinander ist in den einzelnen Gemeinden unterschiedlich; dies ist insofern von großer Relevanz für

den Kältebedarf und die Kälteleistung, als die Einflussfaktoren, die Wohnungen und Büros unterschiedlich stark betreffen, je nach Anteil der Wohn- bzw. Büroflächen in den einzelnen Gemeinden unterschiedlich wirksam sind.

**Wohnflächen** weisen beispielsweise im Jahr 2021 bzw. bei einer moderaten Entwicklung der Kühlgradtage bis 2050 **nicht in allen Wohngebäudekategorien bzw. Gemeinden** einen Kältebedarf auf. Dies liegt daran, dass die kritische Grenze von rund 120 bis 150 Kühlgradtagen pro Jahr (bei generellem Komfortniveau) nicht erreicht wird; unterhalb dieser Grenze besteht kein Kältebedarf der Wohnungen. Hingegen wird bei einer dynamischen Entwicklung der Kühlgradtage bis 2050 die kritische Grenze in der überwiegenden Anzahl von Gemeinden in zahlreichen Gebäudekategorien überschritten und verzeichnen die Wohnflächen fast vollumfänglich einen Kältebedarf. Demnach nimmt das Ausmaß der gekühlten Wohnflächen ungeachtet der räumlichen Entwicklung zu. Dies äußert sich in einem vergleichsweise moderaten Anstieg des **absoluten Kältebedarfs** der Wohnungen im Zeitraum von 2021 bis 2050 in jenen Szenarien, die durch eine moderate Entwicklung der Kühlgradtage gekennzeichnet sind, bzw. in einem Anstieg des Kältebedarfs der Wohnungen auf beinahe den 3½-fachen Wert von 2021 in jenen Szenarien, die auf einer dynamischen Entwicklung der Kühlgradtage beruhen. Das Ausmaß der zu kühlenden Wohnflächen verändert sich demnach bis zum Jahr 2050 nicht nur entsprechend der räumlichen Entwicklung, sondern erhöht sich mit einer zunehmenden Anzahl an Kühlgradtagen, vornehmlich in den alpin geprägten Regionen. Demgegenüber wird das Ausmaß der zu kühlenden Büroflächen nur durch die räumliche Entwicklung beeinflusst, denn es weisen bereits im Jahr 2021 alle Büroflächen einen Kältebedarf auf. Da das Ausmaß der zu kühlenden Wohnflächen stärker ansteigt als jenes der Büroflächen, verschieben sich die Beiträge der beiden Nutzungen zum absoluten Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt im Zeitraum von 2021 bis 2050: Je nach Szenario nimmt der Anteil der Wohnungen von 49 % auf 58-66 % am Kältebedarf insgesamt zu; der Anteil der Büros verringert sich im betrachteten Zeitraum von 51 % auf 34-42 % am Kältebedarf insgesamt. Damit nehmen die Büroflächen aber immer noch einen deutlich höheren Anteil am absoluten Kältebedarf ein, als es ihrem Anteil an den Gesamtflächen entspricht (22-24%).

**Büroflächen** sind durch einen – gegenüber den Wohnflächen – **erheblich höheren spezifischen Energiebedarf für die Kühlung** gekennzeichnet. Der **spezifische Kältebedarf** der Büros ist – je nach Szenario – mit 14,0 bis 17,4 kWh/m<sup>2</sup>,a österreichweit im Jahr 2050 etwa 3 bis 4 Mal so hoch wie jener der Wohnungen mit 3,5 bis 6,2 kWh/m<sup>2</sup>,a. Der höhere spezifische Energiebedarf für die Kühlung der Büros führt dazu, dass Gemeinden mit einer überdurchschnittlichen Ausstattung an Büroflächen einen vergleichsweise hohen Kältebedarf aufweisen: Der hohe **spezifische Kältebedarf** Wiens im Jahr 2050 mit 9,1 bis 13,1 kWh/m<sup>2</sup>,a geht unter anderem auf den überdurchschnittlich hohen Anteil der Büroflächen an allen Flächen Wiens zurück; dieser Umstand trägt auch zum überdurchschnittlich hohen **absoluten Kältebedarf** in Wien bei.

Allerdings nimmt der **spezifische Energiebedarf für die Kühlung der Büroflächen** mit einer steigenden Anzahl an Kühlgradtagen **weniger stark zu** als jener für die Wohnnutzung. Für den künftigen Kältebedarf der Büros spielen das Ausmaß und die Entwicklung der Büroflächen (als treibende Komponente) sowie die Sanierung der Gebäude (als dämpfende Komponente) und die inneren Lasten, d.h. Personen, (EDV)Geräte und Beleuchtung, als konstanter Faktor über den betrachteten Zeitraum hinweg eine größere Rolle als für den Kältebedarf der Wohnungen, der vornehmlich von den Kühlgradtagen getrieben ist. Da die spezifischen Energiebedarfe für die Kühlung der Büros keine so starke Abhängigkeit von den Kühlgradtagen aufweisen, nehmen die **spezifischen**

**Kältebedarfe** der Büros im Zeitraum von 2021 bis 2050 nur um maximal 30 % zu, während sich jene der Wohnungen auf mehr als den 2½-fachen Wert gegenüber 2021 erhöhen. Durch diese Unterschiede in der Entwicklung nähern sich die spezifischen Kältebedarfe der beiden Nutzungen im betrachteten Zeitraum – je nach Szenario - auf das Verhältnis von 1:3 bzw. 1:4 an; im Jahr 2021 ist der spezifische Kältebedarf der Büros hingegen etwa sechs Mal so hoch wie jener der Wohnungen. Dass sich die spezifischen Energiebedarfe für die Kühlung der Wohnflächen bzw. der Büroflächen in Abhängigkeit von der Entwicklung der Kühlgradtage unterschiedlich entwickeln, ist ein weiterer Grund dafür, dass sich im Zeitraum von 2021 bis 2050 die Anteile der Wohnungen und Büros am **absoluten Kältebedarf insgesamt** verschieben und der Beitrag der Wohnungen zum Kältebedarf im Jahr 2050 jenen der Büros deutlich überwiegt.

Die Büroflächen sind auch durch eine – gegenüber den Wohnflächen – **höhere spezifische Leistung für die Kühlung** gekennzeichnet, wenngleich der Unterschied zwischen den Nutzungen nicht so ausgeprägt ist wie beim Bedarf. Demnach erweist sich die **spezifische Kälteleistung** der Büros österreichweit im Jahr 2050 mit  $40 \text{ W/m}^2$  um – je nach Szenario – rund 50-70 % höher als jene der Wohnungen mit 23 bis  $27 \text{ W/m}^2$ .

Die **spezifische Leistung für die Kühlung der Büroflächen** ist unabhängig von der Anzahl an Kühlgradtagen. Demgegenüber nimmt die spezifische Leistung für die Kühlung der Wohnflächen mit steigender Anzahl an Kühlgradtagen – wenn auch nur mäßig – zu. Daher stellt sich die **spezifische Kälteleistung** der Büros im Jahr 2050 in allen Szenarien gleich hoch dar ( $40 \text{ W/m}^2$ ), während jene der Wohnungen im Jahr 2050 geringfügig – in Abhängigkeit vom Szenario – von 23 bis  $27 \text{ W/m}^2$  variiert. Folglich verzeichnen die Büros in jenen beiden Szenarien, die sich nur durch unterschiedliche Kühlgradtage auszeichnen, die gleiche **absolute Kälteleistung**; letztere variiert vornehmlich in Abhängigkeit von der räumlichen Entwicklung und dem Ausmaß an Wohn- und Büroflächen. Die **absolute Kälteleistung** der Wohnungen hingegen nimmt auch in Abhängigkeit von der Anzahl an Kühlgradtagen zu. Dies spiegelt sich auch in einer sowohl mit dem Ausmaß an Flächen als auch mit der Anzahl an Kühlgradtagen variierenden **absoluten Kälteleistung der Wohnungen und Büros insgesamt** wider.

## Sanierung und Neubau

Die Sanierung der Wohn- und Büroflächen umfasst sowohl die thermische Instandsetzung von Gebäudehüllen als auch die Verschattung von Fensterflächen; sie führt zu einer Verschiebung der Wohn- und Büroflächen von den unsanierten zu den sanierten Gebäudekategorien. Der Einfluss der **Sanierung** im Gebäudebestand wird vornehmlich in der Höhe des spezifischen Kältebedarfs sowie der spezifischen Kälteleistung der **Büros** sichtbar. Denn für die spezifischen Werte ist das Ausmaß der Flächen und deren Entwicklung nicht relevant, und im Falle der Büroflächen zeigt die steigende Anzahl an Kühlgradtagen auf den **spezifischen Kältebedarf** nur einen mäßigen und auf die spezifische Kälteleistung keinen Einfluss. Daher verringert sich **bei moderater Entwicklung der Kühlgradtage** der spezifische Kältebedarf der Büros von  $13,3 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  im Jahr 2021 auf  $12,9 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  im Jahr 2030 und steigt erst nach Ausschöpfung der Sanierungspotenziale ab 2040 wieder an, um im Jahr 2050 – je nach räumlicher Entwicklung - eine Höhe von  $14,0$  bis  $14,1 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  zu verzeichnen. Die **spezifische Kälteleistung** der Büros, die unabhängig von der Entwicklung der Kühlgradtage ist, nimmt von  $44 \text{ W/m}^2$  im Jahr 2021 auf  $40 \text{ W/m}^2$  im Jahr 2050 ab, wobei die Abnahme im letzten Jahrzehnt schwächer ausgeprägt ist, weil sich dann auch hier die Ausschöpfung der Sanierungspotenziale bemerkbar macht. Selbst die **absoluten Kälteleistungen** der Büros nehmen von 2021 bis 2040 in Anbetracht der Sanierung im Gebäudebestand ab; bis 2050 steigt die absolute Kälteleistung wieder

geringfügig an. Die Auswirkungen der Sanierung von **Wohnflächen** im Sinne eines sinkenden Kältebedarfs bzw. sinkender Kälteleistungen der Wohnungen werden nicht so deutlich, weil vornehmlich die steigende Anzahl von Kühlgradtagen eine vergleichsweise starke Zunahme des Kältebedarfs bzw. der Kälteleistung zur Folge hat, die den Einfluss der Sanierung kompensiert.

Nicht nur durch die Sanierung im Gebäudebestand, sondern auch durch die räumliche Entwicklung verändert sich die Verteilung der Wohn- und Büroflächen auf die verschiedenen Gebäudekategorien. Vornehmlich **bei dynamischer räumlicher Entwicklung** entfällt ein nennenswerter Anteil der Gebäude auf **Neubauten** mit hohen energetischen Standards und einem hochwertigen Schutz vor solarer Einstrahlung mit vergleichsweise niedrigen spezifischen Energiebedarfen und Leistungen für die Kühlung. Dies trifft sowohl auf die Wohnungen als auch auf die Büros zu. Dies führt dazu, dass die **spezifischen Kältebedarfe** und die **spezifischen Kälteleistungen** in den Szenarien mit dynamischer räumlicher Entwicklung jeweils geringfügig niedriger sind als in den Szenarien mit moderater räumlicher Entwicklung.

### 5.4.3. Schlussfolgerungen

Die eingehende Auseinandersetzung mit dem urbanen Kältebedarf und den vielfältigen Facetten seines Auftretens schafft eine fundierte **Grundlage für die Formulierung energie- und klimapolitischer Strategien**. Dabei ist angesichts der räumlichen Verteilung von Kältebedarf und Kälteleistung innerhalb Österreichs die Problemlage räumlich differenziert zu beurteilen; besondere Herausforderungen zeichnen sich in Ostösterreich bzw. in den größeren Städten unseres Landes ab. Aus diesem Grund erscheint für die Formulierung strategischer Überlegungen zum Umgang mit dem Kältebedarf eine **räumlich differenzierte Herangehensweise** zielführend. Denn der räumliche Kontext bestimmt die Optionen zur **Sensibilisierung und Integration der Bevölkerung**, um beispielsweise Akzeptanz für eine Anpassung unserer Lebensstile bzw. Komfortansprüche oder für adaptive Komfortmaßnahmen, aber auch für gemeinschaftliche, statt individueller Lösungen zur Abdeckung des Kältebedarfs zu gewinnen. Die Ausgestaltung bestehender Siedlungsräume beeinflusst die Möglichkeiten zur Umsetzung von **Maßnahmen der grünen und blauen Infrastruktur**, um die Entstehung urbaner Hitzeinseln durch die Integration von Grünflächen und Wasser in unsere Siedlungen bestmöglich zu verhindern. Bauliche (und die damit verbundenen Eigentümer-) Strukturen sind maßgeblich für die **Umsetzbarkeit von Sanierungsmaßnahmen** im Gebäudebestand. Vorhandene räumliche Strukturen bilden den Rahmen für die **künftige Entwicklung von Wohnungen und Büros**, die sich stärker als bisher an den Prämissen des Klimaschutzes und der Klimawandelanpassung orientieren muss. Die räumlichen Gegebenheiten eröffnen oder unterbinden nicht nur den **Einsatz geeigneter Technologien** zur Abdeckung des Kältebedarfs, beispielsweise die leitungsgebundene Kälteversorgung, gewisse Optionen zur Rückkühlung oder bestimmte Systeme zur gekoppelten Wärme- und Kälteaufbringung, sondern auch zur **Eigenerzeugung** mit der für den Betrieb von Kältesystemen erforderlichen elektrischen Energie. Letztlich sind die **Adressaten für die Entwicklung und Umsetzung strategischer Ansätze** zur Deckung des Kältebedarfs einschließlich der Schaffung der entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen und finanziellen Förderinstrumente je nach Kompetenzverteilung auf unterschiedlichen gebietskörperschaftlichen Hierarchieebenen und in unterschiedlichen räumlichen Kontexten verortet.

## 5.5. Technologieanalyse und -bewertung

Alle aus dem Arbeitspaket der Technologieanalyse und -bewertung gewonnenen Erkenntnisse sind im **Bericht E4.1 – Technologieanalyse und -bewertung** festgehalten. Das Kernstück stellen hier die Technologieprofile zu den einzelnen Kühltechnologien dar. Zusammenfassende Ergebnisse werden in den darauffolgenden Übersichtstabellen dargestellt. Der Methodenteil am Ende des Berichts erläutert die verwendeten Materialien und Methoden zur Kennzahlberechnung.

Es zeigt sich, dass einige der vorgestellten Kühltechnologien in Österreich derzeit noch wenig Relevanz haben. Dazu zählen etwa kühle Hüllmaterialien, hinterlüftete Fassaden, Mikrokühlung und individuelle Komfortregelung, Verdunstungskühlung, Sky Radiative Cooling, Adsorptionskältemaschinen und Absorptionskältemaschinen in kleinen Leistungsgrößen. Dies liegt daran, dass die angesprochenen Technologien entweder noch nicht bewusst zur Gebäudekühlung eingesetzt werden, weil ihr hiesiges Kühlpotential zu wenig bekannt (z. B. kühle Hüllmaterialien, hinterlüftete Fassaden, Mikrokühlung und individuelle Komfortregelung, Sky Radiative Cooling) oder zu niedrig (z. B. Verdunstungskühlung) ist, die Verfügbarkeit gering ist (z. B. Sky Radiative Cooling), ein sinnvoller Einsatz nur unter bestimmten Bedingungen möglich ist (z. B. Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen) oder die Kosten zu hoch sind im Vergleich zu anderen etablierten Kühltechnologien (z. B. Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen). Als Orientierung zur Eignung und derzeitigen Verbreitung verschiedener Kühlmaßnahmen in Österreich wurde die Relevanz der Maßnahmen durch das Projektteam eingeschätzt.

Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten immer zuerst passive Kühlmaßnahmen oder Maßnahmen zur Komfortverbesserung in Erwägung gezogen werden, die im Betrieb keine oder nur sehr geringe Treibhausgasemissionen verursachen und so nicht selbst zum Teil des Problems werden. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Verschattung, die natürliche Lüftungskühlung und die Komfortverbesserungen jenseits des physikalischen Wärmeentzuges, die energieeffizient und überall einsetzbar sind. Der sinnvolle Einsatz von kühlen Hüllmaterialien und Sonnenschutzverglasungen ist individuell abzuwägen und kann ebenfalls Wärmegewinne effizient reduzieren. Nur nach Ausschöpfung dieser und anderer passiver Möglichkeiten sollte auf aktive Kühlmaßnahmen zurückgegriffen werden.

An dieser Stelle können die Übersichtstabellen zu den Kühltechnologien als Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse herangezogen werden, vgl. Tabelle 3 bis Tabelle 9. genauere und differenzierte Angaben sowie ggf. Literaturverweise zu den angegebenen Werten finden sich in den jeweiligen Technologieprofilen im **Bericht E4.1 – Technologieanalyse und -bewertung**. Ergebnisse aus eigenen Berechnungen des Projektteams zur Veranschaulichung insbesondere verschiedener passiver Kühltechnologien sind per Fußnote gekennzeichnet. Wichtige Hinweise zu den Kennzahlen sind den Vorbemerkungen am Anfang des einschlägigen Berichts zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zur Verminderung von Wärmeeinträgen in den Innenraum, Teil 1.

Technologie	Verschattung	Kühle Hüllmaterialien	Sonnenschutzverglasung
<b>Kapitel</b>	1.1	1.2	1.3
<b>Relevanz in Österreich</b>	hoch	niedrig	mittel
<b>vermiedener spezifischer Wärmeeintrag [kWh/(m<sup>2</sup>-a)]</b>	Rollläden mit F <sub>C</sub> -Wert 0,26: 4,6 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> ·a) <sup>a</sup>	kühle Wand mit Albedo 0,6: 1,5 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> ·a) <sup>a,b</sup> kühle Wand mit Albedo 0,7: 3,0 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> ·a) <sup>a,b</sup>	Sonnenschutzglas mit g-Wert 0,42: 2,7 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> ·a) <sup>a</sup> Sonnenschutzglas mit g-Wert 0,33: 3,8 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> ·a) <sup>a</sup>
<b>Platzbedarf</b>	gering	nein	nein
<b>Feuchterisiko</b>	nein	nein	nein
<b>Investitionskosten netto [€/Bezugsgröße]</b>	Außenliegend: 660 €/m <sup>2</sup> Innenliegend: 250 €/m <sup>2</sup>	Fassadenanstrich neu inkl. Gerüst: 35-50 €/m <sup>2</sup>	750 €/m <sup>2</sup> inkl. Demontage und Montage
<b>Wartung /Betriebskosten netto [€/Bezugsgröße]</b>	-	-	-
<b>Energiekosten [€/kWh Kälte]</b>	keine bis sehr gering	nein	keine bis sehr gering

<sup>a</sup> Ergebnis aus IDA ICE-Simulationen des Projektteams für eine beispielhafte Wohnung mit 140 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche (WNF) im Regelgeschoß eines mehrstöckigen Gebäudes unter Einsatz von Nachtlüftung. Die Annahmen hinsichtlich der Eigenschaften des Gebäudes sind dem Methodikteil des Berichts E4.1 (Kapitel 7.1.2) zu entnehmen. Die Ergebnisse besitzen keine Allgemeingültigkeit und dienen allein dem Vergleich verschiedener passiver Kühltechnologien an einem beispielhaften Gebäude.

<sup>b</sup> Die Wirksamkeit der kühlen Wand hängt stark vom U-Wert der Bestandwand sowie dem Fensterflächenanteil an der Fassade ab, wie eine Sensitivitätsanalyse für eine kühle Außenwand mit einer Albedo von 0,7 gezeigt hat: so bewirkt diese kühlende Oberfläche der Wand bei einem U-Wert der Außenwand von 0,2 W/(m<sup>2</sup>·K) anstatt von 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K) lediglich einen vermiedenen spezifischen Wärmeeintrag von 0,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>·a) bzw. bei einem Fensterflächenanteil von 50 % anstatt von 17 % einen vermiedenen spezifischen Wärmeeintrag von 2,6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>·a). Ein ähnliches Verhalten ist auch für den Fall mit einer Albedo von 0,6 zu erwarten.

Tabelle 4: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zur Verminderung von Wärmeeinträgen in den Innenraum, Teil 2.

Technologie	Hinterlüftete Fassaden	Gebäudebegrünung
<b>Kapitel</b>	1.4	1.5
<b>Relevanz in Österreich</b>	niedrig bis mittel	niedrig für Gebäudekühlung, hoch für Mikroklima
<b>vermiedener spezifischer Wärmeeintrag [kWh/(m<sup>2</sup>-a)]</b>	-	-
<b>Platzbedarf</b>	dickere Außenwandstärken	meist hoher Flächenbedarf für Gründächer, Fassadenbegrünung ragt in den Straßenraum hinein
<b>Feuchterisiko</b>	senkt das Feuchterisiko sogar	Bewässerung und Pflanzensubstrat stellt potentielle Feuchtequelle dar, gute Planung und Ausführung notwendig
<b>Investitionskosten netto [€/Bezugsgröße]</b>	300-400 €/m <sup>2</sup>	Dach-begrünung: 30-50 €/m <sup>2</sup> (extensiv), 150-200 €/m <sup>2</sup> (intensiv), bodengebundene Fassadenbegrünung: 15-35 €/m <sup>2</sup> (Selbstkletterer), 80-250 €/m <sup>2</sup> (Systeme mit Gerüstkletterpflanzen), wandgebundene Fassaden- begrünung: 300-2000 €/m <sup>2</sup>
<b>Wartung/Betriebskosten netto [€/Bezugsgröße]</b>	-	Pflege Fassadenbegrünung 10- 40 €/m <sup>2</sup> -a)
<b>Energiekosten [€/kWh Kälte]</b>	nein	gering

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zur Komfortverbesserung jenseits des physikalischen Wärmeentzugs.

<b>Technologie</b>	<b>Komfortlüftung und erhöhte Luftbewegung</b>	<b>Mikrokühlung und individuelle Komfortregelung</b>
<b>Kapitel</b>	2.1	2.2
<b>Relevanz in Österreich</b>	mittel	niedrig bis mittel
<b>empfundene Temperaturreduktion [°C]</b>	bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,6 m/s: 1,2 °C, bei 0,9 m/s: 1,8 °C, bei 1,2 m/s: 2,2 °C	bis zu 5 °C je nach System
<b>Zugluftrisiko</b>	ja	ja
<b>Lärmbelästigung Innenraum</b>	abhängig vom Ventilator	bei Einsatz von Ventilatoren: abhängig vom Ventilator
<b>Platzbedarf</b>	Komfortlüftungsanlagen: hoch; andere: gering	gering
<b>Feuchterisiko</b>	nein	Kondensationsrisiko bei Flächenkühlungen beachten
<b>Investitionskosten netto [€/kW installierte Leistung]</b>	3000 €/Komfortlüftungsgerät	sehr divers
<b>Energiekosten [€/kWh Kälte]</b>	gering	gering
<b>ökologisch/gesundheitlich bedenkliche Substanzen &amp; Materialien am Einsatzort</b>	nein	bei Verwendung von PCM: PCM (toxisch, brennbar)

Tabelle 6: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zum physikalischen Wärmeentzug aus Innenräumen, Teil 1.

Technologie	Lüftungskühlung	Verdunstungskühlung	Sky Radiative Cooling
<b>Kapitel</b>	3.1	3.2	3.3
<b>Relevanz in Österreich</b>	Nachtlüftung: hoch, Tageslüftung: niedrig	niedrig, indirekte Verdunstungskühlung bei Abluft- Wärmerück- gewinnung: mittel	niedrig
<b>spezifischer Wärmeentzug [kWh/(m<sup>2</sup>-a)]</b>	Nachtlüftung: 8,6 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>WNE</sub> ·a) <sup>c</sup>	-	-
<b>spezifische maximale Kühlleistung [kW/Bezugsgröße]</b>	-	-	23-120 W/m <sup>2</sup> Kollektorfläche für PV/T und Solarkollektoren mit Wasser als Wärmeträger- medium, 20-30 W/m <sup>2</sup> Kollektorfläche für Radiatoren mit Luft als Wärmeträger- medium
<b>Zugluftrisiko</b>	ja	nein	nein
<b>Lärmbelästigung Innenraum</b>	nein	bei direkter Verdunstungskühlung im Raum mittels Ventilatoren oder Düsen möglich	nein
<b>Platzbedarf</b>	Fensterlüftung: keiner, mechanische Lüftung: Platzbedarf für Außenluftauf- bereitung und Zuluft- sowie Abluftkanäle	Platzbedarf für direkte, indirekte und zweistufige Verdunstungskühlung mittel, für PDEC- Anlagen eher hoch	Flächenbedarf am Dach, Platz für Kälteverteilnetz und evtl. Pufferspeicher
<b>Lärmbelästigung Außenraum</b>	bei mechanischer Lüftung gering	bei Integration in mechanische Lüftung gering	nein

Technologie	Lüftungskühlung	Verdunstungs- kühlung	Sky Radiative Cooling
<b>Hitzeemissionen Außenraum</b>	nein	nein	ja
<b>Feuchterisiko</b>	senkt das Feuchterisiko sogar	Verdunstungswasser stellt Feuchtequelle dar	nein
<b>Wartung/Betriebskosten netto [% der Investitionskosten/a]</b>	mechanische Wohnraumlüftung ohne aktive Kühlung oder Befeuchtung: 1,5-2 % der Investitionskosten pro Jahr	-	-
<b>Energiekosten [€/kWh Kälte]</b>	keine bis gering	gering	gering
<b>ökologisch/gesundheitlich bedenkliche Substanzen &amp; Materialien am Einsatzort</b>	nein	Keimbildung im Verdunstungswasser möglich	nein
<b>ökologische Folgen am Einsatzort</b>	nein	Wasserverbrauch	nein

<sup>c</sup> Ergebnis aus IDA ICE-Simulationen des Projektteams für eine beispielhafte Wohnung mit 140 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche (WNF) im Regelgeschoß eines mehrstöckigen Gebäudes. Die Annahmen hinsichtlich der Eigenschaften des Gebäudes sind dem Methodikteil des Berichts E4.1 (Kapitel 7.1.2) zu entnehmen. Die Ergebnisse besitzen keine Allgemeingültigkeit und dienen allein dem Vergleich verschiedener passiver Kühltechnologien an einem beispielhaften Gebäude.

Tabelle 7: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zum physikalischen Wärmeentzug aus Innenräumen, Teil 2.

Technologie	Kompressions- kälte- maschinen	Adsorptions- kälte- maschinen	Absorptions- kälte- maschinen	Natürliche Wärmesenken
<b>Kapitel</b>	3.4	3.5	3.6	3.7
<b>Relevanz in Österreich</b>	hoch	niedrig	Einzelanlagen für Gebäude: niedrig, Fernkälteerzeugung: mittel	(Sole-)Erdwärmeübertrager und Grundwasser: hoch, Oberflächengewässer/Deep Lake Cooling: mittel, Erdreich-Luftregister und Dachteiche: niedrig
<b>spezifischer Wärmeentzug [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	beliebig	beliebig	beliebig	-
<b>spezifische maximale Kühlleistung [kW/Bezugsgröße]</b>	max. 8 MW pro Maschine	max. 350 kW pro Maschine	max. 6 MW pro Maschine	Erdsonden: 22-63 W/m Sondenlänge, horizontale Erdwärmeübertrager: 17-35 W/m Rohrlänge, Erdreich-Luftregister: 45 W/m <sup>2</sup> Kollektorfläche
<b>Leistungszahl</b>	EER: 1,7-6,5 SEER: 3-9	Wärmeverhältnis: 0,5-0,9	Wärmeverhältnis: 1,8-2,5	-
<b>Platzbedarf</b>	mittel	mittel	mittel	hoch
<b>Lärmbelästigung Außenraum</b>	bei luftgekühlten Anlagen ja	bei luftgekühlten Anlagen ja	bei luftgekühlten Anlagen ja	nein
<b>Hitzeemissionen Außenraum</b>	bei luftgekühlten Anlagen ja	bei luftgekühlten Anlagen ja	bei luftgekühlten Anlagen ja	nein

Technologie	Kompressions- kälte- maschinen	Adsorptions- kälte- maschinen	Absorptions- kälte- maschinen	Natürliche Wärmesenken
<b>Investitions- kosten netto [€/kW installierte Leistung]</b>	800 €/kW	bis 1.750 €/kW	bis 2.250 €/kW	Erdsonden: 75-90 €/lfm inkl. Zusammenführung und Glykolfüllung, Flächenkollektoren: 30-45 €/m <sup>2</sup>
<b>Wartung/ Betriebskosten netto [€/kW installierte Leistung]</b>	3-5 % der Investitions- kosten pro kW Kälteleistung und Jahr für wartungs- intensivere Maschinen	1 % der Investitions- kosten pro kW Kälteleistung und Jahr	-	-
<b>Energiekosten [€/kWh Kälte]</b>	bei Strompreis 0,20 €/kWh und SEER 4 – 2: 0,05 – 0,10 €/kWh brutto, bei Strompreis 0,40 €/kWh und SEER 4 – 2: 0,10 – 0,20 €/kWh brutto <sup>d</sup>	bei Nutzung von Wärme aus Solarthermie oder Abwärme gering	bei Nutzung von Wärme aus Solarthermie oder Abwärme gering	gering
<b>TEWI</b>	bei einer SEER von 2: 2.284 kg CO <sub>2</sub> -eq. <sup>e</sup> bei einer SEER von 4: 1.142 kg CO <sub>2</sub> -eq. <sup>e</sup>	hauptsächlich abhängig von der Wärmequelle für den thermischen Verdichter	hauptsächlich abhängig von der Wärmequelle für den thermischen Verdichter	-
<b>ökologisch/ gesundheitlich bedenkliche Substanzen &amp; Materialien am Einsatzort</b>	Kältemittel, Schmiermittel	nein	Lösungsmittel (Lithium- bromid) oder Kältemittel (Ammoniak)	nein

<b>Technologie</b>	<b>Kompressions- kälte- maschinen</b>	<b>Adsorptions- kälte- maschinen</b>	<b>Absorptions- kälte- maschinen</b>	<b>Natürliche Wärmesenken</b>
<b>ökologische Folgen am Einsatzort</b>	Erwärmung der Wärmesenke (Grund-, Oberflächen- gewässer)	Erwärmung der Wärmesenke (Grund-, Oberflächen- gewässer)	Erwärmung der Wärmesenke (Grund-, Oberflächen- gewässer)	Erwärmung der Wärmesenke (Grund-, Oberflächen- gewässer)

<sup>d</sup> s. Kapitel 7.2.3 im Bericht E4.1 für die Berechnung der spezifischen Stromkosten (in diesem Fall der sog. Kältegestehungskosten).

<sup>e</sup> für eine Kältemaschine mit R717, R290, R600A oder R1234ze(E) als Kältemittel, die den mittels IDA ICE Simulationen berechneten Kältebedarf der beispielhaften Wohnung mit 140 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche (WNF) im Regelgeschoß eines mehrstöckigen Gebäudes unter Einsatz von Nachtlüftung deckt. Für eine genaue Beschreibung aller Annahmen in der Berechnung siehe den Methodikteil (Kapitel 7.3.1) des Berichts E4.1. Die Ergebnisse besitzen keine Allgemeingültigkeit und dienen allein dem Vergleich von Maschinen mit unterschiedlicher Effizienz und Kältemitteleigenschaften anhand des Kältebedarfs einer beispielhaften Wohnung.

Tabelle 8: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Kälteabgabesystemen, Teil 1.

Technologie	Direktverdampfer	Kühlkonvektoren	Gebläsekonvektoren	Heizkörper
<b>Kapitel</b>	3.8.2	3.8.3	3.8.4	3.8.5
<b>spezifische maximale Kühlleistung [kW/Bezugsgröße]</b>	Splitgeräte: 1-5 kW/Inneneinheit, VRF-Systeme: 11-180 kW/Außeneinheit	passiv: 70 W/m <sup>2</sup> , aktiv: 200 W/m <sup>2</sup>	90 W/m <sup>2</sup>	Gebläseunterstützte Niedertemperaturheizkörper: 250 W/Heizkörper
<b>Zugluftrisiko</b>	ja	ja	ja	nein
<b>Lärm-belästigung Innenraum</b>	ja	passiv: nein aktiv: ja	ja	Heizkörper mit Gebläse: ja
<b>Platzbedarf</b>	mittel	mittel	mittel	mittel
<b>Feuchterisiko</b>	je nach Vorlauf-temperatur ist Kondensatbildung möglich; falls Entfeuchtung gewünscht ist, muss eine geeignete Kondensat-ableitung vorgesehen werden	je nach Vorlauf-temperatur ist Kondensat-bildung möglich; falls Entfeuchtung gewünscht ist, muss eine geeignete Kondensat-ableitung vorgesehen werden	je nach Vorlauf-temperatur ist Kondensat-bildung möglich; falls Entfeuchtung gewünscht ist, muss eine geeignete Kondensat-ableitung vorgesehen werden	je nach Vorlauf-temperatur ist Kondensat-bildung möglich; falls Entfeuchtung gewünscht ist, muss eine geeignete Kondensat-ableitung vorgesehen werden
<b>ökologisch/ gesundheitlich bedenkliche Substanzen &amp; Materialien am Einsatzort</b>	Kältemittel	nein	nein	nein

Tabelle 9: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Kälteabgabesystemen, Teil 2.

Technologie	Passive Nutzung thermischer Masse	Strahlungskühlung und Bauteilaktivierung
<b>Kapitel</b>	3.8.6	3.8.7
<b>spezifische maximale Kühlleistung [kW/m<sup>2</sup>]</b>	-	Boden: 42 W/m <sup>2</sup> , Wand: 72 W/m <sup>2</sup> , Decke: 99 W/m <sup>2</sup>
<b>Platzbedarf</b>	nein	kein zusätzlicher bis gering
<b>Feuchterisiko</b>	Vorlauftemperatur sollte über dem Taupunkt liegen zur Vermeidung von Kondensation	Vorlauftemperatur sollte über dem Taupunkt liegen zur Vermeidung von Kondensation

## 5.6. Machbarkeitsstudie an 5 Stadtquartieren

Für jedes Stadtquartier gibt es eine eigene Machbarkeitsstudie (vgl. E5.1 – E5.5 Machbarkeitsstudie), in der Bestandsanalyse, Systementscheid und Kostenberechnung im Detail angeführt sind.

Nachfolgende Kapitel zeigen eine übergeordnete Zusammenfassung der Ergebnisse.

### 5.6.1. Systemübersicht

Als Basis für die nachstehende Tabelle dienen die Recherchen der Technologieanalyse und -bewertung (siehe Kapitel 5.5).

Tabelle 10 zeigt mögliche passive Systeme („Vermeidung von Wärmeeinträgen in Innenräume“) mit deren Relevanz in Österreich, einer Kategorisierung des Platzbedarfes und Vor- und Nachteilen.

Tabelle 10: Systemübersicht passive Maßnahmen

Passive Maßnahmen	Verschattung	Sonnenschutzverglasung	Kühlende Hüllmaterialien	Hinterlüftete Fassaden	Gebäudebegrünung
Relevanz in Österreich	hoch	mittel	niedrig	niedrig bis mittel	niedrig für Gebäude, hoch für Mikroklima
Platzbedarf	gering	keiner	keiner	dickere Außenwände	Platz für Bepflanzung
Vorteile	keine Zugluft, keine Lärmemission, keine Antriebsenergie, keine ökologisch nachteilige Wirkung am Einsatzort, keine Hitzeemission im Außenraum				
	individuell regelbar		einfach bei Sanierung umzusetzen		wirkt positiv auf die Umgebung
Nachteile	- Nachrüstung oft teuer und vom Gebäudeeigentümer(in) zu genehmigen - bei Hochhäusern nur mit vorgesetzter Fassade möglich	- schlechtere Nutzung solarer Gewinne im Winter - keine Regelbarkeit - kann Farbwiedergabe beeinflussen	- Wirkung wird durch Verschmutzung stark reduziert	- im Bestand oft nicht nachrüstbar - Platzbedarf - bei schlechter Durchströmung gegensätzlicher Effekt	

Die Verschattung und die Sonnenschutzverglasung wurden in allen Studien über den Kennwert  $g_{\text{total,Fassade}}$  bei der Ermittlung der Kühllasten und des Kältebedarfs zu einem bestimmten Anteil berücksichtigt.

Die Effekte von kühlenden Hüllmaterialien und hinterlüfteten Fassaden stellen optische Veränderungen an der Fassade sowie einen hohen Kostenfaktor dar und werden daher nicht als Maßnahmen vorgeschlagen.

Gebäudebegrünung hat einen positiven Effekt auf das Außenklima und wäre somit ggf. in den Kühlgradtagen zu berücksichtigen, wird jedoch nicht in die Auswertung miteinbezogen.

Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 geben eine Übersicht, welche Systeme grundsätzlich für die Kälteversorgung eines Objekts zur Verfügung stehen („Physikalischer Wärmeentzug aus Innenräumen“), wobei nicht übliche Technologien wie Absorptionskältemaschinen etc. in der grundsätzlichen Systemübersicht nicht berücksichtigt wurden.

Tabelle 11: Systemübersicht Wärmeentzug

Kälteerzeugung	Kompressionskälte quartiers- bzw. gebäudezentral							dezentrale Splitgeräte
	Fernkälte	alle nachstehenden	Luft-Rückkühler	Geothermie	Brunnenwasser	RK in Fernwärmenetz	RK in Anergie-netz („kalte Fernwärme“)	
Abwärme								
Einschränkung	Anschlussmöglichkeit nicht oft gegeben; große Anschlussleistungen für wirtschaftlichen Anschluss erforderlich	größerer Platzbedarf als Fernkälte	Rückkühlung Aufstellung im Außenbereich erforderlich	Flächenbedarf für Erdsonden muss vorhanden sein	Grundwasserverfügbarkeit; Abstand zwischen Brunnen (Entnahme und Rückgabe) ist erforderlich	Wenn Fernwärme vorhanden, Zustimmung/ Abstimmung Fernwärme erforderlich		Aufstellung im Außenbereich; nicht mit Heizungssystem oder Flächenkühlung kombinierbar
Schallemissionen Rückkühlung (RK)	Nein	-	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Vorteile	- Keine Kälteerzeugung im Gebäude → geringerer Technikflächenbedarf - kein RK am Standort erforderlich → keine Aufstellfläche erforderlich, keine Schallemissionen	-	- erprobtes System	- keine Produktion von „Umweltwärme“ - Nutzung natürlicher Ressourcen	- keine Aufstellflächen für RK erforderlich - Keine Produktion von „Umweltwärme“	- keine Aufstellflächen für RK erforderlich - Keine Produktion von „Umweltwärme“	- Minimierung des Erdsondenfeldes möglich - keine Aufstellflächen für RK erforderlich - keine Produktion von „Umweltwärme“	- geringe Verteilverluste

Kälteerzeugung	Kompressionskälte quartiers- bzw. gebäudezentral						dezentrale Splitgeräte	
	Fernkälte	alle nachstehenden	Luft-Rückkühler	Geothermie	Brunnenwasser	RK in Fernwärmenetz		RK in Anergie-netz („kalte Fernwärme“)
Abwärme								
Nachteile	- Hohe Betriebskosten - keine Regeneration für Geothermie Wärmepumpe - Verteilverluste Fernkältenetz	-	- Schallemissionen - Produktion von „Umweltwärme“ durch Rückkühlung - Flächenbedarf Technik	- Errichtungskosten - Flächenbedarf (Technik und Erdsonden)	- Wasserverbrauch		- zusätzliches Leitungsnetz erforderlich	- Einzellösung → viele Geräte; kein Synergieeffekt

Tabelle 12: Systemübersicht Kälteabgabe

Kälteabgabe	Bauteilaktivierung	Kühldecke/Kühlsegel	Fußbodenheizung/Fußboden kühlung change-over	Gebälsekonvektoren	„Fassadenkühlung“	Mechanische Lüftung mit Kühlregister
Einschränkung	Im Neubau möglich	Ausreichende Raumhöhe erforderlich	Bei vorhandener Fußbodenheizung	Geringere Leistungen ohne	Bei Fassadensanierung	Große Luftleitungen notwendig
Wärmeträgermedium	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser oder Kältemittel	Wasser	Luft
Schallemissionen	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja

Tabelle 13: Systemübersicht Kälteverteilung

Kälteverteilung	Bestandsheizungsleitung	Neue Leitungen		
		Kamin	Stiegenhaus	Fassade
Einschränkung	Im Change-over Betrieb; nur möglich, wenn Warmwasserbereitung separat erfolgt; Dimensionen müssen ausreichend sein; hohe Vorlauftemperatur zur Vermeidung von Kondensat erforderlich → geringerer Kühleffekt	Nur möglich, wenn keine Nutzung für gas- oder holzbefeuerte Anlagen vorhanden sind	Zusätzlicher Platzbedarf/neue Steigstränge erforderlich; Einhaltung der Fluchtwege	Erscheinungsbild, in Schutzgebieten/Denkmalchutz nicht möglich. Sinnvoll in Verbindung mit neuer Wärmedämmung.

Auf Seiten der Kälteerzeugung sollten dezentrale Splitklimagesäte soweit möglich vermieden werden. Nicht nur die Auswirkung auf die Architektur (diese Systeme benötigen für jede Wohn- bzw. Mieteinheit ein eigenständiges Außengerät, das häufig an der Fassade oder am Balkon montiert wird), sondern auch die damit verbundene höhere Menge an Kältemittel und die fehlende Eingriffsmöglichkeit an zentraler Stelle, sprechen dagegen.

Fernkältenetze sind derzeit nur sehr vereinzelt vorhanden, bieten jedoch in sehr dicht bebauten Gebieten mit wenig Rückkühlmöglichkeiten eine gute Alternative zur dezentralen Abwärmeabgabe an die Außenluft.

Für Kompressionskältemaschinen stehen verschiedene Arten der Abwärmeabgabe (Rückkühlung) zur Verfügung, die unten genauer erläutert werden.

Im Hinblick auf die Kälteabgabe ist eine Fassadenkühlung dann sinnvoll, wenn das Heizsystem auf eine Wärmepumpe umgestellt werden soll und damit die bestehenden Heizkörper mit niedrigeren Vorlauf-Temperaturen betrieben werden können, d. h., eine Fassadenheizung errichtet wird, die im Change-Over als Fassadenkühlung verwendet wird.

Sollte das Gebäude nicht saniert, sondern abgerissen und neu errichtet werden, stellen Bauteilaktivierung oder Fußbodenkühlung die besten Möglichkeiten dar (sofern es sich nicht um einen Neubau handelt, bei dem eines dieser beiden Systeme umgesetzt wurde). Andernfalls müssten für den Einsatz dieser zwei Systeme große Sanierungsmaßnahmen in den Innenräumen durchgeführt werden.

Kühlsegel oder Kühldecken können gut im Bestand installiert werden, wenn die Raumhöhe ausreichend ist. Der Vorteil ist, dass somit im Bestandsgebäude die Möglichkeit einer Flächenkühlung geschaffen werden kann.

Gebälsekonvektoren stellen die einfachste Möglichkeit dar, eine Kälteabgabe im Raum umzusetzen. Die Montage kann je nach Platz an der Decke oder im Parapet-Bereich erfolgen. Der Nachteil ist die durch das Gebläse entstehende Lärmemission. Werden die Gebläse-Konvektoren (auch Fan Coils genannt) mit Temperaturen unter dem Taupunkt betrieben, so kann eine Entfeuchtung des Raumes stattfinden. Eine Kondensatableitung ist dann herzustellen.

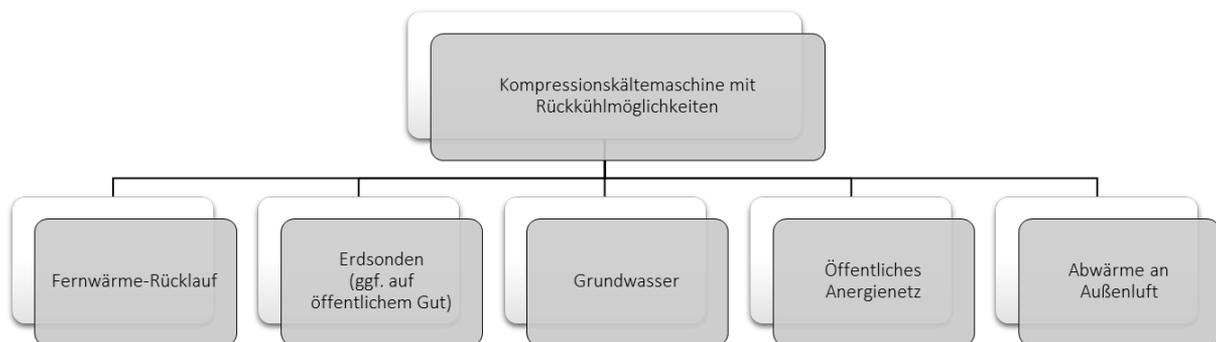
Mechanische Lüftungsanlagen mit Kühlregister werden in den meisten Fällen nur in Büroobjekten eingesetzt, wo bereits eine Lüftungsanlage vorhanden ist. Die nachträgliche Installation einer Lüftungsanlage ist meist mit hohem Aufwand und Platzbedarf für die Lüftungskanäle verbunden. Kälte sollte generell über flüssige Medien und nicht über Luft transportiert werden.

Eine Herausforderung stellt oft die Leitungsführung für die Kälteleitungen dar. Die einfachste Möglichkeit ist die Bestandsheizungsleitungen im change-over zu verwenden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn nicht die Warmwasserbereitung dezentral über diese Leitungen erfolgt und die Vorlauftemperatur für die Kälte so hoch ist, dass es zu keinen Taupunktunterschreitungen kommen.

Neue Leitungen je nach vorhandenem Platz im Stiegenhaus, an der Fassade oder über stillgelegte Kamine geführt werden.

Für den Abtransport der Abwärme von Kompressionskältemaschinen stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten zur Verfügung (siehe Übersicht in Abbildung 33).

Abbildung 33: Rückkühlmöglichkeiten



Die Variante der Rückkühlung an den **Fernwärme-Rücklauf** stellt eine einfache Möglichkeit dar, die Abwärme der Kälte auch zu nutzen. Es muss allerdings die Abwärme der Kälteanlage (Rückkühlung) auf die richtige Temperatur (üblicherweise ein hohes Temperaturniveau) gebracht werden. Dies wirkt sich zwar nachteilig auf die Effizienz der Kompressionskältemaschine aus, wenn die Abwärme genutzt werden kann, ist dies jedoch sinnvoll. Grundvoraussetzung für eine Umsetzung ist die Zustimmung des Fernwärmeversorgers. Es gibt keine Verpflichtung für die Energieversorger, eine Abwärmeeinspeisung in den Rücklauf zu genehmigen.

Häufig wird die **Nutzung des Erdreichs (Geothermie)** als Wärmesenke angestrebt. Um das Geothermiepotezial am Standort abzuschätzen, sind freie Flächen (ohne Baumbestand) mit guter Zugänglichkeit zu ermitteln. Die mögliche Sondenanzahl in innerstädtischen Gebieten ist stark beschränkt und häufig sind zusätzliche Wärmesenken erforderlich. In Wien besteht die Möglichkeit – gegen ein Entgelt – Sonden auf öffentlichem Grund zu errichten, damit können zB Parkplätze etc. verwendet werden.

Für die **thermische Grundwassernutzung** ist eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich. Es ist ein Entnahmebrunnen und ein Rückgabebunnen erforderlich, die eine räumliche Trennung benötigen. Eine erste Abschätzung, ob Grundwassernutzung in einem Gebiet möglich ist, zeigen die Angaben zu anderen Nutzungen im online öffentlich zugänglichen Wasserbuch. Je nach Region ist die thermische Grundwassernutzung einfacher möglich. Steigende Grundwassertemperaturen vor allem im Osten des Landes führen häufig zu strengen Auflagen und begrenzten Entnahmemengen.

**Anergienetze** oder sogenannte Kalte Fernwärmenetze stellen eine Möglichkeit dar, die Abwärme von Kühlaggregaten zusammenzufassen und bestenfalls andernorts als Quelle zur Wärmebereitstellung zu nutzen. Dazu müsste jedoch ein weiteres Leitungsnetz errichtet werden. In Kombination mit der Zielsetzung Städte zu dekarbonisieren, ergibt sich hier ein großes Anwendungspotential.

Die **Wärmeabgabe an die bereits überhitzte Außenluft der Innenstadt im Sommer sollte**, wenn andere Möglichkeiten verfügbar sind, vermieden werden, stellt jedoch derzeit oft die einzige Option dar. Neben der unmittelbaren Erwärmung der Außenluft stellt die Schallemission einen weiteren Nachteil dieser Lösung dar.

Ja nach Bauweise und Lage der Quartiere sind die Möglichkeiten der Rückkühlung eingeschränkt.

Bei Quartieren mit **offener Bauweise** steht häufig viel Fläche zwischen den Gebäuden zur Verfügung und wenn der Baumbestand nicht zu ausgeprägt ist sind Erdsonden gut möglich.

Grundwassernutzung kann je nach lokalen Gegebenheiten die günstige Alternative darstellen.

Für Quartiere in **Blockbauweise und dichte Bauweise**, wo häufig wenig Fläche zur Verfügung steht, sind öffentliche Flächen für Erdsonden oder öffentliche Netze erforderlich (Rückkühlung in FW-Rücklauf, Fernkältenetz oder Anergienetz).

## 5.6.2. Vorgeschlagene Maßnahmen

In Tabelle 14 werden für jedes Quartier die Nutzfläche für Wohnen und Büro angegeben, da nur diese Flächen gekühlt werden. Die Kälteleistung für das Jahr 2030 ist ohne Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit (GLZ) angeführt und gilt sowohl für Wohnen als auch Büro im generellen Komfortmodell (Raumsolltemperatur: 26°C Wohnen, 25°C Büro). Des weiteren sind die vorgeschlagenen Lösungen für die 5 Beispielquartiere angeführt. Es wurde auf eine hohe Diversität geachtet. Obwohl einige Rückkühlsysteme wie öffentliche Anergienetze oder Rückkühlung in den Fernwärme-Rücklauf nicht weit verbreitet sind, wird die Notwendigkeit solcher Systeme vor allem in dicht verbauten Gebieten deutlich. Für einen breiten Einsatz von Kälteenergie zeigt sich, dass Alternativen angeboten werden müssen, um die Rückkühlung an die Außenluft (zusätzliche dezentrale Erwärmung der Außenluft) so gering wie möglich zu halten.

Tabelle 14: Kälteleistungen und vorgeschlagene Systemvariante je Quartier

Quartier	Bauweise	Nutzfläche Büro/Wohnen	Kälteleistung 2030 exkl. GLZ	Systemvariante
1	offene Blockbauweise	38.400 m <sup>2</sup>	1250 kW	Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung ins <b>Grundwasser</b>
2	Block-Rand-Bebauung	13.400 m <sup>2</sup>	400 kW	Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung ins <b>öffentliche Anergienetz</b>
3	innerstädtisch dicht	23.000 m <sup>2</sup>	850 kW	V1: <b>Fernkälte</b> ; V2: Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung an <b>Erdsonden und Außenluft</b>
4	offene Bauweise	10.600 m <sup>2</sup>	260 kW	Wärmepumpe/Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung an <b>Erdsonden</b>
5	gemischt	39.000 m <sup>2</sup>	1380 kW	Kompressionskältemaschine mit Rückkühlung in den <b>Fernwärme Rücklauf</b>

Tabelle 15 und Tabelle 16 zeigen im Überblick die Bewertung der verschiedenen Rückkühlsysteme, die in den einzelnen Machbarkeitsstudien ausgearbeitet wurden.

Tabelle 15: Vor- und Nachteile der Rückkühlvarianten (Teil 1)

Quartier	1	2	3-V1
Rückkühlung	Grundwasser	öffentliches Energienetz	Fernkälte
<b>Vorteile:</b>	Nutzung von natürlichen Ressourcen	Keine Abwärme an die Umgebung	Geringer Platzbedarf am Standort
	Geringere Investitionskosten als bei Erdsonden	Geringere Verteilverluste im Vergleich zu Fernkälte	Keine Schallemissionen
	Gute Effizienz durch konstant niedrige Rückkühltemperaturen	Investitionskosten der Rückkühlung geringer als bei Erdsonden	Einfaches / erprobtes System
	Geringere Betriebskosten	Geringe Schallemissionen	Keine Produktion von „Umweltwärme“ am Standort
<b>Nachteile:</b>	Erwärmung des Grundwassers	Errichtung eines öffentlichen Netzes inklusive Wärmesenken	Nicht überall verfügbar
	Gefahr der Verschlämmung etc. der Brunnen		Hohe Betriebskosten
	Erforderliche Technikflächen (neue Technikzentralen)		Anschluss nur bei hohen Leistungen möglich (Zusammenschluss mehrerer Eigentümer:innen)

Tabelle 16: Vor- und Nachteile der Rückkühlvarianten (Teil 2)

Quartier	3-V2	4	5
Rückkühlung	Erdsonden und Außenluft	Erdsonden	Fernwärme Rücklauf
<b>Vorteile:</b>	Nutzung von natürlichen Ressourcen	Nutzung von natürlichen Ressourcen	keine Abwärme an die Umgebung
	Geringere Verteilverluste im Vergleich zu Fernkälte	Erdsonden wirken als Saisonspeicher, die gespeicherte Wärme vom Sommer dient zur Wärmeproduktion im Winter	Geringere Verteilverluste im Vergleich zu Fernkälte
	Geringere Betriebskosten als Fernkälte	Geringe Betriebskosten (vor allem bei FreeCooling)	Investitionskosten der Rückkühlung geringer als bei Erdsonden
		Keine Schallemissionen	Geringe Schallemissionen
<b>Nachteile:</b>	Produktion von „Umweltwärme“ am Standort	Investitionskosten Erdsonden	Zustimmung des Fernwärmeversorgers erforderlich
	Investitionskosten Erdsonden	Grabungsarbeiten/Bohrarbeiten in Grünflächen	Hohe Rückkühltemperaturen verringern die Effizienz des Kältesystems
	Erforderliche Technikflächen	Erforderliche Technikflächen	
	Komplexeres“ System, v. a. hinsichtlich Regelung		
	Schallemissionen		
	Nutzung öffentlicher Flächen		

Denkt man für ein Quartier eine gemeinsame Kälteversorgungslösung an, ist man häufig mit einigen Hindernissen konfrontiert.

1. Gemeinsame Einigung aller Gebäudeeigentümer auf eine Lösung (wenn nicht nur ein Eigentümer wie Wohnbaugenossenschaft etc.)
2. Technikfläche muss in einem der Objekte zur Verfügung gestellt werden
3. Servitutsrechte zwischen den vielen einzelnen Grundstücken für die Leitungsverlegung
4. Gemeinsame Beauftragung eines Wartungsunternehmens
5. Abrechnung muss durch ein übergeordnetes Unternehmen erfolgen

Dennoch stellt eine Quartierslösung die bessere Option als viele kleinteilige Anlagen dar. Es wird durch eine übergeordnete Stelle sichergestellt, dass die Anlagen ordnungsgemäß gewartet werden und eine Kontrolle der Anlageneffizienz erfolgt. Bei übergeordneten Anlagen erfolgt die Planung meist durch qualifiziertes Fachpersonal und es entsteht kein „Wildwuchs“.

### 5.6.3. Grobkosten

Die folgenden Randbedingungen gelten für die Ermittlung der **Baukosten**:

- Leistungsumfang: Kälteerzeugung für betrachtetes Stadtquartier | TGA-Kosten – KG3 Bauwerk Technik
- Schwankungsbreite:  $\pm 25\%$
- Preise in EURO netto (exkl. USt.)
- Preisbasis: 04/2024

Allgemeine Baustellengemeinkosten, Logistik (Lage, Bauphasen) sowie Planungsleistungen sind in den Kosten nicht berücksichtigt.

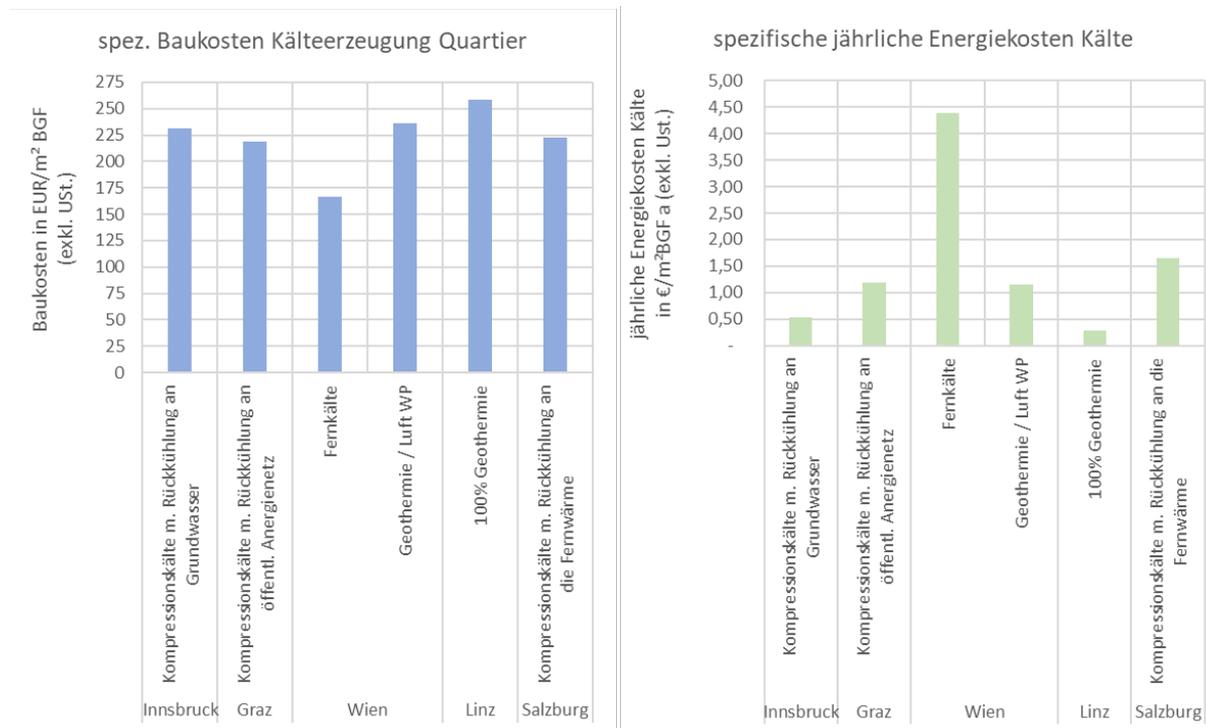
Für die Berechnung der **Energiekosten** wurden die Preise entsprechend der Preisbasis 2024 angesetzt, die Kosten für Kälte und elektrische Energie sind nachfolgend dargestellt.

- Kosten Fernkälte (Wien): 182 €/MWh | 56,83 €/(kW\*a)
- Kosten el. Energie (Wien): 8,54 Cent/kWh | 59,90 €/a

Die Preise für Fernkälte wurden der Tarifübersicht auf [www.waermepreise.at](http://www.waermepreise.at) (6) entnommen, für die Preise für den Anschluss der Rückkühlung an die Fernwärme wurden 1/5 der Kosten der Fernkälte Wien als Berechnungsgrundlage angesetzt, für die Preise des öffentlichen Anergienetzes wurden 1/4 der Kosten der Fernkälte Wien als Berechnungsgrundlage angesetzt und für die Preise elektrische Energie wurde der Tarifikalkulator der E-Control (7) verwendet.

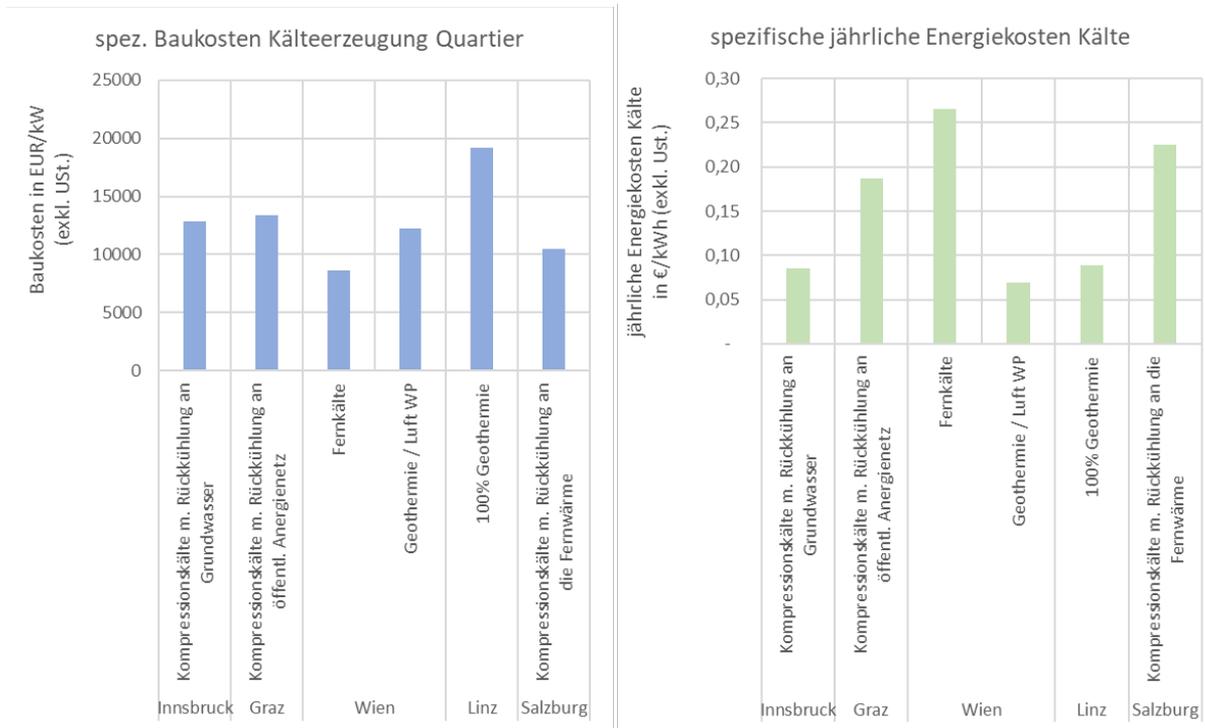
Abbildung 34 zeigt links die spezifischen Baukosten (Grobkosten je m<sup>2</sup> BGF, exkl. USt.) für das Kältesystem bestehend aus dem Gewerke Kältetechnik inklusive Anschließungskosten sowie der zugehörigen Elektrotechnik und Gebäudeautomation je Beispielquartier bzw. Systemvariante. Zur Vergleichbarkeit der Quartiere wurden Anschlusslängen von Fernkälte und öffentlichem Anergienetz mit jeweils 50m angenommen. Somit ergeben sich Baukosten zwischen 170 und 255 €/m<sup>2</sup>BGF. Dabei fallen die Kosten für Fernkälte und Grundwassernutzung am geringsten aus. Bei den Energiekosten hingegen sticht die Fernkälte mit den höchsten Betriebskosten hervor. Da in den einzelnen Quartieren die Nutzung zwischen Büro und Wohnung unterschiedlich verteilt ist und Büros höhere spezifische Kälteleistungen und höheren spezifischen Kältebedarf aufweisen fallen die Baukosten beispielsweise für die Fernwärme-Rücklaufeinspeisung je m<sup>2</sup> relativ hoch aus.

Abbildung 34: Grobkosten (links: spez. Baukosten; rechts: spez. jährliche Energiekosten) bezogen auf die Bruttogrundfläche



In Abbildung 35 wurden die Kosten daher auf die installierte Kälteleistung und den Kältebedarf bezogen. Bei der Rückkühlung ins öffentliche Energienetz und Rückkühlung in den Fernwärme Rücklauf wurden zusätzlich zu den Stromkosten der Kompressionskältemaschine auch Kosten für die Rückkühlung angenommen. Dies beruht auf Annahmen, da es dazu keine Praxisbeispiele gibt. Entsprechend niedriger fallen die Kosten hier aus, wenn es keine Preise für Rückkühlung gibt. Dass die 100% Geothermievariante spezifisch höher ausfällt als die Kombination aus Luft und Geothermie liegt daran, dass beim Quartier in Wien (Luft+Geothermie) rund 580 MWh/a Kälte produziert werden und beim Quartier in Linz (100% Geothermie) nur 70 MWh/a, daher wirken hier Pauschalkosten wie Messpreis etc. stärker.

Abbildung 35: Grobkosten (links: spez. Baukosten; rechts: spez. jährl. Energiekosten) bezogen auf die installierte Kälteleistung bzw. den Kältebedarf



# 6 Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden die gewonnenen Erkenntnisse in der Form einer Punktation prägnant zusammengefasst.

Das Kapitel richtet sich, wie die gesamte Studie, an die Auftraggeber:in der gegenständlichen Forschungsdienstleistung, also an die Verantwortungsträger:innen des Programms Stadt der Zukunft und seines Nachfolgeprogramms TIKS, und damit mittelbar an die österreichische Energie- und Forschungspolitik.

Herausforderungen, Chancen und auch mögliche Hürden werden in den Aufzählungen angesprochen.

Das Projektteam selbst baut die gewonnenen Erkenntnisse proaktiv in seine weitere Forschungs- und Beratungstätigkeit ein. Erwähnt sei an dieser Stelle die aktuelle Anbahnung eines internationalen Forschungsprogramms (Annex) mit dem Arbeitstitel „Sustainable Cooling in Cities“ im Rahmen der österreichischen IEA Forschungsk Kooperation.

- 1.) **Gebäudekühlung wird in österreichischen Städten unvermeidbar.**
  - a. Gebäudekühlung wird in österreichischen Städten für die Einhaltung eines physiologisch vertretbaren Komfortniveaus in Zukunft unvermeidbar. Das gilt für Büronutzung aber auch für Wohnnutzung. Und das gilt für den Bestand ebenso wie für den Neubau.
  - b. Der steigende Kältebedarf und seine Deckung muss daher ein Thema der politischen Arbeit werden: Hinsichtlich der Verankerung im Baurecht und in den einschlägigen Normen. Hinsichtlich der Festschreibung von verbindlichen Mindestanforderungen an die Performance von Gebäudekühlung. Hinsichtlich der Bereitstellung technischer Infrastrukturen. Hinsichtlich des klimagerechten Umbaus städtischer Außenräume. Hinsichtlich der Kommunikation mit der Bevölkerung.
  
- 2.) **Thermische Gebäudequalität ist eine essenzielle Voraussetzung für niedrigen Kältebedarf.**
  - a. Thermische Gebäudequalität, allen voran ein wirksamer Sonnenschutz, aber auch Wärmedämmung, reflektierende Oberflächen und Möglichkeiten der Nachtlüftung, ist eine essenzielle Voraussetzung sowohl bei Wohnnutzung als auch bei Büronutzung und eine entscheidende Voraussetzung zur Erzielung eines niedrigen Kältebedarfs und niedriger Kühlleistungen.
  - b. Vergleichbar mit dem Heizen muss auch beim Kühlen eine, im Sinne des Hitzeschutzes, gute thermische Gebäudequalität sichergestellt werden. Wirtschaftliche und rechtliche Hürden in der Umsetzung solcher Maßnahmen müssen identifiziert und abgebaut werden.
  
- 3.) **Bei Büronutzung ist die Minimierung der inneren Lasten essenziell.**
  - a. Bei Büronutzung sind die inneren Lasten, also die Abwärme von Personen, IT-Ausstattung und allgemeinen Stromwendungen wesentliche Treiber des

Kältebedarfs, die außerdem zeitgleich mit außeninduzierten Wärmelasten auftreten. Ihre Minimierung ist daher ein essenzieller Beitrag zur Senkung des Kältebedarfs.

- b. Es sollen technische und organisatorische Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die inneren Wärmelasten grundsätzlich und insbesondere in thermisch exponierten Räumen zu minimieren:
  - i. Grundversorgung mit Tageslichtversorgung, auch bei Sonnenschutz
  - ii. Effektive und energieeffiziente elektrische Beleuchtung
  - iii. Computerabwärme in thermisch belasteten Räumen vermeiden (Rechenleistung und Ladegeräte auslagern, effiziente Geräte anschaffen),
  - iv. Elektrische Kleinverbraucher in thermisch belasteten Räumen vermeiden (Drucker, Kleinkühlschränke, etc.).

#### **4.) Im Wohngebäudebestand wird der Energieverbrauch und der Leistungsbedarf für Kühlung sprunghaft steigen.**

- a. Bisher konnte in den Standortklimata österreichischer Städte sommerlicher Komfort in Wohngebäuden noch mit passiven Maßnahmen hergestellt werden. Nominell bestand zwar bereits ein Kältebedarf, es wurde aber noch nicht als notwendig empfunden, ihn technisch zu decken. Mit dem Klimawandel ändert sich das. Es werden in Zukunft – ohne Kühlung – Grenzen des erträglichen Komforts in Innenräumen überschritten. Das wird zu einer sprunghaft ansteigenden Nachfrage nach technischer Raumkühlung und damit zu einem sprunghaften Ansteigen des Energieverbrauchs und auch des Leistungsbedarfs für Raumkühlung führen. Besonders in Ostösterreich.
- b. Es muss die absehbare sprunghafte Nachfrage nach Systemen zur Raumkühlung in Bahnen effizienter, klimaneutraler, wirtschaftlicher und sozial verträglicher Lösungen gelenkt werden. Es muss aber auch der absehbare sprunghafte Anstieg des Energieverbrauchs für Raumkühlung ebenso klimaneutral, wirtschaftlich und sozial verträglich gedeckt werden. Es müssen proaktiv Lösungen entwickelt werden, den absehbaren sprunghaften Anstieg des Energiebedarfs für Raumkühlung in Grenzen zu halten und zweitens den Leistungsbedarf zu minimieren und netzdienlich zu gestalten. Lösungen bieten sich an mit der Nutzung der thermischen Trägheit von Gebäuden, mit Kühlung lediglich von Teilen der Wohnungen, mit der Kopplung der Kühlung an lokale solare Stromerzeugung und mit der Entwicklung von Kühllösungen, welche im saisonalen Ausgleich Wärme für Effizienzsteigerung der Heizung bereitstellen.

#### **5.) In Bürogebäudebestand wird der Energieverbrauch und der Leistungsbedarf für Kühlung graduell steigen.**

- a. Im Bürogebäudebestand sind bereits überwiegend technische Systeme der Raumkühlung im Einsatz. Mit dem Klimawandel wird sich eine graduelle Steigerung des Energieverbrauchs und des Leistungsbedarfs für Raumkühlung einstellen.
- b. Die absehbare Steigerung des Energiebedarfs für Raumkühlung ist in den technischen Infrastrukturen und in den Prognosen der Betriebskosten zu berücksichtigen. In der Dimensionierung der kältetechnischen Anlagen von Bürogebäuden muss außerdem vorausschauend auf den steigenden Kälteleistungsbedarf reagiert werden. Anlagenkomponenten sind unter Bedachtnahme auf ihre kalkulatorische Nutzungsdauer und auf die Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer späteren Nachrüstung zu planen.

- 6.) **Es ergeben sich Chancen aus Koexistenz der Energiebedarfe für Heizen und Kühlen.**
- Auf lange Sicht bleibt in den Standortklimata österreichischer Städte, saisonal verschoben, sowohl ein Energiebedarf für Raumheizung als auch ein Energiebedarf für Raumkühlung bestehen. Es ergeben sich daraus Chancen für eine gekoppelte, effiziente und klimaneutrale, Wärme- und Kälteaufbringung. Auch in Hinblick auf Dekarbonisierung.
  - Es sollen Systeme der gekoppelten Wärme- und Kälteaufbringung weiterentwickelt und breit umgesetzt werden. Diese Entwicklung soll mit Forschung und unterstützenden rechtlichen Rahmenbedingungen gefördert werden.
- 7.) **Der österreichische Energieverbrauch für Raumkühlung ist weitgehend unbekannt.**
- Es besteht in Österreich eine mangelhafte Datenlage über den Energieverbrauch für Raumkühlung. In der österreichischen Nutzenergieanalyse wird der Energieverbrauch für Raumklimatisierung zusammen mit jenem für Warmwasserbereitung ausgewiesen. Die Stromaufnahme dezentraler Kälteerzeuger wird meist zusammen mit dem Haushalts- oder Betriebsstrom gemessen.
  - Es soll eine systematische Erhebung des österreichischen Energieverbrauchs für Raumkühlung durchgeführt werden, einschließlich der Erhebung seines saisonalen und täglichen dynamischen Verlaufs. Deren Ergebnisse könnten die Simulationsergebnisse aus der gegenständlichen Studie absichern und würden eine valide Basis für weitere Berechnungen strategische Maßnahmensetzungen bilden.
- 8.) **Kühlen braucht Intelligenz und Leistungskapazitäten der Stromnetze.**
- Der Zuwachs an Anwendungen der Raumkühlung bedingt zusätzlichen Leistungsbedarf in den Stromnetzen. Nachhaltiges und netzdienliches Kühlen braucht außerdem Möglichkeiten des aktiven Last- und Verbrauchsmanagements.
  - Es muss sektorübergreifend ein aktives Lastmanagement elektrischer Netzteilnehmer:innen (Erzeuger:innen und Verbraucher:innen) verwirklicht werden. Raumkühlung wird darin ein wesentliches Element sein.
- 9.) **Klimafitte Gestaltung städtischer Außenräume wirkt dem steigenden Energiebedarf für Raumkühlung entgegen.**
- Hohe Außenraumtemperaturen, insbesondere in urbanen Regionen haben einen wesentlichen Einfluss auf den Kältebedarf der Wohn- und Bürobauten. Sie lösen technischen Kältebedarf aus, der wiederum durch die Abgabe von Abwärme aus den Kühlprozessen weiter verstärkt wird.
  - Der klimafitten Gestaltung der städtischen Außenräume kommt eine zentrale Bedeutung zur Eindämmung des Wachstums des Energiebedarfs von Kühlung zu. Ein Umbau der städtischen Außenräume mit dem Ziel sommerlicher Temperatursenkung ist daher prioritär.
- 10.) **Die Verfügbarkeit belastbarer prospektiver Klimadaten ins mangelhaft.**
- Prospektive Klimadaten für österreichische Städte liegen aus dem Projekt ÖKS15 vor. Aktuelle Messreihen zeigen aber, dass diese Prognosen zu optimistisch waren.

Bereits jetzt werden sommerliche Temperaturen erreicht, wie sie in den ÖKS15 Datensätzen erst von den 2050 Szenarien angeführt werden.

- b. Es ist notwendig, die ÖKS15 Klimadaten zu aktualisieren, was mit dem laufenden Projekt der ÖKS26+ Klimadaten bereits erfolgt.

**11.) Der Zuwachs an konditionierter Gebäudefläche ist ein Treiber des Kältebedarfs.**

- a. Österreich weist einen erheblichen kontinuierlichen Zuwachs an konditionierter Gebäudefläche auf, der weit über dem Bevölkerungszuwachs liegt. Diese Entwicklung ist ein nennenswerter Treiber des Zuwachses an Kältebedarf.
- b. Neben vielen anderen Gründen spricht auch das Ziel einer Abschwächung des Zuwachses an Kühlenergiebedarf für das Setzen politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen zugunsten einer besseren Nutzung bestehender Gebäude und eine deutlich reduzierte Neubautätigkeit.

# 7 Ausblick und Empfehlungen

In diesem werden Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und für regulatorische Setzungen herausgearbeitet. Sie wurden im vorangegangenen Kapitel „Schlussfolgerungen“ zum Teil bereits kurz angeführt.

## **Erstellung vertiefender Kältebedarfskarten**

Ein Teil der vorliegenden Forschungsarbeit bestand in der Ausarbeitung von Kältebedarfskarten. Diese geografisch verortete Ausgabe von Kältebedarfsszenarien hat sich als aussagekräftig und gut kommunizierbar erwiesen. Eine Ableitung politischer Entscheidungen erscheint auf dieser Basis gut möglich.

In dieser Arbeit wurde dafür auf die Vorarbeiten des Energiemosaik Austria zurückgegriffen. Derzeit werden im Energiemosaik die Energieverbräuche, und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen, differenziert in (a) Raumwärme, (b) Prozesswärme, (c) Motoren / Elektrogeräte und (d) Transport, dargestellt. Der Kältebedarf wird im Energiemosaik noch nicht als einzelner Verwendungszweck angeführt. Eine Aufnahme des Energiebedarfs zur Raumkühlung in das Energiemosaik wird empfohlen und ist mit den Ergebnissen der gegenständlichen Studie möglich.

## **Erhebung des österreichischen Energieverbrauchs für Raumkühlung**

Es besteht in Österreich eine mangelhafte Datenlage über den Energieverbrauch für Raumkühlung. In der österreichischen Nutzenergieanalyse wird der Energieverbrauch für Raumklimatisierung zusammen mit jenem für Warmwasserbereitung ausgewiesen. Die Stromaufnahme dezentraler Kälteerzeuger wird meist zusammen mit dem Haushalts- oder Betriebsstrom gemessen.

Das Projektkonsortium regt an, eine systematische Erhebung des österreichischen Energieverbrauchs für Raumkühlung durchzuführen, einschließlich der Erhebung seines saisonalen und täglichen dynamischen Verlaufs. Die Ergebnisse einer solchen Erhebung könnten die Simulationsergebnisse aus der gegenständlichen Studie absichern und würden eine valide Basis für weitere Berechnungen und für strategische Maßnahmensetzungen bilden.

## **Erweiterung der GIS verfügbaren Gebäudedaten**

GIS-Daten über den Gebäudebestand bildeten in der gegenständlichen Studie die Grundlage für die geografische und gebäudegenaue Zuordnung des errechneten spezifischen Kältebedarfs. Es zeigte sich sowohl der Wert der verfügbaren GIS-Daten als auch der Wunsch nach zusätzlichen GIS-verfügbaren Gebäudedaten. Etwa die Gebäudeausrichtung, etwa die Nutzungsarten, etwa ein Sanierungszustand.

## **Implementierung des Indikators $g_{\text{total, Fassade}}$**

In der gegenständlichen Studie hat sich der Indikator des auf die Fassadenfläche bezogenen, totalen Gesamtenergiedurchlassgrades ( $g_{\text{tot, Fassade}}$ ) als robuster Bildungsfaktor für die solar induzierte Kühllast erwiesen. In diese Kennzahl fließen der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, der Abschattungsgrad des Sonnenschutzes und zusätzlich auch der Verglasungsanteil in der Fassade ein.

Die Anforderung eines maximal zulässigen  $g_{\text{tot, Fassade}}$  könnte eine wirkungsvolle und einfach zu kontrollierende Qualitätsvorgabe für eine sommertaugliche Fassadengestaltung sein. Wir empfehlen, eine Mindestanforderung für den  $g_{\text{tot, Fassade}}$  in die einschlägige Baugesetzgebung aufzunehmen.

### **Internationaler Austausch über Strategien von Kühlung in Städten**

Österreich erlebt im Zuge des Klimawandels eine schnelle Transformation von einem Land, in dem Kühlung und Hitzeanpassung im stadträumlichen Umfeld nicht notwendig waren, zu eben dessen Gegenteil: Maßnahmen gegen die Ausprägung städtischer Hitzeinseln, und der Aufbau von Infrastrukturen für Kühlung und klimawirksame Wassernutzung sind binnen weniger Jahre zu einem Brennpunktthema aller österreichischer Städte geworden. In diesem schnellen Wandel kann Österreich von der Erfahrung von Ländern profitieren, in denen Hitzeschutz und Kühlung im urbanen Maßstab bereits seit Langem zum politischen, gesellschaftlichen und baukulturellen Alltag gehören.

Das Projektkonsortium rät vor diesem Hintergrund zur aktiven Teilnahme Österreichs an dem internationalen Austausch über Kühlen in Städten. Eine dahingehende Anbahnung eines internationalen Forschungsprogramms (Annex) mit dem Arbeitstitel „Sustainable Cooling in Cities“ wird gegenwärtig vom Konsortialführer der gegenständlichen Studie im Rahmen der österreichischen IEA-Forschungskooperation ausgearbeitet.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 1 (offene Bauweise) (1).....	21
Abbildung 2: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 2 (Blockrand-Bebauung) (2).....	22
Abbildung 3: Vogelperspektive auf Stadtquartier 3 (Bauweise geschlossen, nachverdichtet) (3) .....	23
Abbildung 4: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 3 (offene Bauweise, Neubau) (4).....	24
Abbildung 5: Vogelperspektive auf das Stadtquartier 5 (gemischte Bauweise, Bahnhofsviertel) (5) ..	25
Abbildung 6: Vergleich des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf am Standort Wien 2030 ..	26
Abbildung 7: Wärmeströme in und aus dem Gebäude der südlichen Zone untergliedert in Zugehörigkeit bei unterschiedlichen U-Werten der Außenwand bei der Variante $g_{total,Fassade}$ 5 % V1, während dem Zeitraum Juni bis September am Standort Wien 2030 RCP4.5 .....	27
Abbildung 8: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, U-Wert der Außenwand von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ am Standort Wien 2030.....	28
Abbildung 9: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5.....	28
Abbildung 10: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Abständen der Nachbargebäude, Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 .....	29
Abbildung 11: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlicher Betriebsweise und U-Werten der Außenwand, generelles Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP 4.5.....	30
Abbildung 12: Spez. Kältebedarf bei verschiedenen Klimadatensätzen unterteilt in unterschiedliche Globalstrahlungssummen .....	30
Abbildung 13: Spezifischer Energiebedarf der Entfeuchtung in Abhängigkeit der Kühlgradtage.....	31
Abbildung 14: Vergleich des Kältebedarfs der untersuchten Studien für Wohnen und Büro .....	32
Abbildung 15: Prognostizierte spezifische Kältebedarfswerte von Wohngebäuden der untersuchten Studien.....	33
Abbildung 16: Gegenüberstellung der Endenergien von Österreich, Deutschland und Belgien (erstellt mit Daten aus Heat Roadmap Europe).....	34
Abbildung 17: Vergleich des Kältebedarfs für Raumkühlung von Österreich, Deutschland und Belgien gemäß der Untersuchten Studien .....	35
Abbildung 18: Auszug Kältebedarfsmatrix .....	37
Abbildung 19: Kältebedarfskurve Wohnen – generelles Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	38
Abbildung 20: Kältebedarfskurve Wohnen – adaptives Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	39
Abbildung 21: Kältebedarfskurve Büro – generelles Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	40
Abbildung 22: Kälteleistungskurve Wohnen – generelles Komfortmodell (eigene Berechnung).....	41
Abbildung 23: Kälteleistungskurve Wohnen-adaptives Komfortniveau (eigene Berechnung).....	42
Abbildung 24: Kälteleistungskurve Büro – generelles Komfortmodell (eigene Berechnung).....	43
Abbildung 25: Absoluter Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt in Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	45

Abbildung 26: Spezifischer Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt in Kilowattstunden pro Quadratmeter Bruttogrundfläche und Jahr (kWh/m <sup>2</sup> ,a) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	45
Abbildung 27: Absoluter monatlicher Kältebedarf der Wohnungen und Büros insgesamt in Gigawattstunden (GWh) für 2021 sowie für die vier Szenarien in den Jahren 2030, 2040 und 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung).....	46
Abbildung 28: Absolute Kälteleistung der Wohnungen und Büros insgesamt in Megawatt (MW) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	47
Abbildung 29: Spezifische Kälteleistung der Wohnungen und Büros insgesamt in Watt pro Quadratmeter Nutzfläche (W/m <sup>2</sup> ) für das Szenario [D] im Jahr 2050, generelles Komfortniveau (eigene Berechnung) .....	47
Abbildung 30: Absoluter Kältebedarf (links) und absolute Kälteleistung (rechts) der Wohnungen und Büros insgesamt bei generellem Komfortniveau und bei Komfortmix (Wohnungen: adaptiv; Büros: generell) für 2021 und für das Szenario [D] in den Jahren 2030, 2040 und 2050 (eigene Berechnung) .....	48
Abbildung 31: Anteil der ungekühlten Wohnflächen an den Wohnflächen insgesamt bei generellem Komfortniveau und einem Schwellenwert von 4 kWh/m <sup>2</sup> ,a für die Kühlsättigung im Jahr 2021 und für das Szenario [D] in den Jahren 2030, 2040 und 2050 (links) sowie im Vergleich mit dem Anteil der ungekühlten Wohnflächen an den Wohnflächen insgesamt bei adaptivem Komfortniveau (rechts) (eigene Berechnung) .....	49
Abbildung 32: Komponenten der Entwicklung von Kältebedarf (links) und Kälteleistung (rechts) der Wohnungen und Büros insgesamt in Prozent im Zeitraum von 2021 bis 2050 für das Szenario [D] (eigene Berechnung) .....	49
Abbildung 33: Rückkühlmöglichkeiten .....	71
Abbildung 34: Grobkosten (links: spez. Baukosten; rechts: spez. jährliche Energiekosten) bezogen auf die Bruttogrundfläche .....	77
Abbildung 35: Grobkosten (links: spez. Baukosten; rechts: spez. jährl. Energiekosten) bezogen auf die installierte Kälteleistung bzw. den Kältebedarf .....	78

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Darstellungsarten Randbedingungen.....	14
Tabelle 2: Inhaltsunterschiede der Szenarien zwischen den Nutzungen Wohnen und Büro .....	14
Tabelle 3: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zur Verminderung von Wärmeeinträgen in den Innenraum, Teil 1.....	56
Tabelle 4: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zur Verminderung von Wärmeeinträgen in den Innenraum, Teil 2.....	57
Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zur Komfortverbesserung jenseits des physikalischen Wärmeentzugs. ....	58
Tabelle 6: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zum physikalischen Wärmeentzug aus Innenräumen, Teil 1.....	59

Tabelle 7: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Technologien zum physikalischen Wärmeentzug aus Innenräumen, Teil 2 .....	61
Tabelle 8: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Kälteabgabesystemen, Teil 1. ....	64
Tabelle 9: Übersicht über die wichtigsten Eigenschaften von Kälteabgabesystemen, Teil 2. ....	65
Tabelle 10: Systemübersicht passive Maßnahmen .....	66
Tabelle 11: Systemübersicht Wärmeentzug .....	67
Tabelle 12: Systemübersicht Kälteabgabe .....	68
Tabelle 13: Systemübersicht Kälteverteilung .....	69
Tabelle 14: Kälteleistungen und vorgeschlagene Systemvariante je Quartier .....	73
Tabelle 15: Vor- und Nachteile der Rückkühlvarianten (Teil 1) .....	74
Tabelle 16: Vor- und Nachteile der Rückkühlvarianten (Teil 2) .....	75

## Literaturverzeichnis

- (1) Google Maps, abgerufen am 25.04.2023;14:15 Uhr
- (2) Google Maps, abgerufen am 20.04.2023; 10:10 Uhr
- (3) Google Maps, abgerufen am 23.04.2023; 13:00 Uhr
- (4) Google Maps, abgerufen am 24.04.2023; 09:30 Uhr
- (5) Google Maps, abgerufen am 21.04.2023; 17:45 Uhr
- (6) <https://waermepreise.at/tarifuebersicht/#/?kunde=1&art=2,4> (abgerufen am 13.05.2024; 14:00)
- (7) <https://www.e-control.at/tarifkalkulator#/> (abgerufen am 13.05.2024; 14:05)
- (8) Lukas Kranzl, Andreas Müller, Herbert Formayer: Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren. TU Wien, Wien 2011,   
//publik.tuwien.ac.at/files/PubDat\_205290.pdf (abgerufen am 16. Februar 2023; 11:06).
- (9) Amtmann, M., Altmann-Mavaddat, N., 2014. Eine Typologie österreichischer Wohngebäude (1. Auflage). Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency, Wien
- (10)Adnot, J., Rivière, P., Marchio, D., Holmstrom, M., Naeslund, J., Saba, J., Becirspahic, S., Lopes, C., Blanco, I., Perez-Lombard, L., Oritz, J., Papakonstaninou, N., Doukas, P., Joppolo, C.M., Casale, C., Benke, G., Giraud, D., Houdant, N., Colomines, F., Gavriluc, R., Poescu, R., Burchiu, S., Georges, B., Hitchin, R., 2003. Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)
- (11)Compera, 2019. Umfrage: Jeder Dritte plant Kauf eines Klimageräts
- (12)IEA, 2018. World Energy Outlook 2018. IEA, Paris.
- (13)Müller, A., Kranzl, L., Fritz, S., 2017. Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher.
- (14)Natiesta et al., 2022. Zukünftige Entwicklung der Raumkühlung durch Klimawandel bis 2050. Wien.
- (15)Persson, U., Werner, S., 2015. Stratego - Quantifying the Heating and Cooling Demand in Europe (No. D 2.2).
- (16)Vingerhoets, P., Van Esch, L., Hamsch, L., Janssen, L., Capizzi, F., Becue, I., Tant, F., 2021. Warmte in Vlaanderen, rapport 2020. Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA).
- (17)Chimani, B., Heinrich, G., Hofstätter, M., Kerschbaumer, M., Kienberger, S., Leuprecht, A., Lexer, A., Peßensteiner, S., Poetsch, M.S., Salzmann, M., Spiekermann, R., Switanek, M., Truhetz, H., 2016. ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Wien.

(18) Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* **5**, 180214 (2018).  
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

[servicebuero@bmk.gv.at](mailto:servicebuero@bmk.gv.at)

[bmk.gv.at](http://bmk.gv.at)