

# **Urbaner Kältebedarf Österreich 2030/2050**

Anhang E2.2. Analyse vorhandener Kältebedarfsszenarien

P. Holzer, A. Pummer, F. Wimmer

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

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

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

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA

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

# Urbaner Kältebedarf Österreich 2030/2050

## E2.2. Analyse vorhandener Kältebedarfsszenarien

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

Wien, Mai 2024

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
1.1.	Kontext.....	5
1.2.	Methode .....	7
<b>2</b>	<b>Nationale Kältebedarfsszenarien</b> .....	<b>8</b>
2.1.	Analyse des Energiebedarfs zur Raumkühlung.....	8
2.2.	Analyse der Kühlgradtage .....	16
2.3.	Zusammenfassung nationale Kältebedarfsszenarien .....	24
<b>3</b>	<b>Internationale Kältebedarfsszenarien</b> .....	<b>26</b>
3.1.	Kulturelle Ähnlichkeit.....	26
3.2.	Klimatische Ähnlichkeit.....	29
3.2.1.	Klimatische Ähnlichkeit der Klimaklassifikation nach Köppen-Geiger .....	29
3.2.2.	Klimatische Ähnlichkeit nach Kühlgradtagen .....	31
3.3.	Kältebedarfsszenarien vergleichbarer Nationen .....	36
3.3.1.	Kältebedarfsszenarien Deutschland .....	37
3.3.2.	Kältebedarfsszenarien Belgien .....	40
<b>4</b>	<b>Vergleich nationale und internationale Kältebedarfsszenarien</b> .....	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>Internationale Sättigungsraten von Raumkühlung</b> .....	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Nationale rechtliche Rahmenbedingungen</b> .....	<b>47</b>
6.1.	Nationale Landesbauordnungen.....	47
6.2.	Arbeitsstättenverordnung (AStV) .....	47
6.3.	OIB-Richtlinie 6 .....	48
6.4.	ÖNORM B 8110-3 – Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall.....	48
6.5.	ÖNORM B 8110-5 – Wärmeschutz im Hochbau, Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile..	48
6.6.	ÖNORM B 8110-6-1 – Wärmeschutz im Hochbau, Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren .....	50
6.7.	ÖNORM H 6040 – Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast sowie der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden.....	50
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b> .....	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>52</b>

# 1 Einleitung

In dieser Analyse wird eine Literatur- und Umfeldstudie zu bereits bestehenden Kältebedarfsszenarien für Österreich und vergleichbare Länder durchgeführt.

Zuerst werden die bereits durchgeführten nationalen Kältebedarfsszenarien untersucht, ehe die internationalen Kältebedarfsszenarien analysiert werden. Zusätzlich zu den Kältebedarfsszenarien werden nationale und transnationale rechtliche Rahmenbedingungen bezüglich Raumkühlung untersucht.

Bei der Analyse der internationalen Szenarien wird ein zweigeteilter Ansatz gewählt. Es werden Länder untersucht welche kulturelle und/oder klimatische Ähnlichkeiten mit Österreich aufweisen. Hinsichtlich klimatischer Ähnlichkeiten wird die Köppen-Geiger Klimaklassifikation herangezogen, um mit Österreich vergleichbare Nationen zu identifizieren. Auf kultureller Ebene dienen international anerkannte Kulturindizes als Ausgangslage. Anschließend werden verfügbare Kältebedarfsszenarien für die zuvor identifizierten – kulturell und/oder klimatisch ähnlichen – Länder untersucht.

## 1.1. Kontext

Laut dem Future Cooling Report der internationalen Energieagentur (IEA)<sup>1</sup> ist die Raumkühlung der am größten wachsende Energiebedarf in Gebäuden, vor allem in aufstrebenden Wirtschaftsmärkten. Der Endenergiebedarf für Raumkühlung hat sich von 1990 bis 2016 mehr als verdreifacht (siehe Abbildung 1). In dieser Zeitperiode ist der Anteil von Endenergie zur Raumkühlung am Gesamtenergieanteil von Gebäuden von 6 % auf 11,5 % gestiegen. Der Anteil des Strombedarfs in Gebäuden ist von 13 % im Jahr 1990 auf 18,5 % im Jahr 2016 gestiegen. Die Abbildung zeigt ebenfalls, dass der Anteil von Erdgas als Energieträger für Gebäudekühlung mit ca. 1 % sehr gering ist.

In einer Analyse von regionalen Trends zur Raumkühlung (Tabelle 1) zeigt sich, dass in den USA und Japan, zwei Regionen mit sehr hohem Anteil an Raumkühlung, eine Stagnation bzw. einen Rückgang des Energieverbrauchs zur Gebäudekühlung eintritt. Dies ist auf die Marktsättigung sowie auf Effizienzmaßnahmen zurückzuführen. In der EU zeigt sich in den letzten Jahren zwar nur ein geringer Anstieg am Kälteenergiebedarf, ein Blick auf den Anteil des Kälteenergiebedarfs am Gesamtenergiebedarf der Gebäude zeigt jedoch, dass mit 1,2 % im Vergleich zu den USA oder Japan mit 10,6 % bzw. 9,5 % noch erhöhtes Potenzial zu einer Steigerung des Kälteenergiebedarf gibt.

---

<sup>1</sup> International Energy Agency, *The Future of Cooling* (IEA, 2018), [https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8doc-9c0cb5e7d525/The\\_Future\\_of\\_Cooling.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8doc-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf) [Zugriff am 7. März 2023]

Abbildung 1: Weltweiter Energieverbrauch für Raumkühlung in Gebäuden<sup>2</sup>

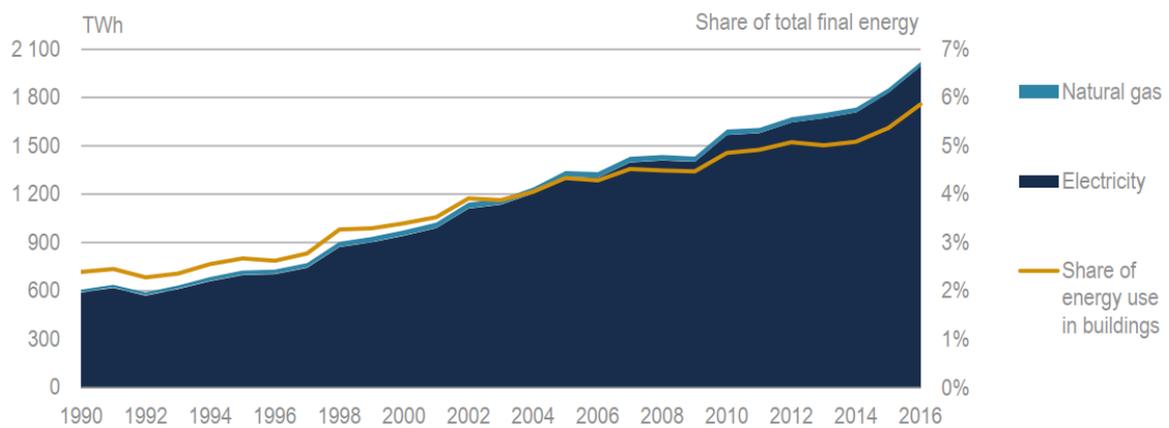


Tabelle 1: Weltweiter Kälteenergiebedarf unterteilt in Regionen von 1990 bis 2016

	TWh Kälteenergiebedarf				% of total building final energy use
	1990	2000	2010	2016	2016
USA	339	448	588	616	10,6 %
EU	63	100	149	152	1,2 %
Japan	48	100	119	107	9,5 %
Korea	4	17	34	41	8,5 %
Mexiko	7	16	23	37	9,8 %
China	7	45	243	450	9,3 %
Indien	6	22	49	91	3,4 %
Indonesien	2	6	14	25	3,0 %
Brasilien	10	19	26	32	7,7 %
Südafrika	4	6	6	8	2,8 %
Mittlerer Osten	26	49	97	129	9,3 %
Welt	608	976	1602	2021	5,9 %

Die dargestellten weltweiten Entwicklungen in der Vergangenheit zeigen die Wichtigkeit eines Strategieplans zur möglichst Energieeffizienten und CO<sub>2</sub> neutralen Kühlenergiebereitstellung für die Zukunft.

<sup>2</sup> International Energy Agency.

## 1.2. Methode

Im ersten Schritt wird eine Recherche über die Grundlagen zu nationalen und vergleichbaren internationalen Kältebedarfsszenarien und Kühlgradtagen durchgeführt. Dabei wird als Methode eine Kombination aus systematischer Recherche und einer Schneeballsystem Recherche angewandt. Bei den nationalen Kältebedarfsszenarien wird der Fokus auf die Schlüsselbegriffe *Kältebedarf* und *Kühlgradtage* gelegt. Der Fokus wird vor allem auf Prognosen für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 gelegt.

Im zweiten Schritt werden nationale und transnationale rechtliche Rahmenbedingungen bezüglich Anforderungen an Raumkühlung untersucht. Dabei werden geläufige Gesetztestexte und Normen für Klima- und Kältetechnik untersucht.

## 2 Nationale Kältebedarfsszenarien

In diesem Kapitel wird ein Überblick über bereits durchgeführte Untersuchungen zur Entwicklung bzw. zur Prognose nationaler Kältebedarfsszenarien gegeben. Dabei werden die Kennwerte des Endenergiebedarfs zur Raumkälte sowie der meteorologischen Kennzahl der Kühlgradtage (KGT oder CDD) näher dargestellt.

### 2.1. Analyse des Energiebedarfs zur Raumkühlung

Als Kennwert zur Bewertung der unterschiedlichen Studien wird der Energiebedarf zur Raumkühlung gewählt. In diesem Unterkapitel werden die Erkenntnisse der untersuchten wissenschaftlichen Studien beschrieben und zusammengefasst.

Folgende, thematisch relevanten Studien konnten identifiziert werden:

#### Heat Roadmap Europe

Im Zuge des europäischen Forschungsprojekts *Heat Roadmap Europe*, abgeschlossen 2019, wurde für Österreich, und alle restlichen EU28-Länder, eine Analyse des Wärme- und Kältebedarfs in den Sektoren Industrie, Wohnen und Dienstleistungen durchgeführt.

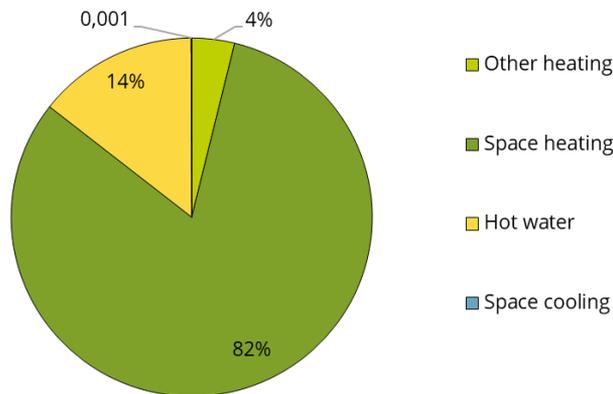
Dabei wurde festgestellt (vgl. Abbildung 2), dass der Kältebedarf im Wohnbausektor derzeit, mit 0,001 % bzw. 32 GWh/a am Gesamtwärmebedarf sehr gering ist. Im Gegensatz dazu nimmt der Bedarf an Raumheizung mit 82 % den größten Teil ein.

Als Energieträger der Raumkühlung wird derzeit zu 100 % Strom angewandt. Eine Prognose zur Veränderung des Kältebedarfs wird nicht abgegeben, es wird jedoch eine starke Wachstumsrate dieses Sektors geortet<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Tobias Fleiter et al., *Profile of Heating and Cooling Demand in 2015, 2017*, p. 70, [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4\\_D3.1.pdf](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4_D3.1.pdf) [Zugriff am 7. Februar 2023]

Abbildung 2: Prozentuale Aufteilung des Wärme- und Kältebedarf im Sektor Wohnen in Österreich im Jahr 2015 (erstellt mittels Excel Tool der *Heat Roadmap Europe 2015*<sup>4</sup>)



Als relevante Information zum nationalen Kältebedarf wird in dieser Untersuchung der zum Zeitpunkt 2015 aufgetretene gesamte Kälteenergiebedarf für Österreich im Sektor Wohnen identifiziert. Dieser ist jedoch im Vergleich zum Energiebedarf der Raumwärme- oder Warmwassererzeugung verschwindend gering.

### Austrian Heat Map – Potenzial für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung

Im Zuge des Forschungsprojekts *Austrian Heat Map* wurden die derzeitigen und für ein Klimaszenario prognostizierten Wärme- und Kältebedarfe für Österreich untersucht.

Die Unterteilung der Nutzenergie ist dabei stets in Raumheizung und Klimaanlage angegeben, eine Differenzierung Nutzenergie durch Raumheizung und Nutzenergie für Klimaanlage ist nicht möglich. In der Primärquelle der Nutzenergieanalyse, durchgeführt durch die Statistik Austria<sup>5</sup>, wird in Nutzenergie für Raumwärme und Warmwasser unterschieden. Zusätzlich gibt es die Kategorie „Kühlen und Gefrieren“, dabei kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich dabei nicht um die Raumkühlung, sondern um Lebensmittelkühlung handelt.

Es wurde eine Prognose des Nutzwärmebedarfs in 5 Jahresschritten von 2020 bis 2050 angegeben, für den Kältebedarf wurde keine Prognose abgegeben, sondern nur auf Daten aus dem Projekt *Heat Roadmap Europe*, siehe oben, verwiesen.<sup>6</sup>

Die Studie bietet aufgrund einer fehlenden Differenzierung in Wärme und Kälte keine verwertbaren Informationen für die gegenständliche Untersuchung. Bezüglich relevanter Informationen zum nationalen Kältebedarf wurden in dieser Untersuchung keine neuen Erkenntnisse gefunden.

<sup>4</sup> [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/HRE4-Exchange-Template-WP3\\_v22b\\_website.xlsx](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/HRE4-Exchange-Template-WP3_v22b_website.xlsx)

<sup>5</sup> Statistik Austria, 'Nutzenergieanalyse', <https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse> [Zugriff am 6. März 2023]

<sup>6</sup> Richard Büchele et al., *Potenzial für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung*, September 2022, [https://austrian-heatmap.gv.at/fileadmin/user\\_upload/FW\\_KWK\\_Endbericht.pdf](https://austrian-heatmap.gv.at/fileadmin/user_upload/FW_KWK_Endbericht.pdf) [Zugriff am 24. Februar 2023]

## Endbericht Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners

Adnot et al. (2003) ermittelten für Österreich im Jahr 2005 einen Energieeinsatz für Kühlzwecke im gesamten Gebäudebereich von 549 GWh bei einer gekühlten Gesamtfläche von 26.000.000 m<sup>2</sup> bzw. 21 kWh/(m<sup>2</sup> gekühlte Fläche.a). Dabei handelt es sich um geschätzte Werte aus Herstellerstatistiken inklusive eines Aufschlages für Überdimensionierungen.

Zum Vergleich dazu betrug der Stromverbrauch, es kann davon ausgegangen werden, dass ausschließlich Strom zur Raumkühlung angewandt wird, im Jahr 2005 in Österreich 16,4 TWh. Das entspricht einem Anteil von ca. 3,4 % am Gesamtstromaufkommen, welcher für Raumkühlung notwendig ist.

Wird dieses Ergebnis mit statistischen Daten<sup>7</sup> bezüglich der Aufteilung von Wohngebäuden (Ø 92 % im Zeitraum 1971-2011) und Nichtwohngebäuden (Ø 8 % im Zeitraum 1971-2011) hochgerechnet ergibt sich ein Kältebedarf von Wohngebäuden von 503 GWh/a im Jahr 2005.

Im Zuge der Studie wurde ebenfalls eine Prognose für den Kälteenergiebedarf im Jahr 2020 erstellt. Diese ergibt eine Steigerung des Kälteenergiebedarf auf 707 GWh bzw. 648 GWh (bei Berücksichtigung der Gebäudestatistik) für Wohngebäude. Wird dies mit dem Basisjahr 1990 verglichen (296 GWh) wird eine 2,4-fache Steigerung des Kältebedarfs prognostiziert.

Als relevante Information zum nationalen Kältebedarf wird der mittels Herstellerstatistiken und Aufschlägen berechnete Energieeinsatz zur Raumkühlung im Jahr 2005 sowie eine Prognose dessen ins Jahr 2020 identifiziert.

---

<sup>7</sup> Statistik Austria, Registerzählung 2011, Gebäude nach Bundesland und Gebäudeeigenschaft 2011

## Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren<sup>8</sup>

In dieser Studie von Kranzl et al. (2011), wird unter anderem eine Prognose des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Es wurden aus 12 verschiedenen Szenarien drei Hauptszenarien definiert. Die Szenarien unterscheiden sich in die drei unterschiedlichen IPCC-Klimaszenarien A1B, A2 und B1 und zwei Faktoren bezüglich des Trends zur technischen Klimatisierung.

Im Szenario A2 wird, aufgrund der anhaltenden Zugehörigkeit des Landes zu den reicheren Regionen, von einem Trend zu einer großflächigen und nicht nachhaltigen Kältebereitstellung ausgegangen, was zu dem höchsten Kältebedarf führt. Im Szenario A1B wird von einer stärker Technologie-getriebenen Welt ausgegangen, in welcher intelligente Technologien zur Reduktion des Kälteenergiebedarf angewandt werden. Der Trend zur generellen Klimatisierung ist trotzdem vorhanden. Das Szenario B1 geht davon aus, dass einerseits vielfältige Maßnahmen zur Reduktion des Kühlenergieverbrauchs gesetzt werden sowie einer Entwicklung von Lebensstilen und Verhalten der Menschen, in denen ein geringerer Bedarf an Raumkühlung gefordert wird (z.B. Arbeitszeitmodelle).<sup>9</sup>

Die Einflüsse der verschiedenen Szenarien auf den Kälteenergiebedarf sind in Abbildung 3 dargestellt. Dabei ist zu sehen, dass das Szenario A2 mit einem erhöhten Trend zur technischen Raumkühlung und dem Auftreten von meteorologischen Veränderungen durch den Klimawandel den höchsten Kälteenergiebedarf von ca. 10 TWh pro Jahr im Jahr 2050 ergibt. Das entspricht um ca. 80 % mehr als in Szenario A1B. Werden die Szenarien A2 und A1B miteinander verglichen zeigt sich, dass bis zum Jahr 2030 zwischen Szenario A2 und A1B nur ein geringer Unterschied besteht. Dies kann auf den geringen Einfluss der unterschiedlichen Klima-Trends – der Unterschied der Jahresdurchschnittstemperatur beträgt bis 2050 unabhängig der verglichenen Klimaszenarien ca.  $0,1 \text{ K}^{10}$  -, der näheren Zukunft zurückgeführt werden. Nach dem Jahr 2030 wirkt der Klima-Trend deutlich stärker auf den Kühlenergieverbrauch. Das Szenario B1 ist aufgrund seiner IPCC Storyline, bei der eine umweltgerechte Entwicklung im Vordergrund steht, jene Variante mit dem geringsten Energiebedarf für Raumkühlung und -klimatisierung.

Bei dieser Abbildung ist jedoch nicht klar welche Nutzungen berücksichtigt werden. Da der Kältebedarf jedoch, bei spezifischer Betrachtung der BGF, im Bereich zwischen  $44 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  und ca.  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  wird davon ausgegangen, dass damit alle Nutzungen berücksichtigt werden und daher eine Differenzierung in Wohnen und Büro nicht möglich ist.

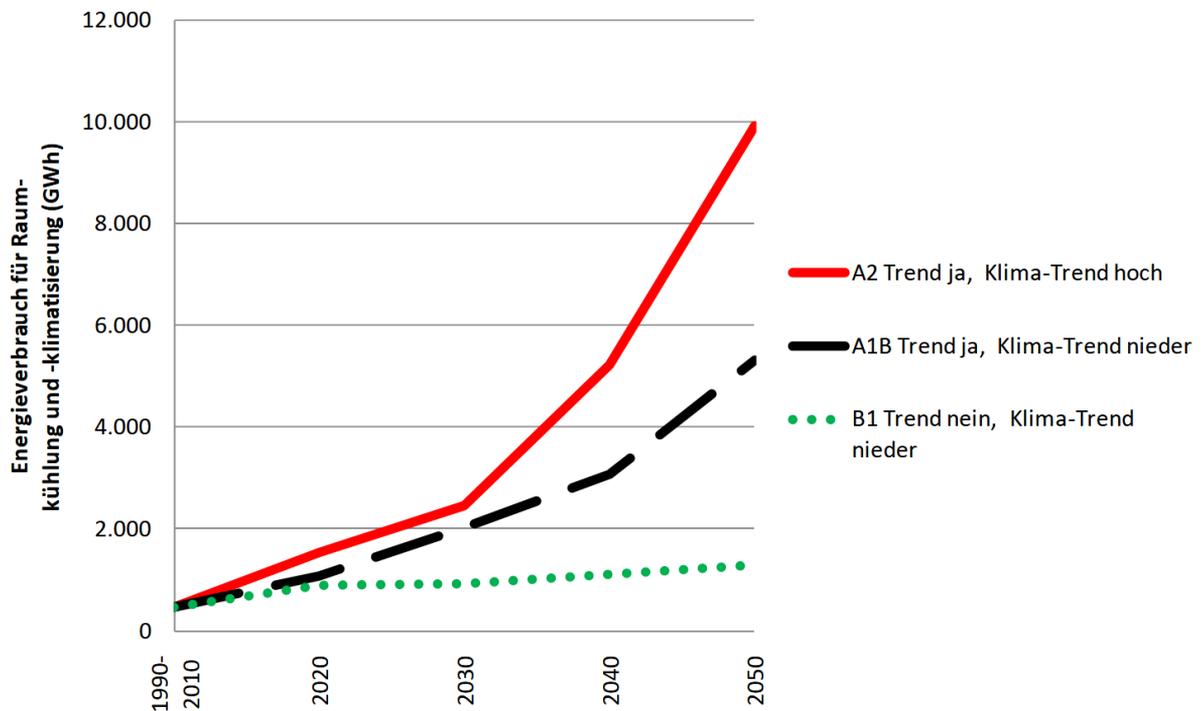
---

<sup>8</sup> Lukas Kranzl, Andreas Müller, und Herbert Formayer, 'Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren' (presented at the 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, 2011) <[https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat\\_205290.pdf](https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_205290.pdf)> [accessed 16 February 2023].

<sup>9</sup> Kranzl, Müller, und Formayer

<sup>10</sup> B. Chimani and others, *ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse* (Wien, 2016) <<https://tinyurl.com/Endbericht-OEKS15>> [accessed 20 February 2023].

Abbildung 3: Szenarien des End-Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den Haupt-Szenarien A1B, A2, B1<sup>11</sup>



Trend ja / Trend nein steht für den nicht-klimasensitiven Trend zur Raumklimatisierung  
 Klima-Trend hoch / Klima-Trend nieder steht für das Ausmaß des klimasensitiven Trends (Korrelation mit dem Indikator Temperatur-Summen-Hitzetage)

Zusätzlich zur Prognose des Energieverbrauchs für Raumkühlung und -klimatisierung wird eine qualitative Prognose des Anteils der klimatisierten Flächen in den IPCC Klimaszenarien A2, A1B und B1 und durchgeführt. Dabei wurde in die folgenden Gebäudekategorien unterschieden:

- Gebäude des Groß- oder Einzelhandels
- Bürogebäude
- Hotel oder ähnliche Gebäude
- Kultur, Freizeit, Bildung, Gesundheit
- Ein- und Zweifamilienhäuser
- Mehrfamilienhäuser

Bei dieser Analyse, siehe Abbildung 4, wird sowohl der Einfluss der Klimaszenarien als auch der Gebäudekategorie deutlich. In Szenario A2, welches einen hohen Kühlenergieverbrauch darstellen soll (Kombination aus einem nicht klimawandelbedingten Trend zur Klimatisierung und einer starken Klimaerwärmung), steigt der Anteil der klimatisierten Flächen am stärksten an. Bis zum Jahr 2050 sind über 30 % der Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie über 20 % der Mehrfamilienhäuser klimatisiert. Aufgrund der linearen Steigung kann von einem weiteren Wachstum über das Jahr 2050

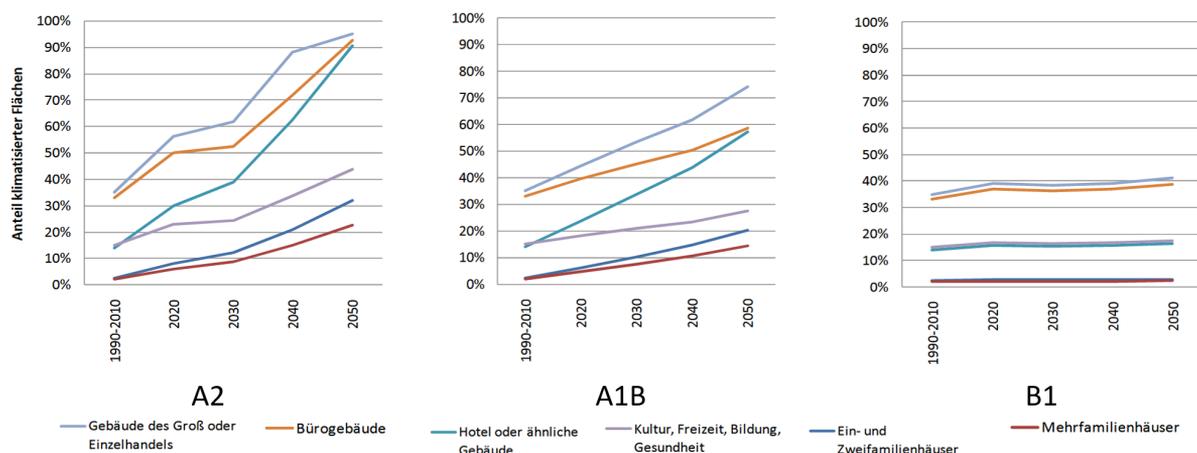
<sup>11</sup> Kranzl, Müller, and Formayer.

hinaus ausgegangen werden.

In Szenario A1B (Kombination aus einem nicht klimawandelbedingten Trend zur Klimatisierung und einer geringeren Klimaerwärmung) sind die Trends deutlich geringer ausgeprägt. Im Jahr 2050 liegt der Anteil der klimatisierten Flächen bei Ein- und Mehrfamilienhäusern um ca. 10 % niedriger als in Szenario A2 bei ca. 20 %. Auch bei den Mehrfamilienhäusern zeigt sich ein geringer Anteil, ebenfalls ca. 10 %. In diesem Szenario kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass nach 2050 der Anteil der klimatisierten Flächen weiter steigen wird, vor allem aufgrund der weiteren Klimaerwärmung. Im Szenario B1 (spiegelt ein nichtvorhandensein eines klimawandelbedingten Trend zur Klimatisierung sowie einer geringen Klimaerwärmung wider) ist für die Kategorie der Wohngebäude bereits ab Beginn der Prognose im Jahr 2020 eine Sättigung der klimatisierten Flächen zu sehen. Der Anteil der klimatisierten Flächen beträgt über den Betrachtungszeitraum konstant ca. 3 % für sowohl Ein- und Zweifamilien- als auch bei Mehrfamilienhäusern.

Bei der Analyse des Anteils der klimatisierten Fläche von Wohngebäuden muss jedoch beachtet werden, dass es sich hierbei um den gesamten Gebäudebestand handelt. Aufgrund der klimatischen Unterschiede zwischen urban und rural kann jedoch davon ausgegangen werden, dass in ruralen Regionen ein geringerer Kältebedarf besteht.

Abbildung 4: Vergleich der Szenarien des Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien in den IPCC-Klimaszenarien<sup>12</sup>



Als relevante Informationen werden die Prognose des Energiebedarfs für Raumkühlung und -klimatisierung sowie der qualitative Verlauf des Anteils klimatisierter Flächen, je nach Gebäudekategorie, in den IPCC-Klimaszenarien identifiziert.

<sup>12</sup> Kranzl, Müller, and Formayer.

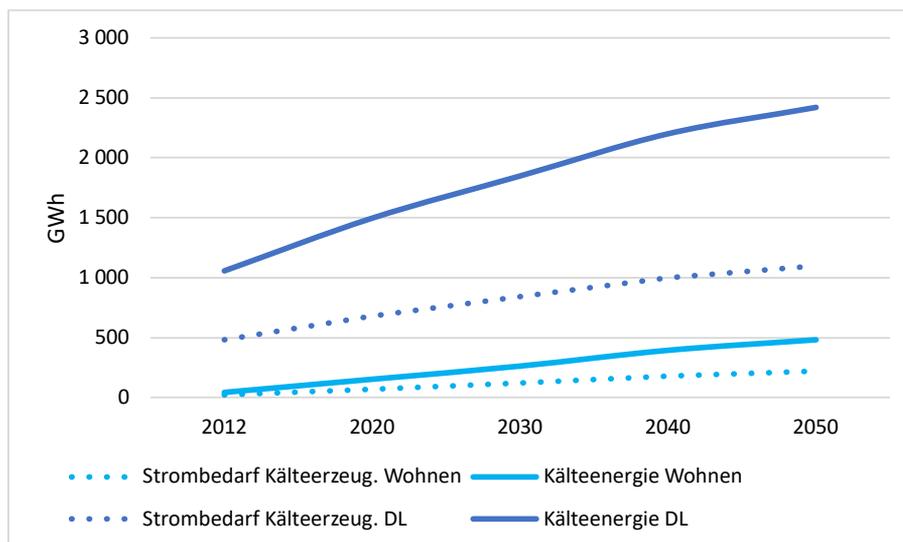
## Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher

In dieser Untersuchung wird unter anderem der Nutzkältebedarf für Klimatisierung und der Stromverbrauch für Klimatisierung in österreichischen Wohn- und Dienstleistungsgebäuden quantifiziert und eine Prognose bis ins Jahr 2050 abgegeben.

Der mittels *Invert/EE-Lab* Modell berechnete Nutzkältebedarf, für das Jahr 2012, für Wohngebäude beträgt 3.100 GWh, bei einer maximalen Innenraumtemperatur von 24 °C. Für Dienstleistungsgebäude ergibt sich unter Berücksichtigung von Standardnutzungsprofilen ein Nutzkältebedarf für Klimatisierung von 1.800 GWh. Mithilfe einer Auswahl an Kalibrierungsstudien<sup>13</sup> wurde der Strombedarf für Klimatisierung in österreichischen Wohngebäuden im Jahr 2012, in Höhe von 20 GWh identifiziert.

Die Prognose bis in das Jahr 2050 zeigt, dass der Strombedarf zur Raumklimatisierung im Szenario „with existing measures“ (WEM) für Wohn- und Dienstleistungsgebäude auf ca. 1,4 TWh ansteigen wird (Abbildung 5). Vor allem im Sektor der Dienstleistungsgebäude zeigt sich ein starkes Wachstum, von ca. 480 GWh<sub>el</sub> auf ca. 1100 GWh<sub>el</sub>. Im Sektor der privaten Haushalte wird startend bei einem sehr geringen Niveau, ca. 20 GWh<sub>el</sub>, mit ca. einer Verzehnfachung des Strombedarfs auf ca. 220 GWh<sub>el</sub> gerechnet. Mit einer, in der Studie angewandten, Jahresarbeitszahl von 2,2 ergeben sich Kälteenergiemengen von ca. 1100 GWh<sub>th</sub> auf ca. 2400 GWh<sub>th</sub> für Dienstleistungsgebäude und von ca. 45 GWh<sub>th</sub> auf ca. 480 GWh<sub>th</sub> für Wohngebäude.

Abbildung 5: Stromeinsatz für Raumkühlung und resultierende Kälteenergie in Österreich, Szenario WEM 2017<sup>14</sup>



<sup>13</sup> Adnot and others; Lukas Kranzl and others, *Ableitung von Prioritären Maßnahmen Zur Adaption Des Energiesystems an den Klimawandel*, 2010; R. Zoll, *Szenarien Zur Entwicklung von Gebäudeklimatisierung in Österreich*, 2010; Paer Dalin, Joakim Nilsson, and Anders Rubenhag, *ECOHEATCOOL Work Package 2. The European Cold Market*, 2006.

<sup>14</sup> Andreas Müller, Lukas Kranzl, and Sara Fritz, 'Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher', 2017 <<https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/EndberichtBo61464B160293MonMech-2011-Endbericht-11-05-04.pdf>> [accessed 6 March 2023].

Wird der prognostizierte Strombedarf zur Raumklimatisierung mit jenem Stromeinsatz zur Raumheizung und Warmwasserbereitstellung gegenübergestellt, zeigt sich, dass die Raumklimatisierung im Jahr 2030 für 17 % des Stromeinsatzes verantwortlich ist. Wird nur der Strombedarf zur Klimatisierung mit jenem zur Raumheizung verglichen nimmt die Klimatisierung 50 % davon ein. Für 2050 wird davon ausgegangen, dass der Strombedarf durch Klimatisierung gleich hoch ausfallen wird wie jener zur Raumheizung.

Als relevante Information werden der berechnete Nutzkältebedarf für das Jahr 2012, sowie die Prognose zum Strom- und thermischen Kältebedarf zur Raumklimatisierung bis ins Jahr 2050 identifiziert.

### **ZEN – Zukünftige Entwicklung der Raumkühlung durch Klimawandel bis 2050<sup>15</sup>**

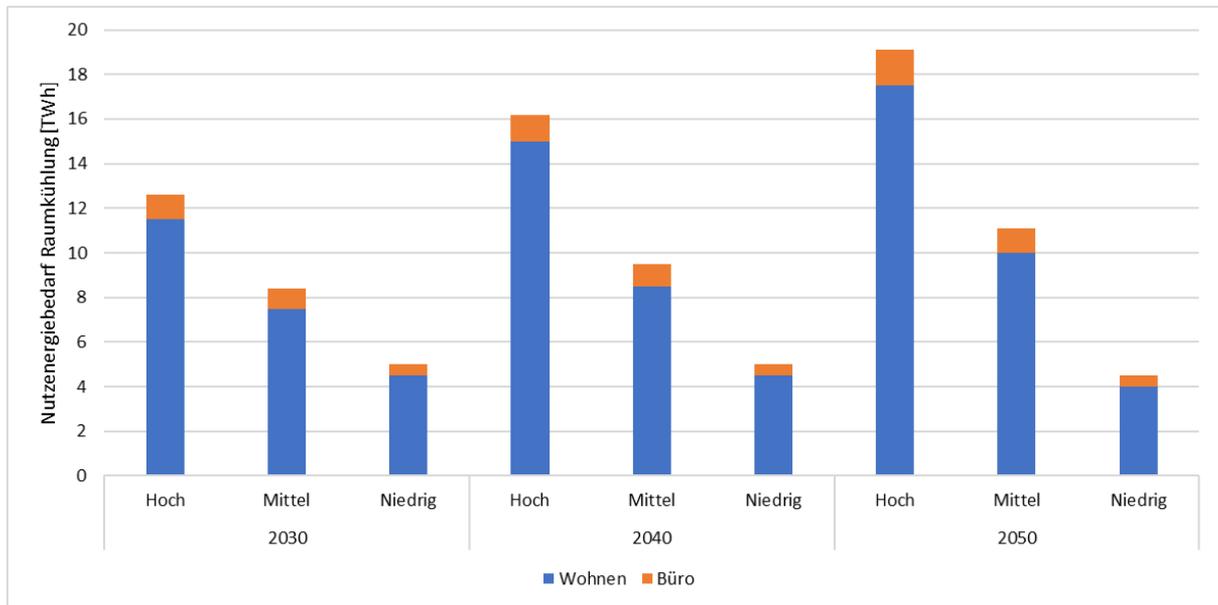
In dieser Studie Natiesta et al. (2022) wird einerseits der Kältebedarf zur Raumkühlung untersucht. Weiters wird eine Stromnetzsimulation zur Erkenntnisableitung der Belastbarkeit der Stromnetze durch den vermehrten Stromeinsatz zur Raumkühlung sowie der erhöhten PV-Einspeisung durchgeführt. Die Berechnung des Kältebedarfs wurde mit dem Modell *Invert* für die Nutzungen Sport, Schulen, Krankenhäuser, Hotel, Büros, Handel, MFH und EFH durchgeführt. In der Methodik werden vier Klimaszenarien beschrieben (RCP4.5-median, RCP4.5-hot, RCP8.5-median und RCP8.5-hot). Ergebnisse für Wohnen und Büros sind im Endbericht jedoch lediglich für das Klimaszenario RCP8.5-hot dargestellt. Zusätzlich zu den Klimaszenarios werden drei unterschiedliche Varianten, „hoch“, „mittel“ und „niedrig“, hinsichtlich der Gebäudequalität des Gebäudebestands definiert. Im Szenario „hoch“ wird von einer Innenraum-Solltemperatur von 24 °C und einer geringeren Verschattung als im Szenario „niedrig“, mit einer Innenraum-Solltemperatur von 26 °C und einer höheren Verschattung, ausgegangen.

Bei den Ergebnissen zum Nutzenergiebedarf zur Raumkühlung (Abbildung 6) zeigt sich, dass im Szenario „Hoch“ der Kältebedarf von Wohnen von ca. 11,5 TWh auf 17,5 TWh, bzw. um 52 %, steigt. Das Szenario „Mittel“ stellt ebenfalls eine Steigerung des Kältebedarfs, jedoch nur um 33 %, dar. Im Szenario „Niedrig“ wird jedoch, trotz des Klimaszenario RCP8.5-hot, bis zum Jahr 2050 eine Reduktion um ca. 10 % des Kältebedarf prognostiziert. Die Einsparungen des Kältebedarfs erfolgen durch Effizienzsteigerungen in Mehrfamilienhäusern aufgrund unterschiedlicher Sanierungsaktivitäten, Geometrie-Aspekten sowie erhöhten Verschattungsmaßnahmen. Der Einfluss von Hitzeinseln wird in dieser Analyse jedoch nicht berücksichtigt.

---

<sup>15</sup> Natiesta et al., *Zukünftige Entwicklung der Raumkühlung durch Klimawandel bis 2050* (Wien, June 2022) <[https://energieforschung.at/wp-content/uploads/sites/11/2022/03/EnergyTransition\\_PubEndbericht\\_ZEN.pdf](https://energieforschung.at/wp-content/uploads/sites/11/2022/03/EnergyTransition_PubEndbericht_ZEN.pdf)> [accessed 15 March 2023].

Abbildung 6: Kältebedarf der Gebäudekategorien Wohnen und Büro unter den klimatischen Annahmen von RCP8.5-hot<sup>16</sup>



Als relevante Information wird der berechnete Nutzenergiebedarf zur Raumkühlung von MFH, EFH und Büros im Klimaszenario „RCP8.5-hot“ (entspricht dem Klimaszenario mit den höchsten Temperaturen in der Studie) in den Jahren 2030, 2040 und 2050 identifiziert.

### Statistik Austria und andere einschlägigen Unternehmen

In den Datenbanken der Statistik Austria oder der österreichischen Energieagentur konnten keine expliziten Unterlagen zur Quantifizierung des Kältebedarfs von Gebäuden identifiziert werden.

## 2.2. Analyse der Kühlgradtage

Bei den Kühlgradtagen handelt es sich um einen meteorologische Kenngröße, die als einer von mehreren Faktoren den Kälteenergiebedarf bestimmt. Der Kennwert der Kühlgradtage wird für die Analyse der Veränderung des Außenklimas mit Fokus auf den Kältebedarf als geeignet empfunden, da er in der Auslegung von Kältemaschinen oftmals herangezogen wird.

Bei einer Analyse der Kühlgradtage (KGT) ist darauf zu achten, dass aufgrund einer fehlenden einheitlichen Definition dieser, unterschiedliche Berechnungsmethoden angewandt werden. Der entscheidende Faktor der Berechnung der Kühlgradtage bzw. der Vergleichbarkeit von Kühlgradtagen ist die angewandte Grenztemperatur. Dabei hat sich in der gängigen Fachliteratur der amerikanische Ansatz, mit einer Grenztemperatur von 65 °F oder 18,3 °C, durchgesetzt.

<sup>16</sup> Adaptiert aus Natiesta et al. 2022

Die Berechnung der Kühlgradtage erfolgt gemäß Formel (1):

$$KGT = \text{Wenn } [T_m \geq T_g] \text{ dann } \left[ \sum_i T_m^i - T_g \right] \text{ sonst } [KGT = 0] \quad (1)$$

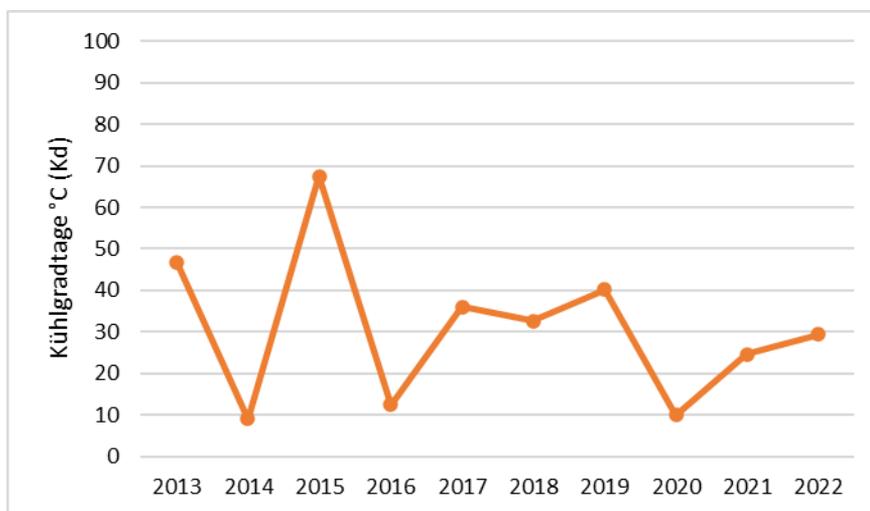
$T_m$  ... Tagesmitteltemperatur

$T_g$  ... Grenztemperatur

### eurostat Statistik Kühlgradtage

In einer von eurostat durchgeführten Statistik<sup>17</sup> ist der Verlauf des Kühlgradtagesindex pro Jahr dargestellt. Aufgrund einer fehlenden Definition von Kühlgradtagen wird der Kühlgradtagindex in dieser Statistik folgendermaßen definiert: Wenn die Tagesmitteltemperatur 24 °C übersteigt wird die Tagesmitteltemperatur mit 21 °C subtrahiert. In Abbildung 7 ist der Verlauf des Kühlgradtagindex im Zeitraum 2013 bis 2022 dargestellt. Aufgrund des kurzen Betrachtungszeitraumes von 10 Jahren kann kein langfristiger Trend abgeleitet werden. Es zeigt sich jedoch auch kein kurzfristiger Trend in der Entwicklung der Kühlgradtage.

Abbildung 7: Anzahl der Kühlgradtage in der Zeitperiode 2013-2022 in Österreich<sup>18</sup>



Aufgrund der kurzen Zeitperiode von 2013-2022 ist diese Statistik nur von geringer Relevanz.

<sup>17</sup> eurostat, 'Heizgradtage Und Kühlgradtage Nach Land - Jährliche Daten', 2023

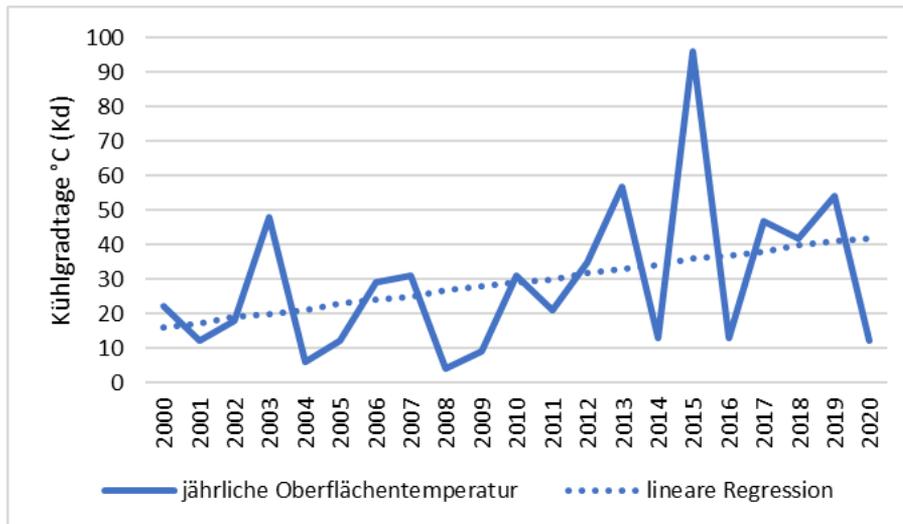
<[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_chdd\\_a/default/table?lang=de](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_chdd_a/default/table?lang=de)> [accessed 6 March 2023].

<sup>18</sup> eurostat, 'Heizgradtage Und Kühlgradtage Nach Land - Jährliche Daten'.

## IEA Statistik Kühlgradtage<sup>19</sup>

In einer von der IEA durchgeführten Statistik sind die Kühlgradtage in Österreich im Zeitraum von 2000 bis 2020 dargestellt (vgl. Abbildung 8). Als Grenztemperatur wird hier jedoch 21 °C und nicht 18,3 °C angewandt. Die Kühlgradtage entwickeln sich im Mittel von 16 KGT im Jahr 2000 bis zu 42 KGT im Jahr 2020.

Abbildung 8: Statistik der Kühlgradtage im Zeitraum von 2000 bis 2020 bei einer Grenztemperatur von 21 °C<sup>20</sup>



Durch die langfristige Beobachtung und die Möglichkeit einer linearen Regression besitzt diese Statistik eine hohe Relevanz für die Untersuchung. Es zeigt sich ein stetiger Anstieg der Kühlgradtage von 2000 bis 2020 um 263 %

## StartClim2006.F – Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich

In Pretenthaler et al. (2007) wurden die Kühlgradtage sowie die Nutzenergie zur Raumkühlung in Österreich analysiert. Bei der Berechnung der Kühlgradtage wird als Berechnungsgrundlage die weit verbreitete Grenztemperatur von 18,3 °C herangezogen. Es wurden die Jahressummen der Kühlgradtage von 1981-1990 sowie eine Prognose für den Zeitraum 2041-2050 dargestellt. Bei der Berechnung wurden die VERA-Rasterzellen mit 20x20 km Rastergröße angewandt.

Die Darstellung der Jahressummen der Kühlgradtage im Zeitraum 1981-1990 (Abbildung 9) illustriert, dass in den meisten Teilen des Alpenraums beinahe keine Kühlgradtage (1-50 KGT) auftreten und im Inn-, Drau- und Salzachtal Kühlgradtage von 51-100 herrschen. In Regionen mit niedrigerer Seehöhe werden bis zu 300 KGT erreicht. Im Nordosten Österreichs und in der Region um den Neusiedlersee werden die höchsten Werte ausgewiesen.

<sup>19</sup> IEA, 'Cooling Degree Days in Austria, 2000-2020', 2022 <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/cooling-degree-days-in-austria-2000-2020>> [accessed 14 March 2023].

<sup>20</sup> IEA.

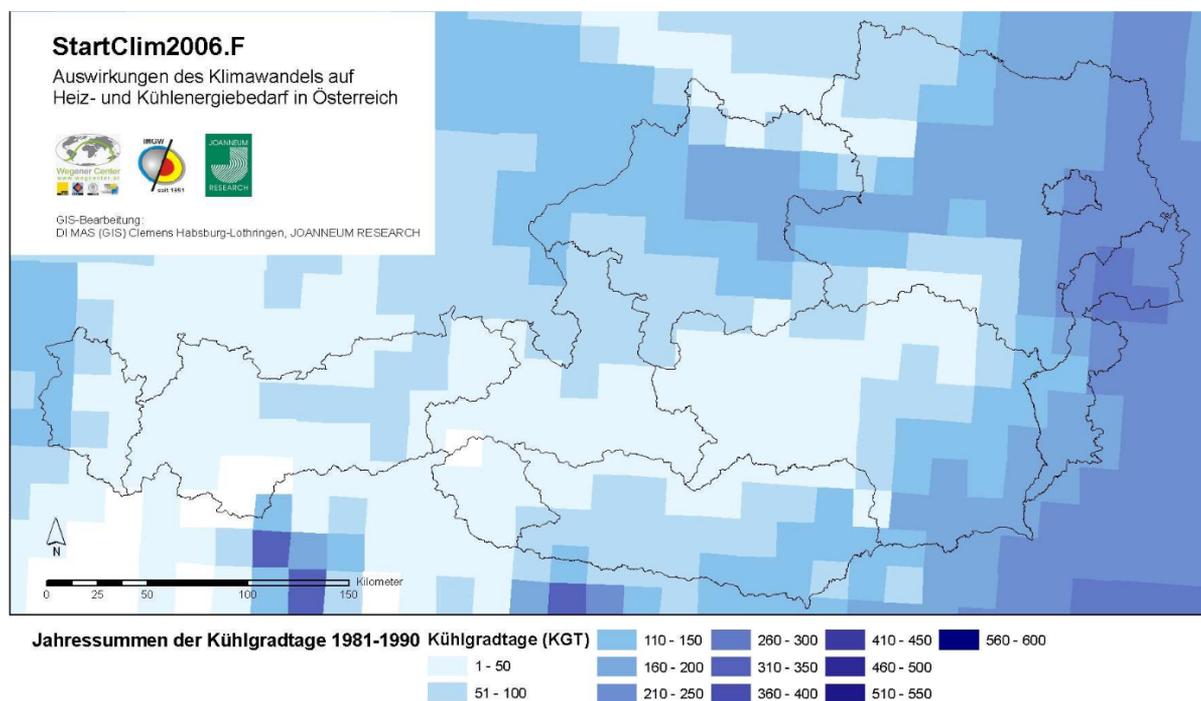
In der Prognose der Kühlgradtage im Zeitraum 2041-2050 (Abbildung 10) zeigt sich, im Vergleich mit der Periode 1981-1990, ein signifikanter Anstieg. Nur wenige alpine Gebiete weisen weniger als 50 Kühlgradtage pro Jahr auf. In den einzelnen Tälern zeigt sich eine Differenzierung entlang der Flussverläufe (Salzachtal und Inntal bis 250 KGT, Drautal bis 350 KGT, Unteres Murtal bis 450 KGT, Donautal 260 bis 400 KGT). Die Maximalwerte werden erneut in der Region um den Neusiedlersee mit bis zu 550 KGT erreicht.

Bei der Analyse der Zunahme der Kühlgradtage des Referenzzeitraums und der Prognose (Abbildung 11) zeigt sich, dass die absolute Zunahme in jenen Gebieten am ausgeprägtesten ist, welche bereits in der Referenzperiode die meisten Kühlgradtage aufgewiesen haben. Die größte Zunahme erfolgt in Nordostösterreich sowie in der Südoststeiermark und dem Südburgenland, mit einer Zunahme von 200 bis 300 Kühlgradtagen.

Bezüglich des Kälteenergiebedarfs berichtet diese Studie, dass zum damaligen Zeitpunkt keine statistischen Aufzeichnungen diesbezüglich verfügbar waren.

Als relevante Informationen werden die Veränderung der Kühlgradtage bis zum Jahr 2050 sowie die Erkenntnis, dass es zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Aufzeichnungen zum Kälteenergiebedarf gab, identifiziert.

Abbildung 9: Jahressummen der Kühlgradtage 1981-1990<sup>21</sup>



<sup>21</sup> Franz Pretenthaler and others, *Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich* (Graz, July 2007), p. 39 <[https://startclim.at/fileadmin/user\\_upload/StartClim2006/StClo6F.pdf](https://startclim.at/fileadmin/user_upload/StartClim2006/StClo6F.pdf)> [accessed 16 February 2023].

Abbildung 10: Jahressummen der Kühlgradtage 2041-2050<sup>22</sup>

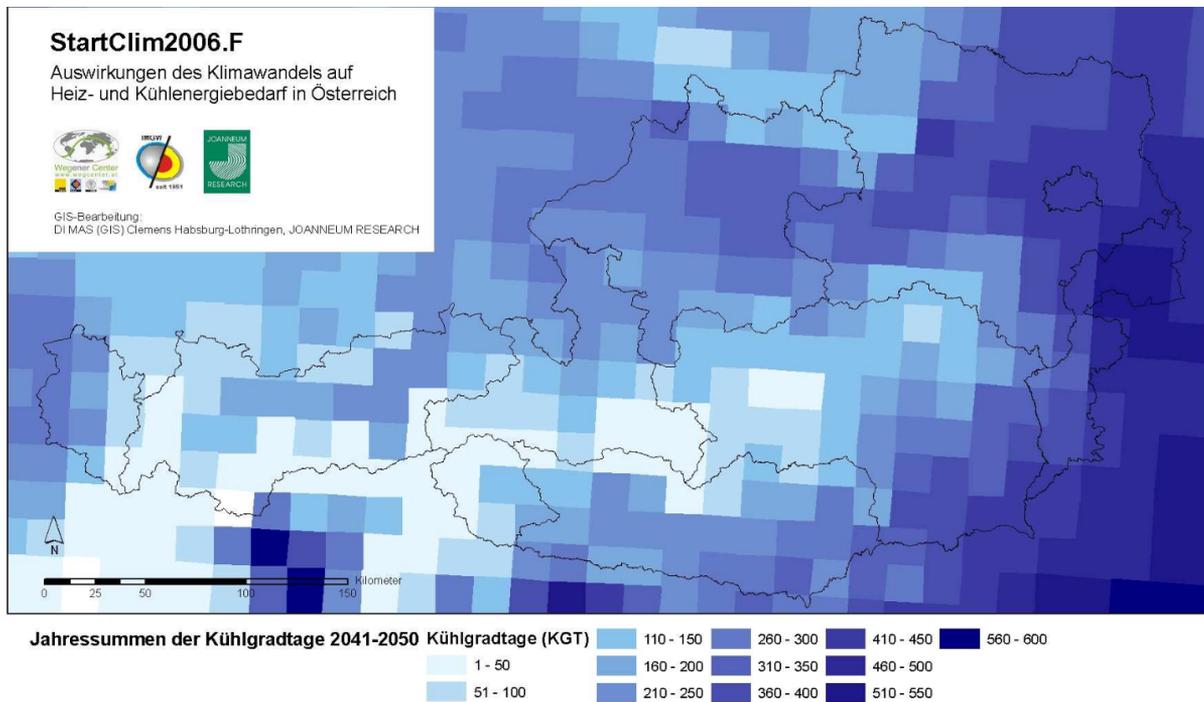
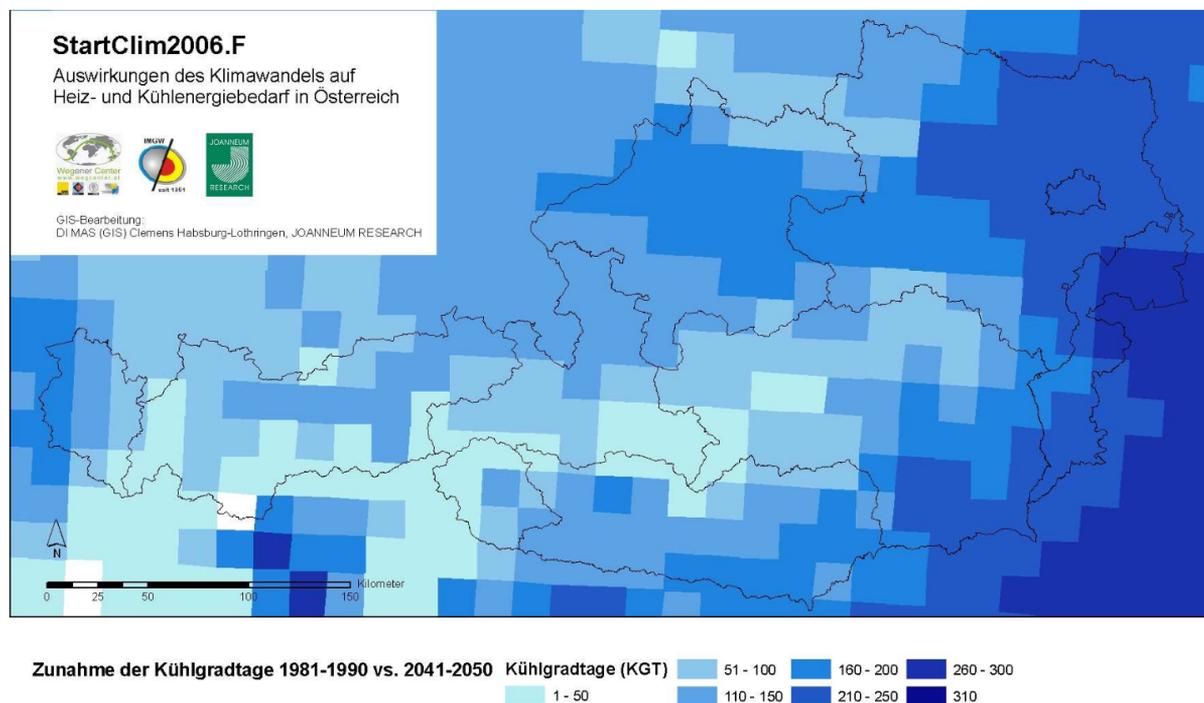


Abbildung 11: Zunahme der Kühlgradtage 1981-1990 vs. 2041-2050<sup>23</sup>



<sup>22</sup> Pretenthaler and others.

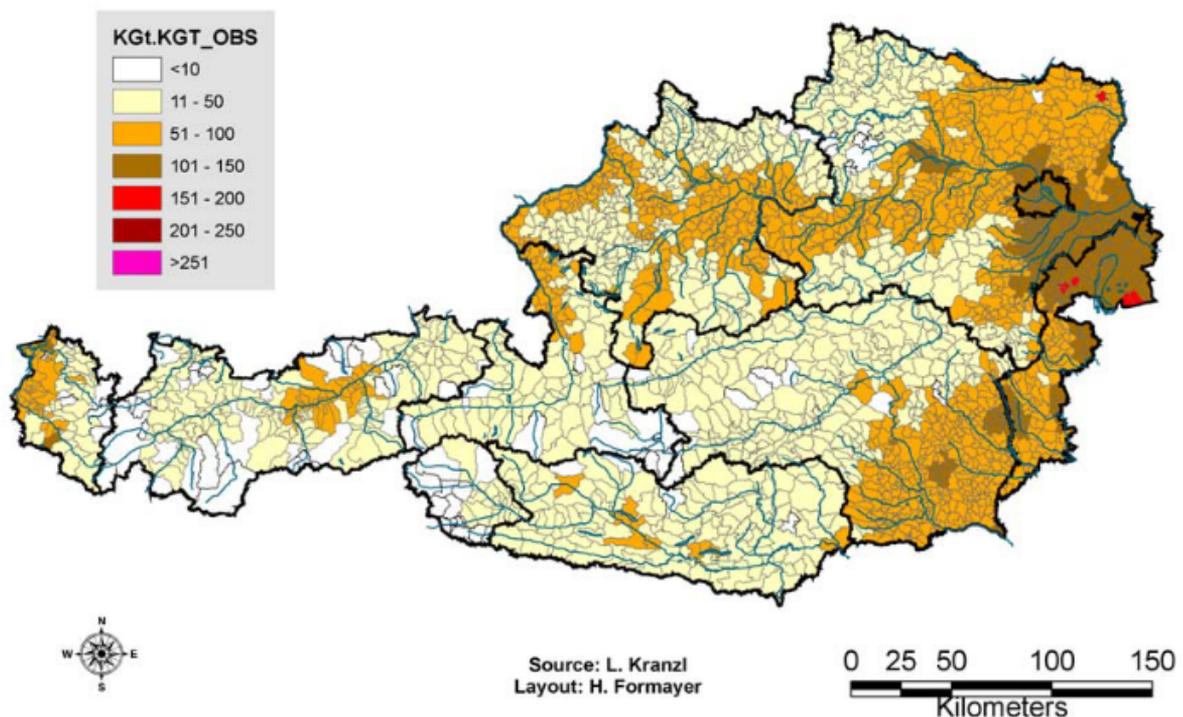
<sup>23</sup> Pretenthaler and others.

## Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren

In der Untersuchung von Kranzl et al. (2011)<sup>24</sup> wurden, zusätzlich zum Kälteenergiebedarf (siehe Kapitel 2.1), die Kühlgradtage, aufgelöst auf Gemeinde-Ebene, für die Periode 1961-1990 analysiert (vgl. Abbildung 12). Darauf aufbauend wurde eine Prognose für 2036-2065 ermittelt (vgl. Abbildung 13). Wie bereits oben beschrieben, gibt es keine eindeutige Definition für Kühlgradtage, daher ist bei einem Vergleich zwischen verschiedenen Studien auf die angewandte Grenztemperatur zu achten. In dieser Untersuchung wurde die übliche Grenztemperatur von 18,3 °C angewandt.

Bei der Analyse in Abbildung 12 zeigt sich, dass die Anzahl der Kühlgradtage in den wärmsten Regionen in der Referenzperiode Werte zwischen 200 und 250 KGT liegen. Diese Maxima werden nach der Prognose für das Jahr 2050 entlang des gesamten Donautals, im Grazer Becken und auch im Rheintal erreicht. In Wien werden großflächig Werte über 250 Gradstunden erreicht werden. Auch in höher gelegenen Regionen verändern sich die Kühlgradtage und es kommt zu einem vermehrten Kältebedarf in diesen Regionen.

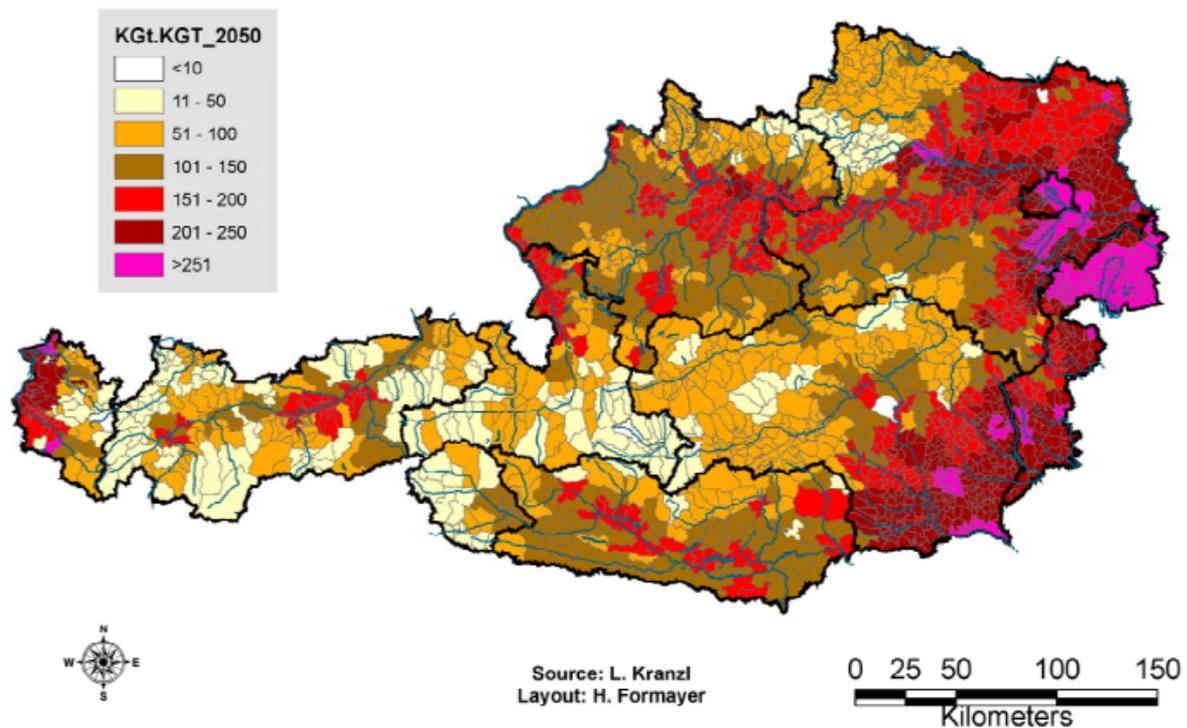
Abbildung 12: Mittlere beobachtete Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich für die Referenzperiode 1961-1990<sup>25</sup>



<sup>24</sup> Kranzl, Müller, and Formayer.

<sup>25</sup> Kranzl, Müller, and Formayer.

Abbildung 13: Mittlere Kühlgradtagsumme auf Gemeindeebene in Österreich im Zeitraum 2036-2065, basierend auf dem Klimaänderungssignal von REMO-UBA



Als relevante Informationen wird die Veränderung der Kühlgradtage bis in die Periode 2036-2065 identifiziert.

## ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich

Das Ziel der Untersuchung war es eine Analyse des Klimas in Österreich für die Vergangenheit sowie eine Prognose bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, für zwei Treibhausgasszenarien – einem „business-as-usual“ Szenario und einem Klimaschutz-Szenario – durchzuführen. Bei den beiden Treibhausgasszenarien handelt es sich um die vom IPCC definierten, sogenannten repräsentativen Konzentrationspfade RCP4.5 und RCP8.5. Sie werden mit der Änderung des Strahlungshaushalts bezeichnet, der sich gegen Ende des Jahrhunderts aufgrund der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre einstellt. Das Szenario RCP8.5 bezeichnet somit eine Änderung des Strahlungshaushalts von  $8,5 \text{ W/m}^2$  für das Jahr 2100 und entspricht dem *business as usual* Szenario. Bei der Berechnung der Kühlgradtage wurde die Grenztemperatur von  $65 \text{ °F}$  bzw.  $18,3 \text{ °C}$  angewandt.

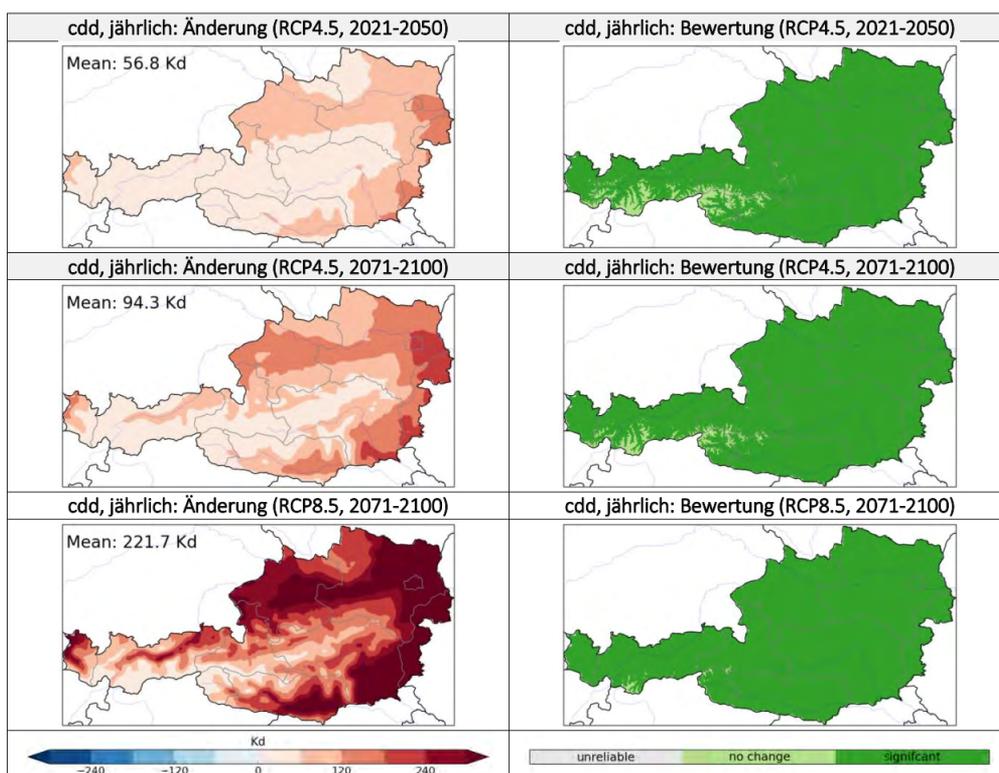
Die Auswertung der Kühlgradtage in der Periode 1986-2010 ergibt einen Median von ca. 74 Kd bzw. einen Mittelwert von rund 95 Kd über das gesamte Bundesgebiet. Dabei ist die Streuung jedoch lokal stark unterschiedlich, mit Kühlgradtagen von 70 Kd in Weitra bis hin zu 330 Kd im Seewinkel.

Im Zuge dieser Analyse wurde die Entwicklung der Kühlgradtage in der Zukunft untersucht und mit der Klimaperiode 1971-2000 verglichen. Dabei wurde erkannt, dass die Kühlgradtage in beiden Szenarien in der nahen Zukunft (bis 2050) um ca. 57 Kd zunehmen werden. Als besonders betroffene Regionen stellen sich der Norden Österreichs, angefangen mit Wien über Niederösterreich (ausgenommen Waldviertel) über Oberösterreich (ausgenommen Teile des Mühlviertels) bis hin zum

Norden Salzburgs, sowie der Südosten Österreichs, angefangen vom Burgendland bis ins südliche Kärnten.

In ferner Zukunft (bis 2100) zeigen sich in den Szenarien deutliche Unterschiede mit 94 Kd in RCP4.5 und ca. 222 Kd in RCP8.5 (vgl. Abbildung 14).<sup>26</sup> Die geringen Änderungen bis 2050 zeigen sich auch bei der Analyse der Mitteltemperatur. In diesem Zeitraum liegen die Unterschiede der Mitteltemperatur bei 0,1 K. In ferner Zukunft (bis 2100) liegt der Anstieg der Mitteltemperatur im Szenario RCP4.5 bei 2,3 K, im Szenario RCP8.5 bei 4,0 K.

Abbildung 14: Oben: Änderung der Kühlgradtage in naher Zukunft des RCP4.5. Mitte: Änderung der Kühlgradtage in ferner Zukunft des RCP4.5. Unten: Änderung der Kühlgradtage in ferner Zukunft des RCP8.5<sup>27</sup>



Als relevante Information werden die Veränderung der mittleren Anzahl der Kühlgradtagen in Österreich sowie die geringen Differenzen des Temperaturanstiegs in den Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 bis zum Jahr 2050 identifiziert.

<sup>26</sup> Chimani and others.

<sup>27</sup> Chimani and others.

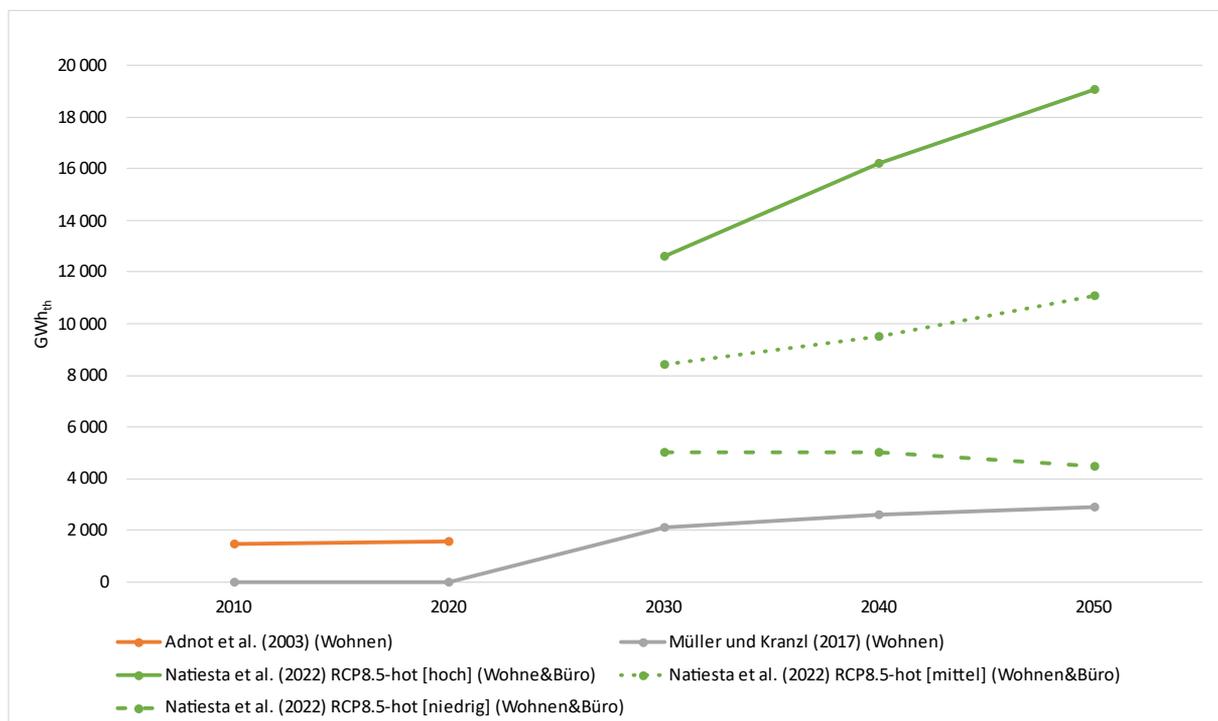
### 2.3. Zusammenfassung nationale Kältebedarfsszenarien

In der durchgeführten Literaturrecherche zu nationalen Kältebedarfsszenarien wurde erkannt, dass zum notwendigen Endenergiebedarf zur Raumkühlung für Österreich derzeit noch sehr eingeschränkte Daten und Untersuchungen vorliegen.

Bei den Ergebnissen des Kältebedarfs zeigt sich in den untersuchten Studien, in welchen eine Quantifizierung des Kältebedarfs angestellt wurde, ein großer Unterschied des Kältebedarfs für Wohngebäude. In der *Heat Roadmap Europe* wird von einem Kältebedarf für Wohngebäude von 32 GWh/a ausgegangen und in Adnot et al. (2003) von 503 GWh/a. Eine Analyse des Anteils am Gesamtstromverbrauch von Raumkühlung im jeweiligen Betrachtungszeitraum, 0,001 % bei der *Heat Roadmap Europe* und 3,4 % bei Adnot et al. (2003), zeigt, dass trotz der großen Unterschiede zwischen den Studien der Anteil am Gesamtstromverbrauch gering ausfällt.

Bezüglich Prognosen (vgl. Abbildung 15) zeigt sich in den Studien eine signifikante Streuung des Kältebedarfs. Besonders auffällig in den Szenarien von Natiesta et al. (2022) ist das hohe Startniveau im Jahr 2030 sowie die Reduktion des Kältebedarfs bei Szenario „niedrig“ im Jahr 2050. Die Prognosen von Müller und Kranzl (2017) gehen von einer starken Steigung im Zeitraum bis 2030, jedoch danach von einem verringerten Anstieg des Kältebedarfs aus. Das geringe Niveau des Kältebedarfs deckt sich mit den Erkenntnissen der *Heat-Roadmap-Europe*.

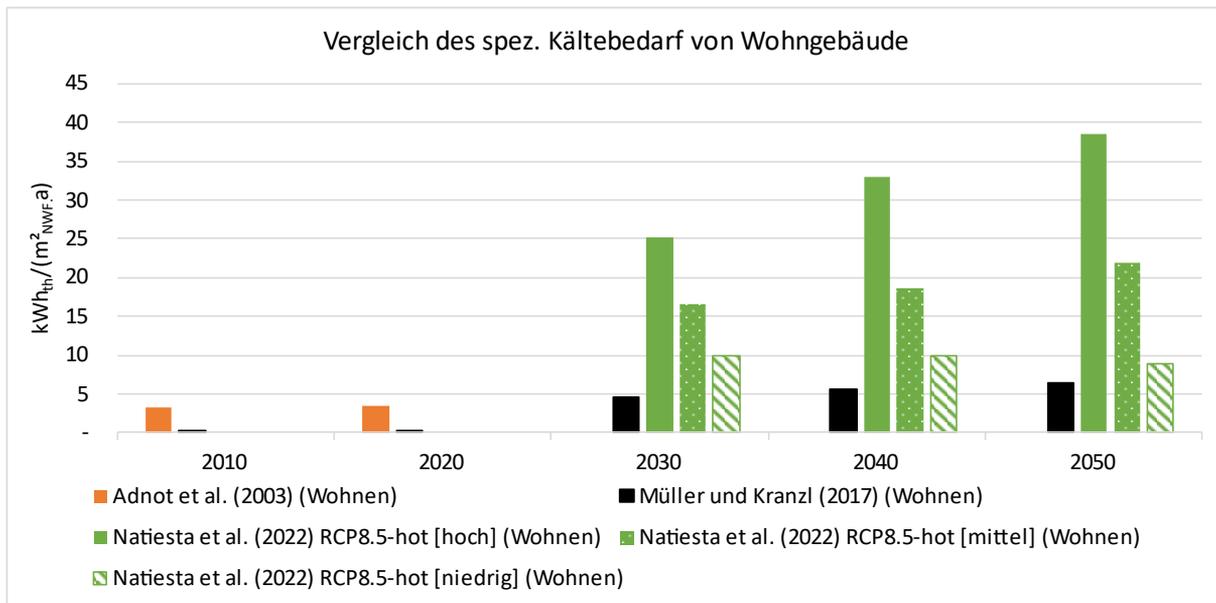
Abbildung 15: Vergleich des Kältebedarfs der untersuchten Studien für Wohnen und Büro



Die Unterschiede der Höhe des Kältebedarfs könnten eventuell aufgrund der berücksichtigten gekühlten Flächen erklärt werden. Auf diesen Punkt wird in den Studien jedoch nicht eingegangen. Werden die Prognosewerte mit der, in allen Varianten gleichen, Nettowohnfläche (WNF) von Österreich von 455 Mio. m<sup>2</sup> dividiert, (vgl. Abbildung 16) ergeben sich spezifische Kältebedarfe von ca. 5 bis 25 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>·a) im Jahr 2030 und ca. 6 bis 38 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>·a) im Jahr 2050. Werden diese

Zahlen in Relation mit derzeitigen Planungen von Kälteauslegungen bei Wohnnutzung, ca. 8 bis 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a) am Standort Wien, verglichen sind vor allem die spezifischen Kältebedarfe von Natiesta et al. (2022) hoch angenommen.

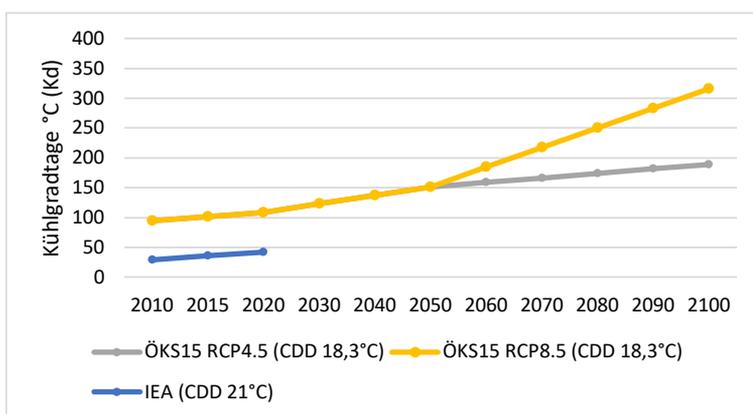
Abbildung 16: Vergleich des spezifischen Kältebedarfs von Wohngebäuden von 2010 bis 2050 der untersuchten Studien



Eine Gegenüberstellung der Statistiken sowie Prognosen zu den Kühlgradtagen (Abbildung 17) zeigt einen eindeutigen Anstieg dieser. Zu nennen ist dabei die unterschiedliche Grenztemperatur, die für die Ermittlung der Kühlgradtage angewendet wurden.

Wie bereits in ÖKS15 beschrieben, kann davon ausgegangen werden, dass bis zum Jahr 2050 die Unterschiede zwischen den Klimaszenarien marginal sind. Die Einflüsse der Treibhausgasszenarien wirken jedoch nach 2050 deutlich stärker, die Weichen für die jeweiligen Auswirkungen müssen, aufgrund der Trägheit des Klimas, bereits jetzt getroffen werden.

Abbildung 17: Gegenüberstellung der untersuchten Kühlgradtage



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Sachlage bezüglich des nationalen Kältebedarfs nur sehr gering ist. Die Datenlage ist vor allem auf Seiten der Statistiken sehr gering, da meist Wärme und Kälte zusammengefasst werden. Bei den Prognosen zeigt sich, dass diese deutliche Unterschiede zueinander aufweisen.

# 3 Internationale Kältebedarfsszenarien

Zusätzlich zur Analyse von nationalen Untersuchungen zum Kältebedarf werden in diesem Kapitel sowohl klimatisch als auch kulturell vergleichbare internationale Kältebedarfsszenarien analysiert. Um geeignete und vergleichbare Nationen zu identifizieren, wird in diesem Kapitel einerseits die kulturelle Ähnlichkeit und andererseits die klimatische Ähnlichkeit mit Österreich untersucht. Für jene Länder mit der höchsten Übereinstimmung wird eine Literaturrecherche zu nationalen Kältebedarfsszenarien durchgeführt.

## 3.1. Kulturelle Ähnlichkeit

Das physiologische Empfinden ist mitunter kulturell bedingt<sup>28</sup>. Die Auswertung von Bedarfen anderer Länder ist somit an die kulturelle Ähnlichkeit geknüpft. Dazu zählen unter anderem die kulturellen Wertvorstellungen, die Sozialisierung, die Kaufkraft, das Komfortempfinden, der Kleidungs- und Baustil bzw. die baulichen Standards.

### Index kulturellerer Ähnlichkeit

Der von Dr. Jochen Roose entwickelte Index kultureller Ähnlichkeit beschreibt „ein Maß zur Bestimmung kultureller Ähnlichkeit von Personengruppen im Paarvergleich“<sup>29</sup>. Als Datengrundlage dienen die Ergebnisse der *European Social Survey* (ESS), einer sozialwissenschaftlichen, ländervergleichenden Umfrage in Europa mit zweijährigem Rhythmus. Dabei kommen teils wechselnde Themen, jedoch auch Themen zu Fragen zu den Wertedimensionen nach Shalom Schwartz zur Anwendung. Dabei wird zwischen den folgenden Wertetypen unterschieden:

Tabelle 2: Wertetypen höherer Ordnung nach Shalom Schwartz

Offenheit für Veränderungen	Selbstverwirklichung	Bewahren	Transzendenz
- Kreativität	- Anerkennung	- Familiäre Sicherheit	- Loyalität
- Unabhängigkeit	- Erfolge	- Nationale Sicherheit	- Hilfsbereitschaft
- Abwechslungsreichtum	- Wohlstand	- Gehorsam	- Gleichheit
- Aufregendes Leben	- Autorität	- Anständiges Benehmen	- Tolerant
- Spaß		- Mäßigung	- Umweltschutz
- Leben genießen		- Respekt vor Traditionen	

<sup>28</sup> Harold Wilhite and others, 'A Cross-Cultural Analysis of Household Energy Use Behaviour in Japan and Norway', 1996 <[https://www.researchgate.net/profile/Harold-Wilhite/publication/223030148\\_A\\_cross-cultural\\_analysis\\_of\\_household\\_energy\\_use\\_behaviour\\_in\\_Japan\\_and\\_Norway/links/5b1954c2aca272021c\\_eee8e3/A-cross-cultural-analysis-of-household-energy-use-behaviour-in-Japan-and-Norway.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Harold-Wilhite/publication/223030148_A_cross-cultural_analysis_of_household_energy_use_behaviour_in_Japan_and_Norway/links/5b1954c2aca272021c_eee8e3/A-cross-cultural-analysis-of-household-energy-use-behaviour-in-Japan-and-Norway.pdf)> [accessed 28 March 2023].

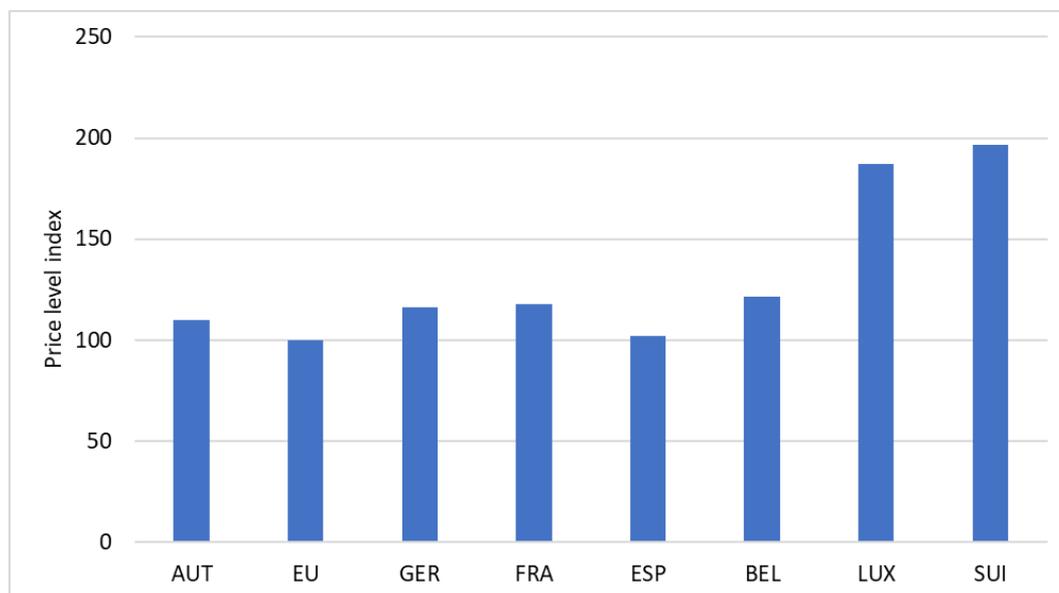
<sup>29</sup> Jochen Roose, 'Index Kultureller Ähnlichkeit', *Der Index Kultureller Ähnlichkeit* <[http://userpage.fu-berlin.de/~jroose/indexkultahn/main\\_konstruktion.htm](http://userpage.fu-berlin.de/~jroose/indexkultahn/main_konstruktion.htm)> [accessed 9 March 2023].

Wird der Index der kulturellen Ähnlichkeit für Österreich untersucht zeigt sich, dass die höchste Übereinstimmung mit Deutschland (0,85), Belgien (0,83) und Luxemburg (0,82) besteht. Trotz der geographischen Nähe liegt das Nachbarland Schweiz (0,79) sogar knapp hinter Spanien (0,80) und Großbritannien (0,80).

## Kaufkraft

Um einen Vergleich der Kaufkraft zwischen Ländern durchzuführen wird die Kaufkraftparität angewandt. Dabei handelt es sich um einen Indikator für Preisniveauunterschiede zwischen Ländern. Die Kaufkraftparität gibt an wie viele Währungseinheiten eine bestimmte Menge von Waren und Dienstleistungen in unterschiedlichen Ländern kostet. In der von eurostat zur Verfügung gestellten Analyse werden die Wohnkosten als relevanter Bereich herangezogen. Das Verbraucherpreisniveau für Wohnkosten lag im Jahr 2021, siehe Abbildung 18, in Österreich bei 109,9 Punkten. 100 Punkte ergeben den EU-Durchschnitt. Die höchsten Wohnkosten fallen in der Schweiz, mit 196,7 Punkten (+86,8) an. Am nächsten zu Österreich ist Deutschland mit 116,2 Punkten (+6,3), gefolgt von Frankreich mit 117,6 Punkten (+7,7), Spanien mit 102,0 Punkten (-7,9) und Belgien mit 121,5 Punkten (+11,6). Die laut dem Index der kulturellen Ähnlichkeit vergleichbare Nation Luxemburg weist mit 186,9 Punkten (+67,9) bereits deutliche Unterschiede bezogen auf die Kaufkraft auf.

Abbildung 18: Vergleich des Price Level Index für Wohnkosten für ausgewählte europäische Länder<sup>30</sup>



<sup>30</sup> eurostat, 'Verbraucherpreisniveaus EU' <<https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/purchasing-power-parities/visualisations#>> [accessed 9 March 2023].

## Baustil

Im Rahmen des Intelligent Energy Europe Programm (IEE)-Projekts „*Typological Approach for Building Stock Energy Assessment*“ (TABULA) wurden Wohngebäudetypologien für 21 europäische Nationen (Österreich, Bosnien und Herzegowina, Belgien, Bulgarien, Zypern, Tschechien, Deutschland, Dänemark, Spanien, Frankreich, Großbritannien, Griechenland, Ungarn, Irland, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Serbien, Schweden und Slowenien) entwickelt. Jede nationale Typologie besteht aus einem Klassifizierungsschema, das Gebäude nach Größe, Alter und weiteren Parametern gruppiert, sowie aus einer Reihe von Beispielgebäuden, die die Gebäudetypen repräsentieren.

Das Projekt bietet zum Informationsaustausch das *TABULA WebTool* an. Dabei handelt es sich um eine Berechnung der Beispielgebäude aus allen Ländern, deren energetische Eigenschaften und die möglichen Energieeinsparungen durch Sanierungsmaßnahmen abbildet. Grundlage des *TABULA WebTools* ist ein einfaches und transparentes Referenzverfahren zur Berechnung des Energiebedarfs, des Energieverbrauchs durch Energietechnik und der Energietechnikbewertung (Primärenergieeinsatz, Kohlendioxidemissionen, Kosten).

Zum Vergleich der Ähnlichkeit des Baustils werden die U-Werte herangezogen, da energiespezifische Kennwerte wie der HWB, von den nationalen Berechnungsmethoden abhängig sind. Bei der Analyse der U-Werte wurde erkannt, dass Deutschland und Frankreich eine hohe Übereinstimmung der U-Werte über die unterschiedlichen Bauperioden mit Österreich aufweisen.

## Auswertung kulturelle Ähnlichkeit

Die Auswertung der kulturellen Ähnlichkeit zu Österreich (Tabelle 3) zeigt, dass die Länder Deutschland und Belgien nach den untersuchten Kriterien als kulturell ähnlich zu Österreich gelten. Die Faktoren des Index der kulturellen Ähnlichkeit, der Kaufkraft im Bereich Wohnen und der Baustil führen zu diesem Ergebnis. Diese Nationen werden im nächsten Schritt zusätzlich auf klimatische Ähnlichkeit überprüft.

Tabelle 3: Übersicht der kulturellen Ähnlichkeit der untersuchten Länder mit Österreich

Land	Index kulturelle Ähnlichkeit	Ähnliche Kaufkraft	Ähnlicher Baustil	Kulturell ähnlich
<b>Deutschland</b>	<b>J (0,85)</b>	<b>J (+6,3)</b>	<b>J</b>	<b>J</b>
<b>Belgien</b>	<b>J (0,83)</b>	<b>J (+11,6)</b>	<b>J</b>	<b>J</b>
Luxemburg	J (0,82)	N (+77,0)	N	N
Spanien	J (0,80)	J (-7,9)	N	N
Schweiz	J (0,79)	N (+86,8)	N	N
Frankreich	N (0,64)	J (+7,7)	J	N

## 3.2. Klimatische Ähnlichkeit

Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl geeigneter internationaler Vergleichsszenarien ist die klimatische Ähnlichkeit. Dabei wird in der gegenständlichen Untersuchung einerseits die Klassifizierung nach Köppen-Geiger sowie nach den Kühlgradtagen angewandt.

### 3.2.1. Klimatische Ähnlichkeit der Klimaklassifikation nach Köppen-Geiger

Die bekannteste Einteilung von Gebieten mit klimatologisch ähnlichen Bedingungen ist jene von Wladimir Peter Köppen und Rudolf Geiger. Dabei wird die Erde in fünf unterschiedliche Klimazonen eingeteilt, und diese in weitere Unterzonen unterteilt. Diese Klimazonen sind mit einem 3-stelligen Buchstabencode gekennzeichnet<sup>31</sup>.

Österreich ist aufgrund seiner Landschaft, insbesondere den Alpen, in mehrere klimatischen Klassen unterteilt. Dazu zählen Dfb (Kalt, ohne Trockenperiode, warme Sommer) in niedrigeren Lagen und Dfc (kalt, ohne Trockenperiode, kalte Sommer) in den höheren Lagen. Sie unterscheiden sich lediglich hinsichtlich der Sommertemperaturen. Charakteristisch für die Klasse dfb sind warme Sommer, in denen kein Monat eine mittlere Außentemperatur von 22°C, aber mehr als 4 Monate eine Außenlufttemperatur von 10 °C überschreiten. Bei kalten Sommern, primär in den alpinen Gebieten, trifft letzteres Kriterium auf weniger als 4 Monate zu.

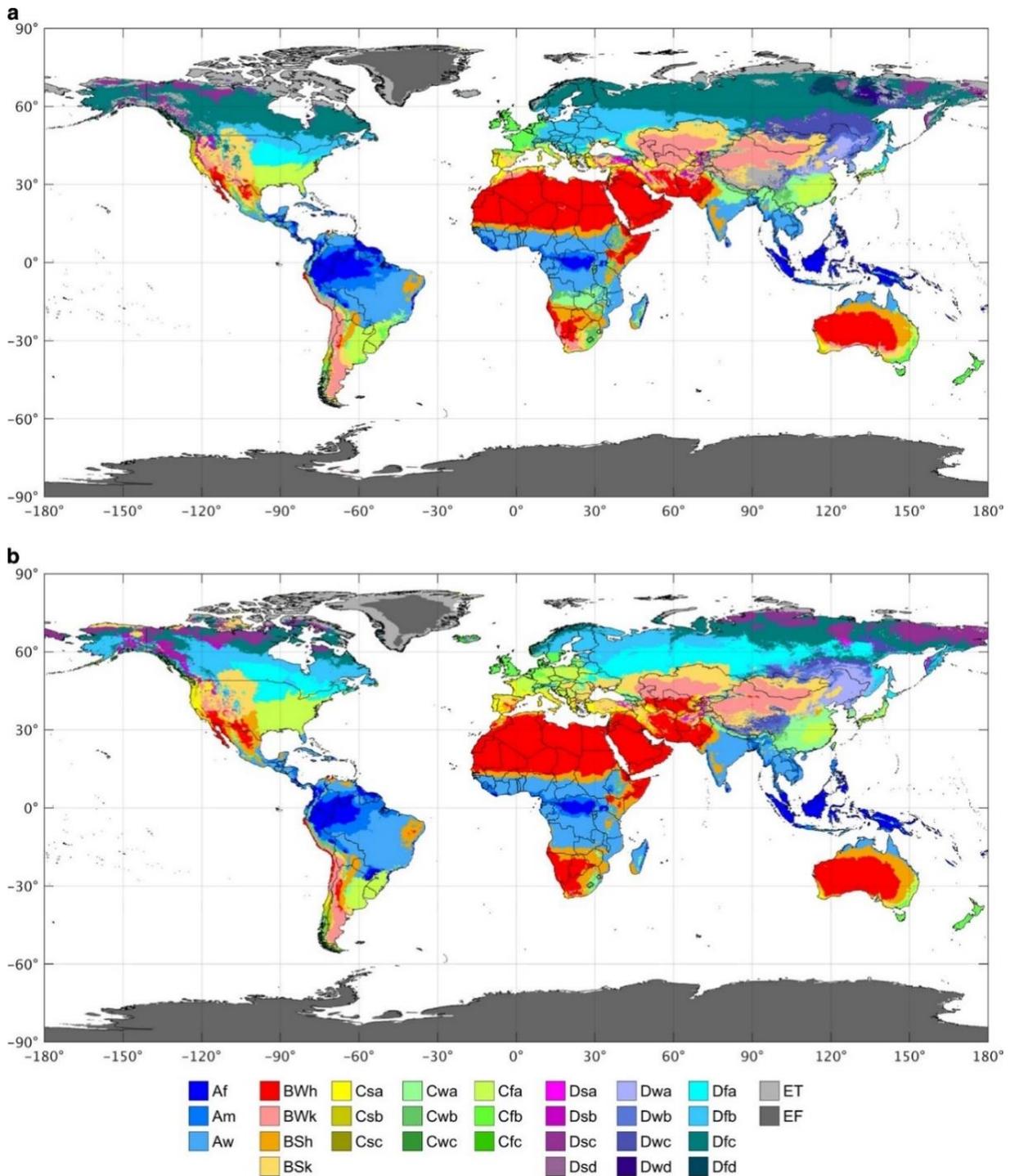
Hierbei ist jedenfalls anzumerken, dass diese Klassifikation auf der Periode 1980 bis 2016 basiert. Betrachtet man nun zukünftige Klimaszenarien aus der Periode 2071 bis 2100 sind deutliche Verschiebungen zu vernehmen.

In Zukunft werden sich die alpinen Regionen zu der Klasse Dfb (Kalt, ohne Trockenperiode, warme Sommer) und die flacheren Gebiete zu Cfa (gemäßigt, ohne Trockenperiode, heiße Sommer) entwickeln. Die Cfa Klassifizierung deutet darauf hin, dass der wärmste Monat über 22 °C mittlere Außentemperatur und der kälteste Monat zwischen 0 °C und 18 °C mittlere Außentemperatur aufweisen wird.

---

<sup>31</sup> 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>

Abbildung 19 Köppen-Geiger Klimaklassifikation aktuell (Abbildung oben, Klimaperiode 1980-2016) und zukünftig (Abbildung unten, Klimaperiode 2071-2100) <sup>32</sup>



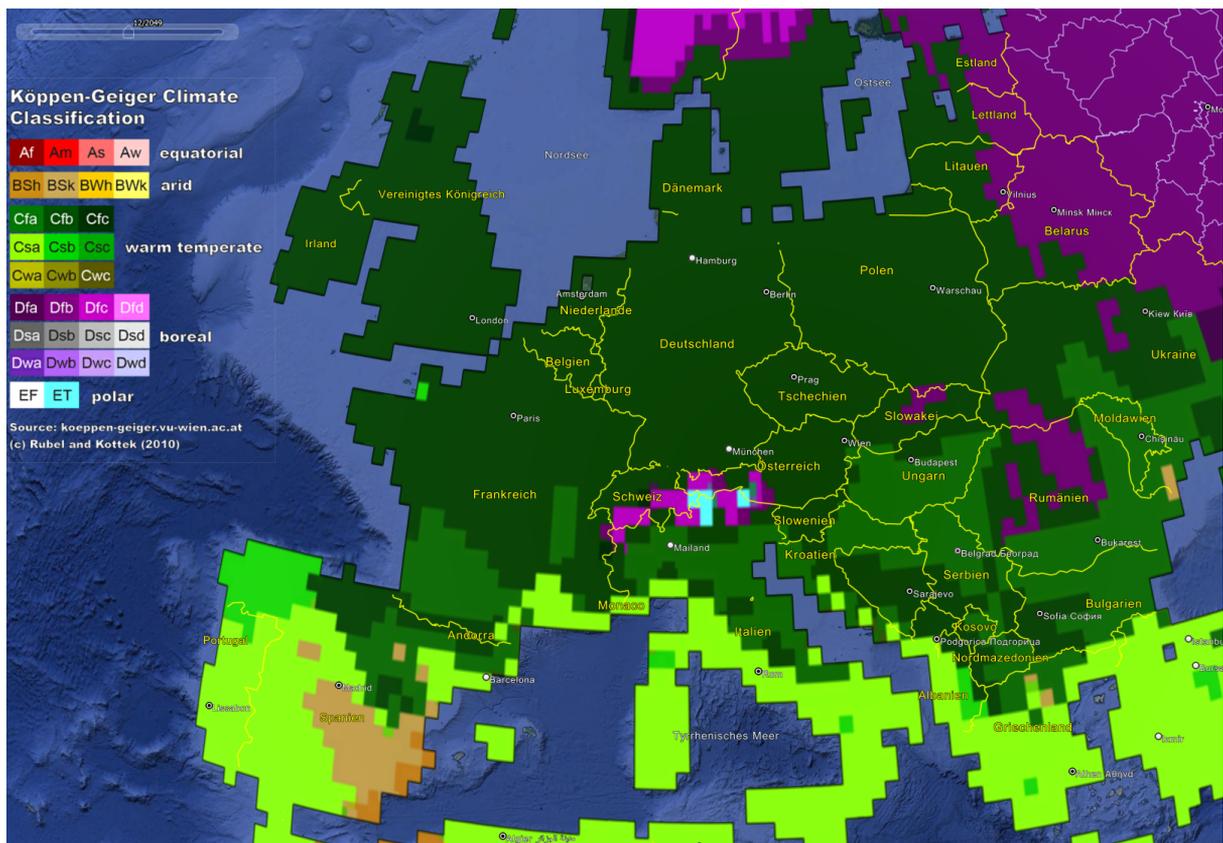
Werden nun Länder mit gleicher Klimaklassifikation gesucht, so zeigt sich, dass aktuell osteuropäische Länder wie Polen, Tschechien oder Litauen, aber auch Südost-Deutschland für die

<sup>32</sup> 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>

Voralpenregionen und skandinavische Länder wie Finnland oder Schweden für die alpinen Gegenden vergleichbar sind.

Wertet man nun die zukünftige Klassifikation aus (Abbildung 20), so zeigt sich eine Verschiebung in den Niederungen zu Deutschland, Frankreich und Polen. Die Alpen bleiben mit Skandinavien vergleichbar.

Abbildung 20: Klimatische Einteilung nach Köppen-Geiger für Europa (Prognose 2050)<sup>33</sup>



### 3.2.2. Klimatische Ähnlichkeit nach Kühlgradtagen

Als meteorologischer Kennwert geben Kühlgradtage Aufschluss über die theoretische Notwendigkeit von Raumkühlung.

Eine Analyse der Kühlgradtage in Österreich ist in Kapitel 2.2 dargestellt. Werden die Kühlgradtage von Österreich in Kontext mit anderen europäischen Ländern gestellt (Abbildung 21) ist zu sehen, dass die Länder Schweiz, Belgien, Deutschland, Tschechien und Slowakei vergleichbare Kühlgradtage aufweisen. Die Kühlgradtage betragen in diesen Ländern zwischen 0 bis ca. 150 Kd.

Bei einer Analyse der Veränderung der Kühlgradtage in Zukunft (Abbildung 22) zeigt sich erneut, dass die Unterschiede in der nahen Zukunft (bis 2070) zwischen den Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5, gering ausfallen. In Österreich nehmen die Kühlgradtage vor allem im Norden und Osten um ca. 150

<sup>33</sup> <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>

Kühlgradtage zu. Vergleicht man dies mit den vorher identifizierten Ländern zeigt sich ein ähnliches Bild. Vor allem die Schweiz weist aufgrund der ähnlichen geografischen Topologie der Alpen, eine hohe Ähnlichkeit mit Österreich auf.

Abbildung 21: Kühlgradtage in Europa im Zeitraum 1981 bis 2010<sup>34</sup>

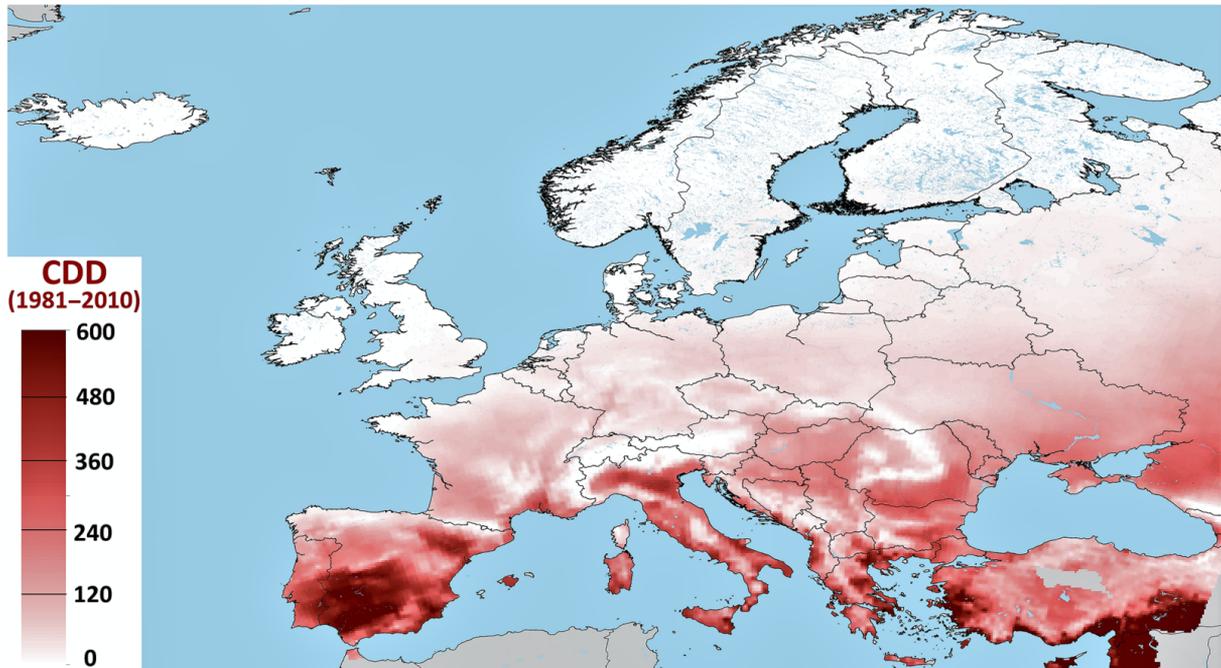
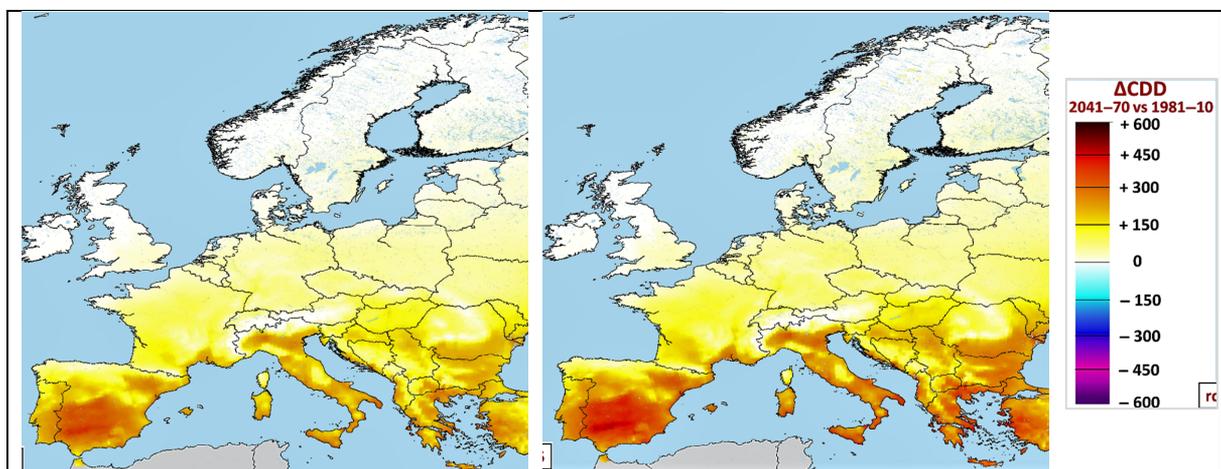


Abbildung 22: Prognose der Änderung der Kühlgradtage in Europa in den Klimaszenarios RCP4.5 (links) und RCP8.5 (rechts)<sup>35</sup>



<sup>34</sup> Jonathan Spinoni and others, 'Changes of Heating and Cooling Degree-Days in Europe from 1981 to 2100', *International Journal of Climatology*, 38.S1 (2018), e191–208 <<https://doi.org/10.1002/joc.5362>>.

<sup>35</sup> Spinoni and others.

Aufgrund der in diesem Kapitel durchgeführten Analysen werden folgende Länder als klimatisch ähnlich definiert: (1) Deutschland, (2) Norwegen, (3) Tschechien, (4) Polen, (5) Slowakei, (6) Schweiz, (7) Liechtenstein und (8) Belgien.

## Kühlgradtage in Deutschland

Deutschland wird gemäß DIN 4108-2:2013-02 in die folgenden Sommerklimaregionen unterteilt:

- Sommer-Klimaregion A  
„Sommerkühle“ Gebiete mit höchsten Monatsmitteltemperaturen  $\leq 16,5$  °C (entspricht Mittelgebirgslagen oder Küstenregionen, z.B. Kiel, Lüdenscheid, Obersdorf)
- Sommer-Klimaregion B  
„Durchschnittliche“ Gebiete mit höchsten Monatsmitteltemperaturen über 16,5 °C und unter 18 °C (überwiegender Teil Deutschlands, z.B. Hamburg, Hannover, Potsdam, Köln, Stuttgart, München)
- Sommer-Klimaregion C  
„Sommerheiße“ Gebiete mit höchsten Monatsmitteltemperaturen  $\geq 18$  °C (Flussniederungen z.B. Dresden, Leipzig, Nürnberg, Frankfurt/Main)

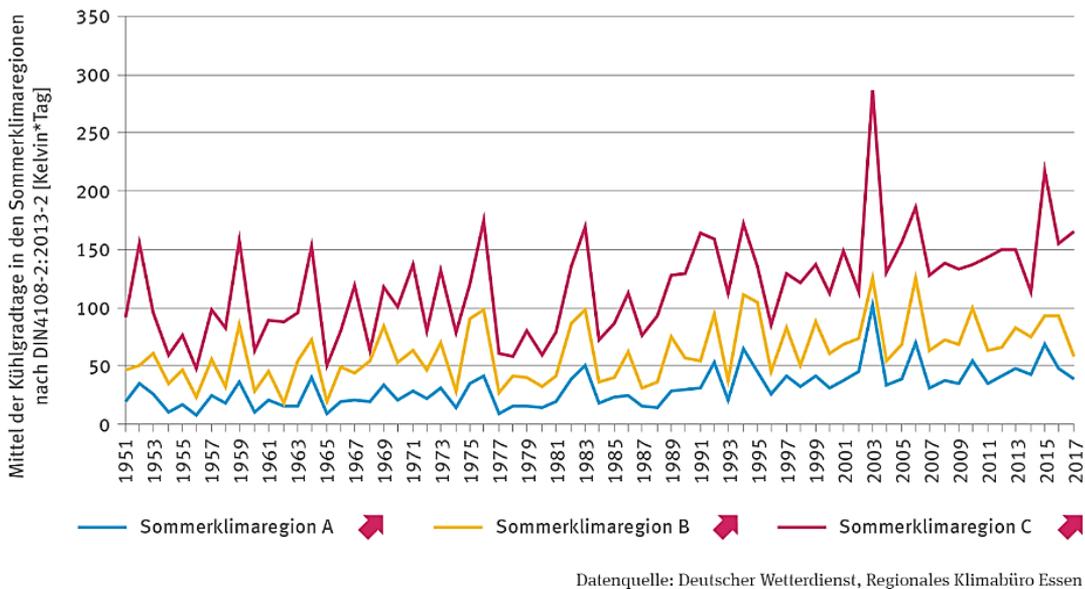
Abbildung 23: Einteilung von Deutschland in die drei Sommerklimaregionen gemäß DIN 4108-2:2013-02<sup>36</sup>



<sup>36</sup> Deutsches Institut für Normung, 'DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz', 2013.

Der Verlauf der Kühlgradtage in den nach DIN 4108-2:2013-02 definierten Sommerklimaregionen in Deutschland (Abbildung 24) zeigt seit 1951 einen ansteigenden Trend. Ein Vergleich mit der Klimanormalperiode 1961-1990 zeigt, dass seit 1999 in allen drei Regionen die Kühlgradtage über dem Mittelwert der Periode 1961-1990 liegen.

Abbildung 24: Mittel der Kühlgradtage in den Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2:2013-02 in Deutschland<sup>37</sup>



Bei dieser Berechnung der Kühlgradtage erfolgt die Berechnung jedoch anders als in den gängigen Berechnungsmodellen. Es wird die in Spinoni et al. 2015<sup>38</sup> entwickelte Methode angewandt, bei welcher bei Überschreitung eines Temperaturschwellenwerts von 22 °C die Höhe der Überschreitungen pro Tag über alle Tage des Jahres in gewichteter Form aufsummiert. Die Berechnungsmethode ist in Formel (2) abgebildet.

$$CDD_i = \begin{cases} 0 & T_b \geq T_x \\ \frac{T_x - T_b}{2} & T_M \leq T_b < T_x \\ \frac{T_b - T_N}{4} & T_N \leq T_b < T_M \\ T_M - T_b & T_b \leq T_N \end{cases} \quad \text{if} \quad \begin{cases} T_b \geq T_x \\ T_M \leq T_b < T_x \\ T_N \leq T_b < T_M \\ T_b \leq T_N \end{cases} \quad (2)$$

with  $T_b = 22^\circ\text{C}$

$$CDD = \sum_{i=1}^{182} CDD_i$$

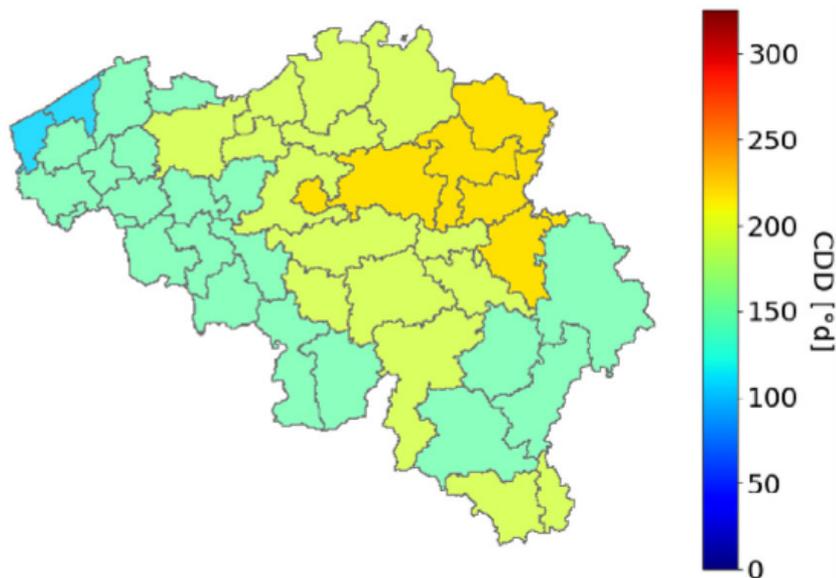
<sup>37</sup> Stefan v. Andrian-Werburg, 'Indikator-Factsheet: Kühlgradtage', 2019 <[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/bau-i-3\\_indikator\\_kuehlgradtage\\_2019.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/bau-i-3_indikator_kuehlgradtage_2019.pdf)> [accessed 3 April 2023].

<sup>38</sup> Jonathan Spinoni, Jürgen V. Vogt, and Paulo Barbosa, *European Degree-Day Climatologies and Trends for the Period 1951–2011*, 2015 <<http://doi.org/10.1002/joc.3959>> [accessed 3 April 2023].

## Belgien

Eine Analyse der derzeitigen Kühlgradtage in Belgien (Abbildung 25) zeigt, dass die Kühlgradtage, mit einem Grenzwert von 18 °C, zwischen circa 100 bis ca. 230 Kd liegen. Im Mittel betragen die Kühlgradtage 167 Kd.

Abbildung 25: Räumliche Verteilung der Kühlgradtage (18 °C) in Belgien<sup>39</sup>



Die Prognose der Kühlgradtage in die „ferne“ Zukunft (2071-2100) im Klimaszenario RCP8.5 rechnet mit einer Verdreifachung der KGT. Die Kühlgradtage betragen im Mittel 401 Kd wobei in urbanen Bereichen mit 511 Kd besonders hohe Absolutwerte verzeichnet sind.

Werden die Kühlgradtage von Belgien mit jenen aus Österreich (siehe Kapitel 2.2) verglichen, zeigt sich, dass vor allem im Flachland von Österreich ähnliche Kühlgradtage auftreten und auch der Blick in die Zukunft ein ähnliches Bild zeigt. Die Auswertungen zeigen zum Beispiel Kühlgradtage von 550 Kd im Bereich des Neusiedlersees, ähnlich zu den Werten in urbanen Bereichen Belgiens mit 511 Kd.

---

<sup>39</sup> Delphine Ramon and others, *Future Heating and Cooling Degree Days for Belgium under a High-End Climate Change Scenario*, 2020 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819333079>>.

### 3.3. Kältebedarfsszenarien vergleichbarer Nationen

Die in Kapitel 3.1 und 3.2 durchgeführten Analysen kommen zum Ergebnis (Tabelle 4), dass für die detaillierte Betrachtung von vergleichbaren internationalen Kältebedarfsszenarien die Länder Belgien und Deutschland angewandt werden. Diese Länder weisen beide nach den ausgewählten Kriterien eine kulturelle und klimatische Ähnlichkeit zu Österreich auf.

Tabelle 4: Auswertung der Analyse der Länder mit kultureller und klimatischer Ähnlichkeit zu Österreich

Land	Kulturelle Ähnlichkeit	Klimatische Ähnlichkeit	Ausgewählt
<b>Belgien</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Deutschland</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
Frankreich	Nein	Nein	Nein
Luxemburg	Nein	Nein	Nein
Schweiz	Nein	Nein	Nein
Slowakei	Nein	Nein	Nein
Spanien	Nein	Nein	Nein
Tschechien	Nein	Nein	Nein

In den folgenden Unterkapiteln sind Analysen zu bestehenden Kältebedarfsszenarien von Deutschland und Belgien dokumentiert.

### 3.3.1. Kältebedarfsszenarien Deutschland

Wie in Österreich ist auch in Deutschland die Sachlage zum Kältebedarf nur sehr begrenzt erforscht. In einer Erhebung vom Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik wurde eine Metastudie zum Kältebedarf in Deutschland durchgeführt<sup>40</sup>. Dabei wurden sieben relevante Studien mit Bilanzraum Deutschland identifiziert. Aus den sieben Studien wurden jene Studien analysiert, die eine Ausweisung des Kältebedarfs in Wohnen und Büro ermöglichten. Daher werden in der folgenden Auswertung lediglich drei Studien genauer analysiert.

#### Studie „Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie“

Als relevante Studie für die Quantifizierung des Kältebedarfs für Gebäudeklimatisierung von Haushalten wurde Heinrich et al. (2014) identifiziert. Indem wird der thermische Kältebedarf für Raumkühlung mit 728 GWh/a bzw. einem Endenergiebedarf mit 1.250 bis 1.270 GWh/a angegeben.<sup>41</sup> Das entspricht circa 4 % des gesamten Endenergiebedarfs zur Kältebereitstellung von Haushalten. Bei einer Wohnnutzfläche von 3.997 Mio. m<sup>2</sup> in Deutschland ergibt sich im Jahr 2022<sup>42</sup> ein spezifischer Kältebedarf von 0,18 kWh/(m<sup>2</sup><sub>WNF</sub>.a).

#### Heatroadmap Europe – Deutschland

Wie bereits in Kapitel 2.1 erklärt, wurde im EU-Projekt *Heat Roadmap Europe* für alle EU28-Staaten eine Analyse des Wärme- und Kältebedarfs in den Sektoren Industrie, Wohnen und Dienstleistungen durchgeführt.

Bei einer Analyse der prozentualen Aufteilung des Wärme- und Kältebedarfs im Sektor Wohnen in Deutschland im Jahr 2015 (Abbildung 26), zeigt sich, dass die Raumkühlung 0,02 % des Gesamtenergiebedarfs, bzw. 0,12 TWh pro Jahr, beansprucht.

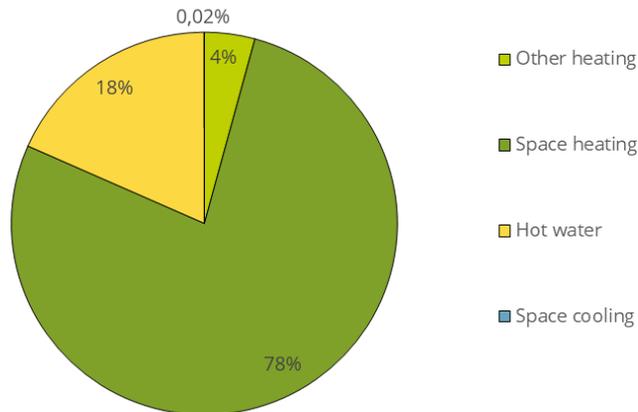
---

<sup>40</sup> D. Schmidt and others, *Kältetechnik in Deutschland – Steckbriefe zu Kälteanwendungen* (Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik)  
<[https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/flexkaelte/K%C3%A4ltetechnik\\_in\\_Deutschland-Metastudie\\_K%C3%A4ltebedarf\\_Deutschland.pdf](https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/flexkaelte/K%C3%A4ltetechnik_in_Deutschland-Metastudie_K%C3%A4ltebedarf_Deutschland.pdf)>.

<sup>41</sup> Carsten Heinrich and others, 'Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie', 2014 <<https://tinyurl.com/Heinrich-et-al-2014>> [accessed 14 March 2023].

<sup>42</sup> Statistisches Bundesamt, Stand 28.07.2023, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/liste-wohnungsbestand.html#115202> [zuletzt abgerufen am 04.04.2024]

Abbildung 26: Prozentuale Aufteilung des Wärme- und Kältebedarf im Sektor Wohnen in Deutschland im Jahr 2015 (erstellt mittels Excel Tool der *Heat Roadmap Europe 2015*<sup>43</sup>)



### Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung

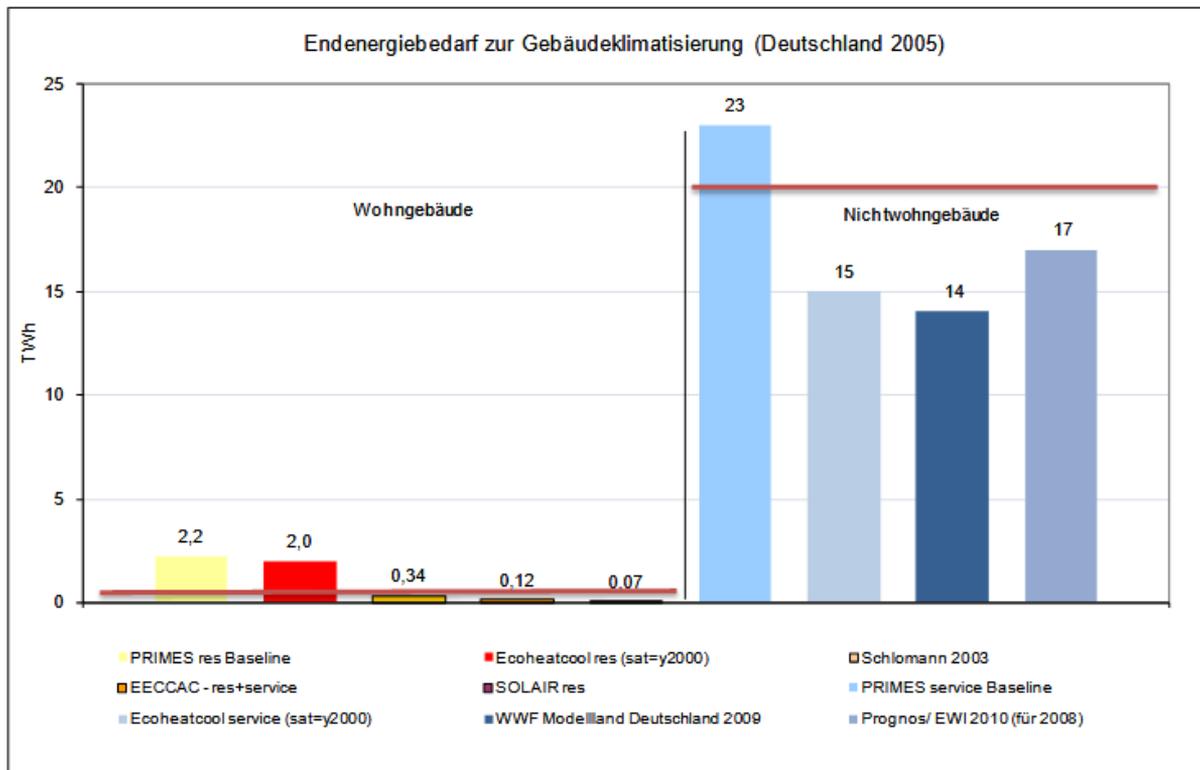
In dieser Studie lag die Zielstellung in einer Untersuchung und Bewertung von geeigneten technischen, ökonomischen und ökologischen Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Vermeidung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Dabei wurde eine Metaanalyse von Untersuchungen zum Kältebedarf von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden durchgeführt. Bei dieser Metaanalyse wurden neun Studien identifiziert, worin fünf Studien Daten für Wohngebäude und vier für Nicht-Wohngebäude ausweisen.

Bei der Analyse des Endenergiebedarfs zur Gebäudeklimatisierung (Abbildung 27) zeigt sich einerseits der große Unterschied zwischen dem Endenergiebedarf für Wohngebäude und für Nicht-Wohngebäude sowie die massiven Unterschiede in den Ergebnissen für Wohngebäude zwischen den Studien. Die Bandbreite des Endenergiebedarfs zur Gebäudeklimatisierung liegt zwischen 0,07 bis 2,2 TWh, oder um eine Abweichung um den Faktor 31.

---

<sup>43</sup> [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/HRE4-Exchange-Template-WP3\\_v22b\\_website.xlsx](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/HRE4-Exchange-Template-WP3_v22b_website.xlsx)

Abbildung 27: Endenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005<sup>44</sup>

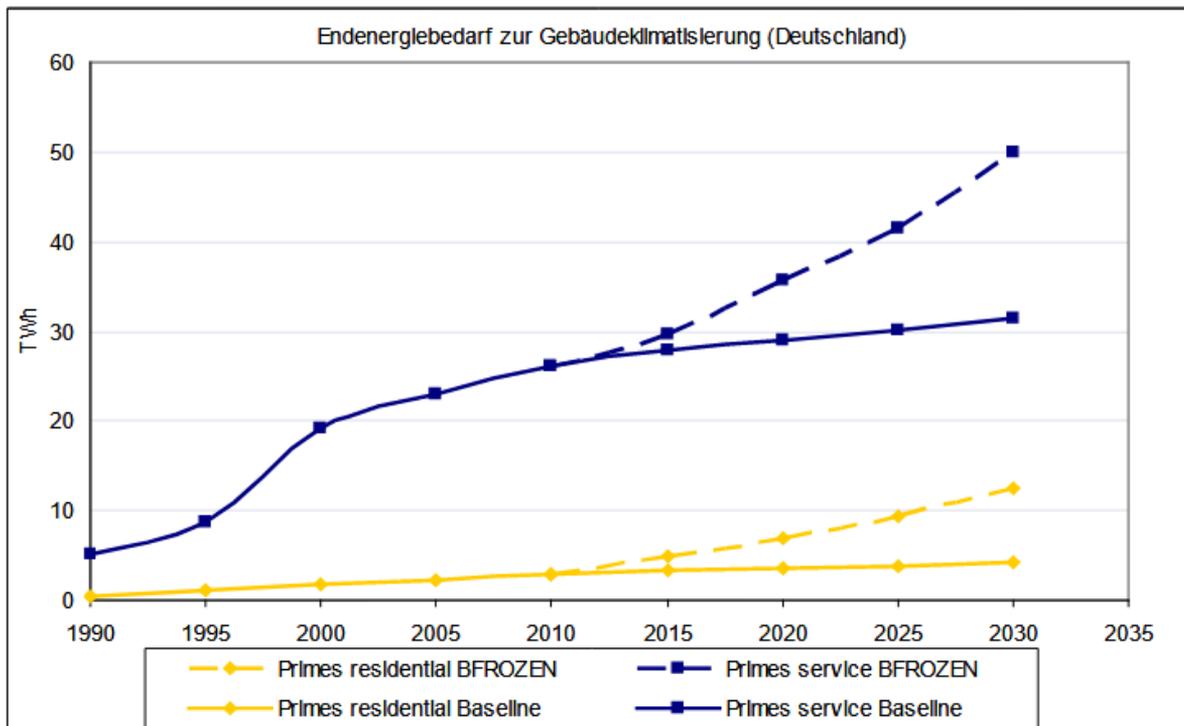


Zusätzlich zu einer Bestandsaufnahme des Kältebedarfs im Jahr 2005 wurde eine Prognose bis zum Jahr 2030 in zwei Szenarien sowie für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude untersucht (Abbildung 28). Dabei werden die Szenarien *Baseline* (entspricht einer Fortführung des Status quo) und *BFROZEN* (Miteinbeziehung von Bevölkerungs- und Flächenentwicklung) miteinander verglichen. Es zeigt sich im Baseline Szenario, dass im Bereich der Wohngebäude nahezu kein Anstieg des Endenergiebedarfs zur Gebäudeklimatisierung zu erwarten ist. Im Szenario BFROZEN wird mit einer Vervierfachung (im Vergleich zum Jahr 2010) im Jahr 2030 auf circa 12 TWh gerechnet.

Bei den Nicht-Wohngebäuden zeigt sich, wie bereits bei den Wohngebäuden, ein geringer Anstieg im Szenario Baseline. In Szenario BFROZEN erfolgt der Anstieg in absoluten Zahlen schneller und verdoppelt sich bis Ende des Jahres 2030 auf circa 50 TWh.

<sup>44</sup> Kjell Bettgenhäuser and others, 'Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung', 2011 <<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3979.pdf>> [accessed 29 March 2023].

Abbildung 28: Verlauf und Prognose des Endenergiebedarfs der Gebäudeklimatisierung von Wohn- und Dienstleistungsgebäude in Deutschland<sup>45</sup>



### 3.3.2. Kältebedarfsszenarien Belgien

Die Analyse des Kältebedarfs in Belgien ist aufgrund der regionalen Unterscheidung in Flandern und Wallonien für Außenstehende komplexer als in anderen Nationen. Es konnten dennoch Studien identifiziert werden, die Aufschluss über den Kältebedarf zur Gebäudeklimatisierung in Belgien liefern.

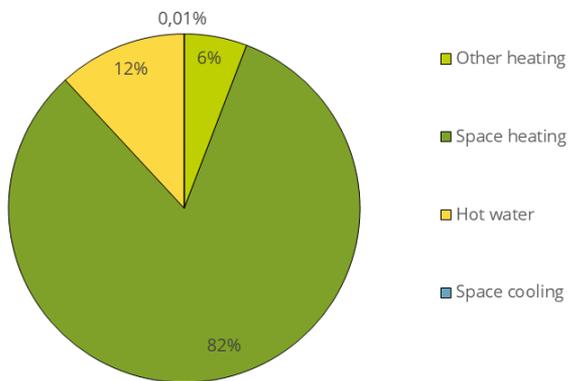
#### Heatroadmap Europe – Belgien

Wie bereits in Kapitel 2.1 erklärt, wurde im EU-Projekt *Heat Roadmap Europe* für alle EU28-Staaten eine Analyse des Wärme- und Kältebedarfs in den Sektoren Industrie, Wohnen und Dienstleistungen durchgeführt.

Bei einer Analyse der prozentualen Aufteilung des Wärme- und Kältebedarfs im Sektor Wohnen in Belgien im Jahr 2015 (Abbildung 26), zeigt sich, dass die Raumkühlung 0,01 % des Gesamtwärmebedarfs, bzw. 0,01 TWh pro Jahr, einnimmt.

<sup>45</sup> Bettgenhäuser and others.

Abbildung 29: Prozentuale Aufteilung des Wärme- und Kältebedarf im Sektor Wohnen in Belgien im Jahr 2015 (erstellt mittels Excel Tool der *Heat Roadmap Europe 2015*<sup>46</sup>)



### Warmte in Vlaanderen 2020<sup>47</sup>

In dieser Studie 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. Dies entspricht einem Anteil von 0,07 % am gesamten Endenergiebedarfs Belgiens. Die Studie geht davon aus, dass der Kältebedarf für Gebäudekühlung von Haushalten bis 2050 konstant bleiben wird.

---

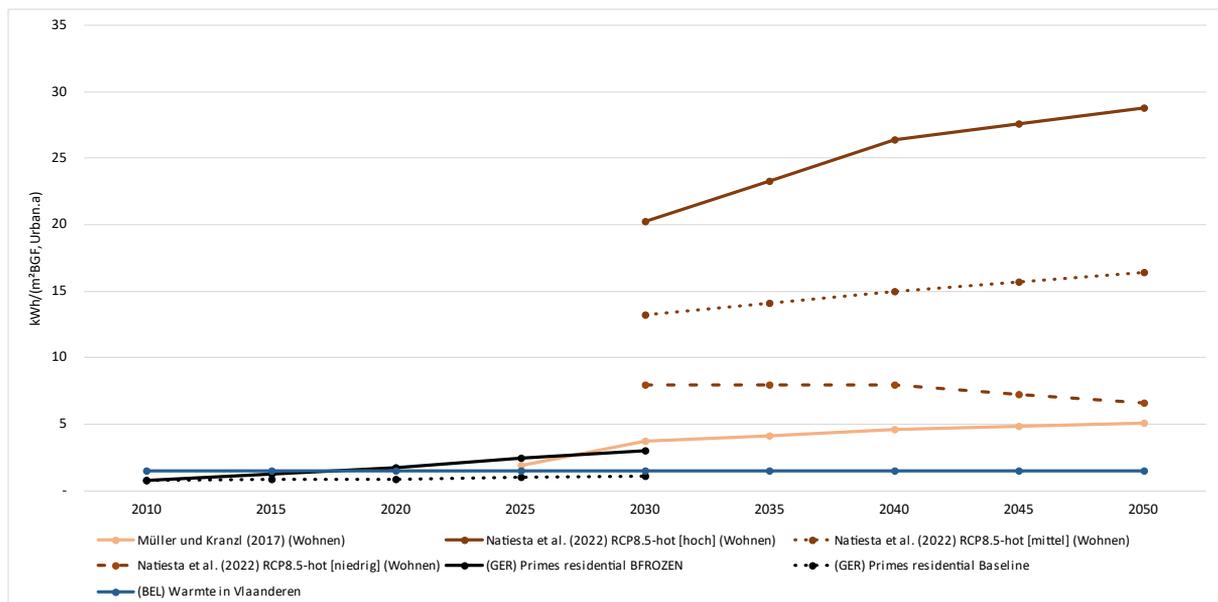
<sup>46</sup> [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/HRE4-Exchange-Template-WP3\\_v22b\\_website.xlsx](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/HRE4-Exchange-Template-WP3_v22b_website.xlsx)

<sup>47</sup> Vingerhoets and others, 'Warmte in Vlaanderen, rapport 2020', 2021

## 4 Vergleich nationale und internationale Kältebedarfsszenarien

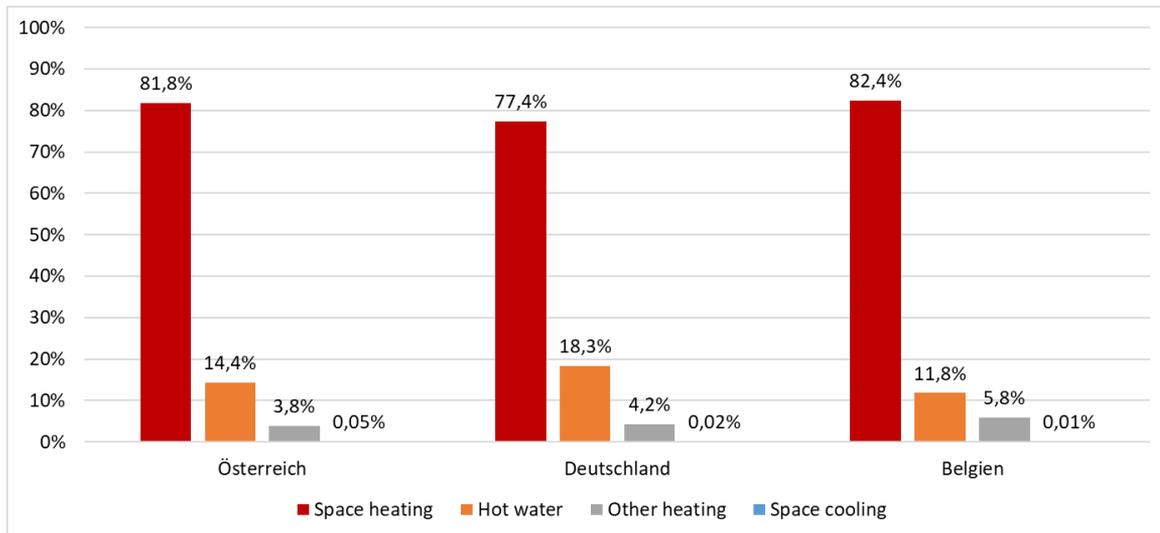
Der Vergleich der nationalen und internationalen Kältebedarfsszenarien (Abbildung 30) zeigt, dass die Ergebnisse bis zum Jahr 2030 in vier Studien eine hohe Übereinstimmung aufweisen. Die Kennzahl des spezifischen Kältebedarfs pro  $\text{m}^2_{\text{BGF}}$  urbaner Fläche ist mit weniger als  $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$  plausibel. Die Studie Natiesta et al. (2022) weist im Gegensatz zu den restlichen Studien einen signifikanten Unterschied in der Höhe des spezifischen Kältebedarfs auf. Dieser berücksichtigt mit Sicherheit lediglich die Nutzung Wohnen, die Unterschiede zu den restlichen Studien kann jedoch eventuell auf unterschiedliche berücksichtigte Flächen zurückgeführt werden. Mit Ausnahme der belgischen Studie weisen alle anderen analysierten internationalen Studien lediglich Werte bis zum Jahr 2030 auf. Die belgische Studie prognostiziert einen konstanten Kältebedarf bis 2050.

Abbildung 30: Prognostizierter Kältebedarf der analysierten nationalen und internationalen Studien in einem Zeitrahmen von 2010 bis 2050



Die Gegenüberstellung der Daten der *Heat Roadmap Europe* (Abbildung 31) zeigt, dass derzeit die Gebäudekühlung von Haushalten einen vernachlässigbaren Anteil am Endenergiebedarf einnimmt. Es dominiert klar der Sektor der Gebäudeheizung mit 77,4 bis 82,4 % gefolgt von Warmwasser und anderen Heizungen.

Abbildung 31: Vergleich des Endenergiebedarfs von Österreich, Deutschland und Belgien (eigene Abbildung mit Quellen aus *Heat Roadmap Europe*<sup>48</sup>)



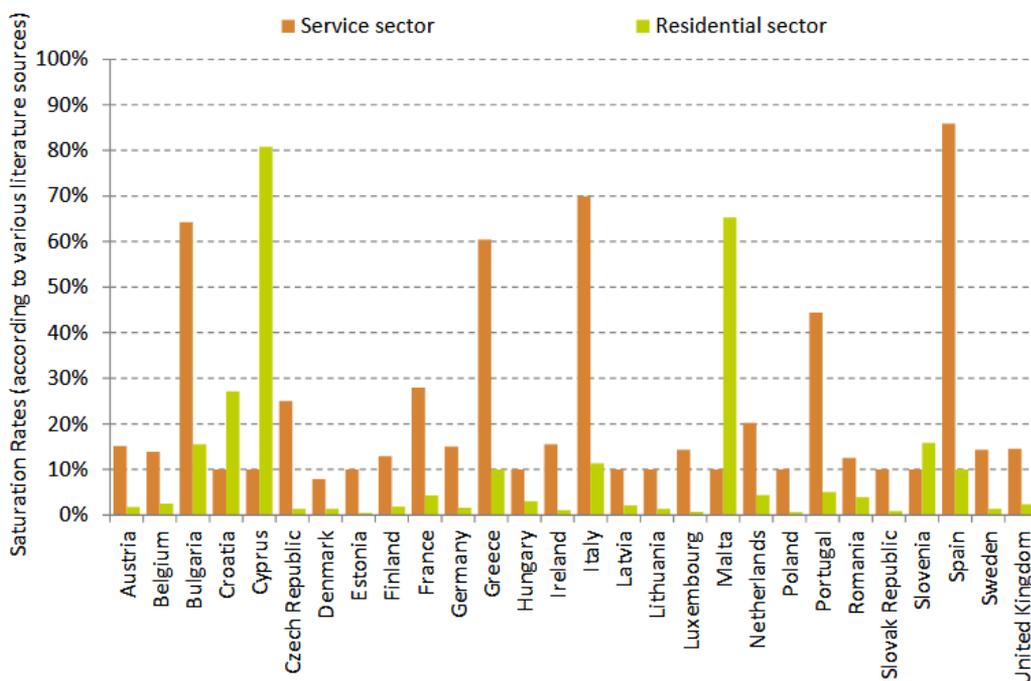
---

<sup>48</sup> Fleiter and others.

## 5 Internationale Sättigungsraten von Raumkühlung

Werden die Sättigungsraten von Raumkühlung in Wohn- und Nichtwohngebäuden untersucht (Abbildung 32), zeigt sich in den EU28 Staaten ein homogenes Bild an Nationen mit Sättigungsraten von 10-15 % bei Nichtwohngebäuden und unter 5 % bei Wohngebäuden. Einige wenige Nationen (Bulgarien, Griechenland, Italien Portugal und Spanien) zeigen sehr hohe Sättigungsraten im Sektor der Nichtwohngebäude von 45 bis 85 % sowie zwei (Zypern und Malta) im Sektor der Wohngebäude mit 65 bis 80 %. Diese Sättigungsraten basieren auf unterschiedlichen Literaturquellen, sind jedoch stark mit Annahmen hinterlegt. Die Untersuchung adressiert die geringe Qualität an aktuellen Sättigungsdaten von Raumkühlung in den EU28-Ländern.

Abbildung 32: Geschätzte Sättigungsdaten von Raumkühlung in Wohn- und Nichtwohngebäuden in den EU28 Mitgliedsstaaten<sup>49</sup>

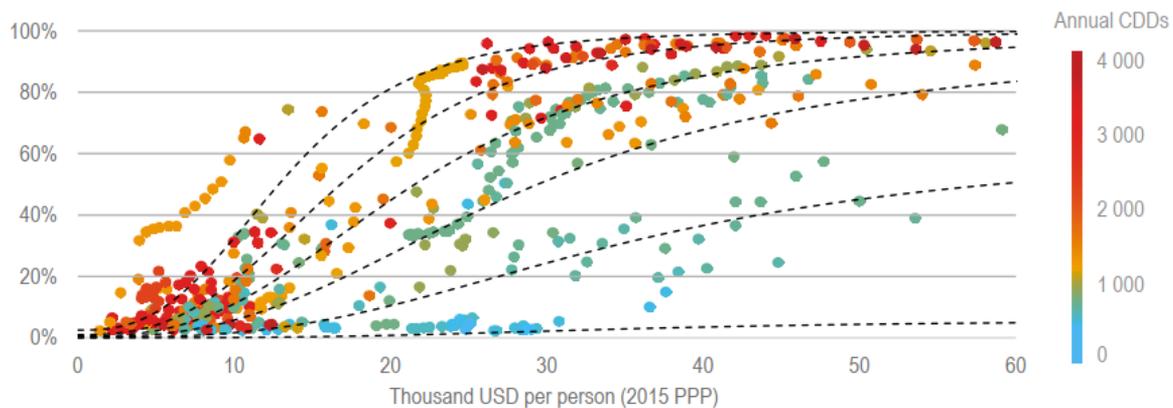


Bei einer Analyse der Beziehung zwischen durchschnittlichem Pro-Kopf-Einkommen und Eigentum von Kühlgeräten in 68 Nationen (Abbildung 33), in Relation zu den jährlichen Kühlgradtagen (CDDs), zeigt sich ein klares Bild der genannten Daten. Länder mit mittlerem Pro-Kopf-Einkommen (20-30 T USD/P) und einer geringen Anzahl an Kühlgradtagen (< 500 CDDs) ist der Anteil an Kühlgeräten unter 10 %. Ländern mit niedrigem Pro-Kopf-Einkommen (< 15 T USD/P) mit mehr als 3000 CDDs weisen

<sup>49</sup> Urban Persson and Sven Werner, *Stratego - Quantifying the Heating and Cooling Demand in Europe*, 2015 <<https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/STRATEGO-WP2-Background-Report-4-Heat-Cold-Demands.pdf>> [accessed 28 March 2023].

einen Anteil an Kühlgeräten unter 20 %. auf Ein ansteigender Trend zum Eigentum von Kühlgeräten ist ab einem Pro-Kopf-Einkommen von mindestens 20 T USD/P bei circa 1000 CDDs zu erkennen. Dabei steigt der Anteil an Kühlgeräten unabhängig von den geringen Kühlgradtagen (1000 CDDs) bei steigendem Pro-Kopf-Einkommen. Eine zentrale Erkenntnis ist die Stagnation der Anteile an Kühlgeräten über einem Pro-Kopf-Einkommen von circa 25 T USD/P, die eine Anzahl an Kühlgradtagen von 3000 CDDs übersteigt.

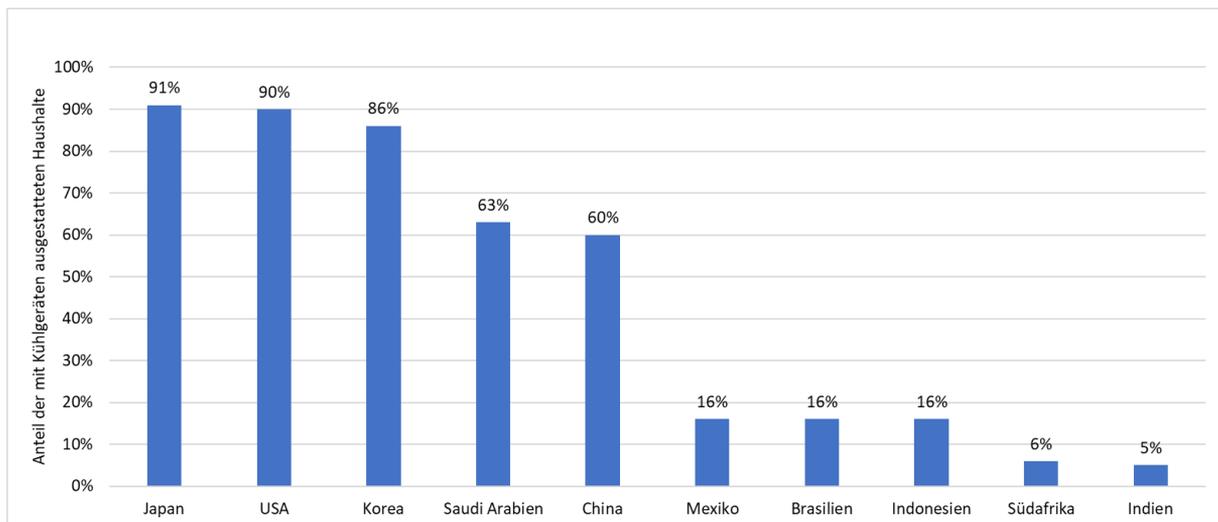
Abbildung 33: Pro-Kopf-Einkommen und Anteile der Haushalte, die ein Klimagerät besitzen<sup>50</sup>



Bei einer Analyse von zehn ausgewählten Ländern zum Anteil, der mit Kühlgeräten ausgestatteten Haushalte zeigt sich, dass die Nationen Japan, die USA und Korea bereits eine Marktsättigung aufweisen. Ein gewisser Anteil an Haushalten wird, aus verschiedenen Gründen, stets ohne Kühlgerät ausgestattet sein. In stark wachsenden Gesellschaften wie Saudi-Arabien oder China zeigt sich noch ein geringes Ausmaß der Marktsättigung. Hierbei muss jedoch die Verteilung in urbane und rurale Haushalte berücksichtigt werden (siehe Abbildung 35). Trotz deren Klimata weisen Schwellenländer wie Mexiko, Brasilien, Indonesien oder Indien mit ca. 5 bis 16 % eine vergleichsweise geringe Marktdurchdringung an Kühlgeräten in Haushalten auf. Dies bestätigt, dass das Klima nicht der ausschlaggebendste Faktor für die Anschaffung von Geräten zur Raumkühlung ist.

<sup>50</sup> International Energy Agency.

Abbildung 34: Anteil der mit Kühlgeräten ausgestatteten Haushalte in ausgewählten Ländern 2018<sup>51</sup>



Ein detaillierter Blick auf die Verteilung der Klimageräte in urbane und rurale Regionen Chinas (Abbildung 35) zeigt jedoch, dass in den urbanen Regionen Chinas bereits von einer Marktsättigung ausgegangen werden kann.

Abbildung 35: Übersicht der Entwicklung von Kühlgeräten in Haushalten in USA und China<sup>52</sup>

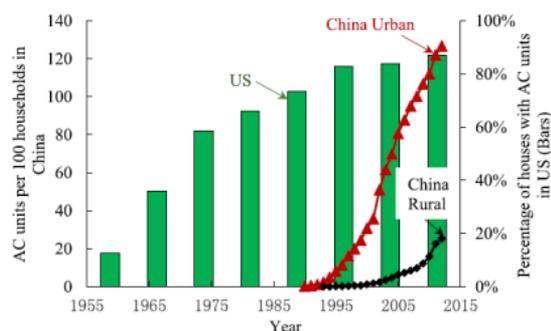


Fig. 2. Increasing trend of Air Conditioning (AC) units in the US and China (based on reference [26–28]).

Ergebnisse aus Richard de Dear et al.:

The Dynamics of Thermal Comfort Expectations: the problem, challenge and implication, Building and Environment, July 2015

Die Entwicklung der Marktdurchdringung von Kühlgeräten in Haushalten in den USA und China (Abbildung 35) zeigt einerseits, dass sich bei circa 80 bis 90 % eine Marktsättigung einstellt und andererseits, dass es starke Unterschiede in der Geschwindigkeit gibt. In den USA benötigte der Schritt zur Marktsättigung circa 60 Jahre, wogegen dies in den urbanen Regionen Chinas lediglich 25 Jahre benötigte. In den ruralen Regionen Chinas lässt sich ein deutlich verlangsamter Trend erkennen, langsamer als in den USA in den 1960er Jahren.

<sup>51</sup> International Energy Agency.

<sup>52</sup> Luo Maohui, de Dear Richard, Ji Wenjie, Cao Bin: The Dynamics of Thermal Comfort Expectations: the problem, challenge and implication. Building and Environment, ResearchGate 2015.

# 6 Nationale rechtliche Rahmenbedingungen

Bei der Analyse der nationalen rechtlichen Rahmenbedingungen werden Gesetztestexte sowie Normen untersucht.

## 6.1. Nationale Landesbauordnungen

In der Wiener Bauordnung besteht laut § 106 Abs. 6 eine, dem Verwendungszweck entsprechende, Verpflichtung die Bauwerke lüftbar und beheizbar einzurichten. Eine gesetzliche Verpflichtung zur Raumkühlung ist nicht enthalten.

Das restlichen acht Landesbauordnungen enthalten ähnliche Vorgaben wie die Wiener Bauordnung bzw. ebenfalls keine explizite Verpflichtung zur Raumkühlung.

## 6.2. Arbeitsstättenverordnung (AStV)

Laut Arbeitsstättenverordnung § 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 dafür zu sorgen, dass in der warmen Jahreszeit bei Vorhandensein einer Klima- oder Lüftungsanlage die Lufttemperatur 25 °C möglichst nicht überschritten wird. 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 geregelt. 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 darauf zu achten, dass die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40 und 70 % liegt.

### **6.3. OIB-Richtlinie 6**

Die OIB-Richtlinie 6 definiert die Rahmenbedingungen der Berechnung des Energieausweises.

Darin wird in Kapitel 4.9 der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden definiert. Die Nachweise der Vermeidung der sommerlichen Überwärmung unterscheiden sich in Wohn- und Nicht-Wohngebäude. Bei Wohngebäuden gilt der sommerliche Wärmeschutz als eingehalten wenn für die kritischste Nutzungseinheit kein außeninduzierter Kältebedarf (KB\*) vorhanden ist, oder die operative Temperatur im Raum bei sich täglich periodisch wiederholenden Außenklima mit dem standortabhängigen Tagesmittelwert  $T_{\text{NAT},13}$  den Wert von  $1/3 * T_{\text{NAT},13} + 21,8 \text{ °C}$  nicht überschreitet. Bei Nicht-Wohngebäuden ist entweder die sommerliche Überwärmung zu vermeiden oder der KB\* darf einen Kennwert von 1,0 kWh/(m<sup>3</sup>.a) bei Neubau oder von 2,0 kWh/(m<sup>3</sup>.a) nicht überschreiten.

### **6.4. ÖNORM B 8110-3 – Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall**

Die ÖNORM B 8110-3 legt ein Verfahren zur Ermittlung 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 Menschen kommt.

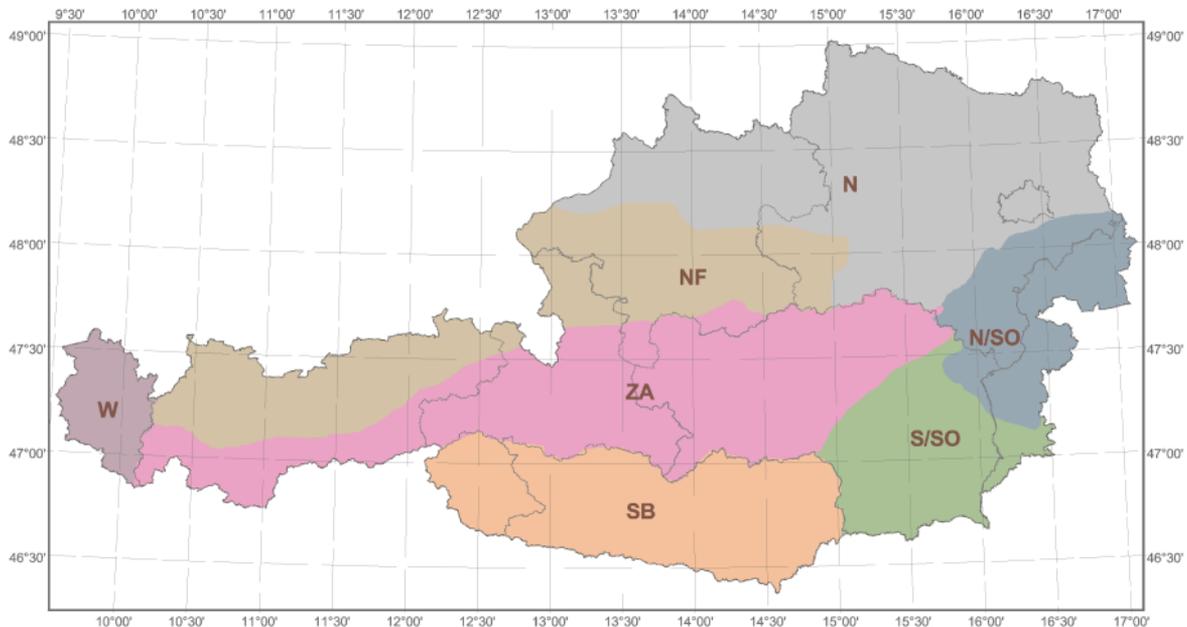
Der Norm können anzuwendende, stündliche, interne Lasten sowie hygienische Luftvolumenströme zur Berechnung des operativen Temperaturverlaufs, für die Nutzungen Wohnen, Büro, Kindergarten, Volksschule, Schule, Krankenhaus, Pflegeheim, Pension und Hotel entnommen werden.

### **6.5. ÖNORM B 8110-5 – Wärmeschutz im Hochbau, Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile**

Die ÖNORM B 8110-5 definiert die Randbedingungen des standortabhängigen Außenklimas für die Berechnung des Heizwärme- und Kältebedarfs gemäß ÖNORM B 8110-6-1.

In ÖNORM B 8110-5 ist ebenfalls die Klimatopographie Österreichs dargestellt. Darin wird das Bundesgebiet in sieben unterschiedliche Regionen, siehe, mit den entsprechenden mittleren, vertikalen Temperaturgradienten eingeteilt (vgl. Abbildung 36).

Abbildung 36: Unterteilung des Bundesgebiets in die sieben Temperaturregionen<sup>53</sup>



Als relevanter Inhalt für die Grundlagenaufbereitung der gegenständlichen Norm werden die, je nach Raumnutzung, unterschiedlichen Solltemperaturen des Innenraumes im Kühlfall identifiziert. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der beiden Kennwerte je nach Gebäudenutzung. Für Wohngebäude ist nach dieser Norm keine Solltemperatur definiert. Eine Solltemperatur von 26 °C ist für die restlichen Nutzungen einzuhalten. Die täglichen Betriebszeiten der Kühlung nach Tabelle 5 variieren je nach Gebäudenutzung zwischen 0 und 24 Stunden.

Tabelle 5: Übersicht der Solltemperatur im Kühlfall sowie der täglichen Betriebszeit der Kühlung je nach Gebäudenutzung<sup>53</sup>

	Solltemperatur im Kühlfall [°C]	Tägl. Betriebszeit der Kühlung [h/d]
Wohngebäude	-	-
Bürogebäude	26	12
Bildungseinrichtungen	26	12
Krankenhäuser	26	24
Heime	26	24
Beherbergungsbetriebe	26	24
Gaststätten	26	12

<sup>53</sup> Austrian Standards International, 'ÖNORM B 8110-5:2019-03-15 Wärmeschutz im Hochbau, Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile', 2019.

Veranstaltungsstätten und Mehrzweckgebäude	26	7
Sportstätten	26	12
Verkaufsstätten	26	12

## 6.6. ÖNORM B 8110-6-1 – Wärmeschutz im Hochbau, Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren

Die NORM B 8110-6-1 dient als Grundlage zur Berechnung des Heizwärme- und Kältebedarfs. Die Ergebnisse der Berechnung dienen zur Erstellung des Energieausweises gemäß OIB-Richtlinie 6.

## 6.7. ÖNORM H 6040 – Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast sowie der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden

Diese Norm ist eine nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 15255 und ÖNORM EN ISO 13791. Ergänzend zu ÖNORM EN 15255 definiert sie 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). Ergänzend zu ÖNORM EN ISO 13791 legt sie das Rechenverfahren zur Ermittlung der Raumtemperaturgänge (Luft- und operative Temperatur) ohne Kühlanlage unter instationären Randbedingungen fest.

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der durchgeführten Literaturrecherche zu nationalen Kältebedarfsszenarien wurde erkannt, dass zum notwendigen Endenergiebedarf zur Raumkühlung für Österreich derzeit noch sehr eingeschränkte Daten und Untersuchungen vorliegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Energiemenge zur Raumkühlung derzeit noch sehr gering ist. Vor allem bei Statistiken wird meist Wärme und Kälte zusammengefasst und es können keine Rückschlüsse auf die Kälteenergie gezogen werden.

In den Prognosen zum nationalen Kältebedarf zeigt sich eine signifikante Streuung zwischen den Studien. Je nach Szenario und Studie liegt der Unterschied zwischen den Studien um Faktor 5 auseinander (siehe Abbildung 15). Vor allem die Studie Natiesta et al. (2022) geht von einem deutlich höheren Kältebedarf aus als die anderen Studien.

Auf internationaler Ebene wurden die Länder Belgien und Deutschland als kulturell und klimatisch ähnlich identifiziert. In den identifizierten Studien zum Kältebedarf in Deutschland werden keine Prognosen bis ins Jahr 2050 abgegeben. Die Studienautoren gehen jedoch davon aus, dass auch in Deutschland der Kältebedarf in Zukunft steigen wird. Die österreichischen Prognosen zum Kältebedarf weisen, bis auf die Ergebnisse in Natiesta et al. (2022), Ähnlichkeiten mit den untersuchten internationalen Studien auf (siehe Abbildung 30).

Zusammenfassend zeigt sich, dass Forschungsbedarf zum zukünftigen Kältebedarf sowie die Ausweisung an Kälteenergie in Statistiken in Österreich sowie anderen europäischen Nationen besteht. Nichtsdestotrotz zeigt der internationale Vergleich der Studien ein homogenes Bild, bis auf einen Ausreißer, zum spezifischen Kältebedarf in kulturell und klimatisch ähnlichen Ländern.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltweiter Energieverbrauch für Raumkühlung in Gebäuden .....	6
Abbildung 2: Prozentuale Aufteilung des Wärme- und Kältebedarf im Sektor Wohnen in Österreich im Jahr 2015 (erstellt mittels Excel Tool der <i>Heat Roadmap Europe 2015</i> ) .....	9
Abbildung 3: Szenarien des End-Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den Haupt-Szenarien A1B, A2, B1 .....	12
Abbildung 4: Vergleich der Szenarien des Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien in den IPCC-Klimaszenarien.....	13
Abbildung 5: Stromeinsatz für Raumkühlung und resultierende Kälteenergie in Österreich, Szenario WEM 2017 .....	14
Abbildung 6: Kältebedarf der Gebäudekategorien Wohnen und Büro unter den klimatischen Annahmen von RCP8.5-hot .....	16
Abbildung 7: Anzahl der Kühlgradtage in der Zeitperiode 2013-2022 in Österreich.....	17
Abbildung 8: Statistik der Kühlgradtage im Zeitraum von 2000 bis 2020 bei einer Grenztemperatur von 21 °C.....	18
Abbildung 9: Jahressummen der Kühlgradtage 1981-1990 .....	19
Abbildung 10: Jahressummen der Kühlgradtage 2041-2050 .....	20
Abbildung 11: Zunahme der Kühlgradtage 1981-1990 vs. 2041-2050.....	20
Abbildung 12: Mittlere beobachtete Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich für die Referenzperiode 1961-1990.....	21
Abbildung 13: Mittlere Kühlgradtagsumme auf Gemeindeebene in Österreich im Zeitraum 2036-2065, basierend auf dem Klimaänderungssignal von REMO-UBA .....	22
Abbildung 14: Oben: Änderung der Kühlgradtage in naher Zukunft des RCP4.5. Mitte: Änderung der Kühlgradtage in ferner Zukunft des RCP4.5. Unten: Änderung der Kühlgradtage in ferner Zukunft des RCP8.5 .....	23
Abbildung 15: Vergleich des Kältebedarfs der untersuchten Studien für Wohnen und Büro .....	24
Abbildung 16: Vergleich des spezifischen Kältebedarfs von Wohngebäuden von 2010 bis 2050 der untersuchten Studien.....	25
Abbildung 17: Gegenüberstellung der untersuchten Kühlgradtage .....	25
Abbildung 18: Vergleich des Price Level Index für Wohnkosten für ausgewählte europäische Länder.....	27
Abbildung 19 Köppen-Geiger Klimaklassifikation aktuell (Abbildung oben, Klimaperiode 1980-2016) und zukünftig (Abbildung unten, Klimaperiode 2071-2100) .....	30
Abbildung 20: Klimatische Einteilung nach Köppen-Geiger für Europa (Prognose 2050) .....	31
Abbildung 21: Kühlgradtage in Europa im Zeitraum 1981 bis 2010.....	32
Abbildung 22: Prognose der Änderung der Kühlgradtage in Europa in den Klimaszenarios RCP4.5 (links) und RCP8.5 (rechts) .....	32

Abbildung 23: Einteilung von Deutschland in die drei Sommerklimaregionen gemäß DIN 4108-2:2013-02 .....	33
Abbildung 24: Mittel der Kühlgradtage in den Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2:2013-02 in Deutschland.....	34
Abbildung 25: Räumliche Verteilung der Kühlgradtage (18 °C) in Belgien.....	35
Abbildung 26: Prozentuale Aufteilung des Wärme- und Kältebedarf im Sektor Wohnen in Deutschland im Jahr 2015 (erstellt mittels Excel Tool der <i>Heat Roadmap Europe 2015</i> ) .....	38
Abbildung 27: Endenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung in Deutschland 2005.....	39
Abbildung 28: Verlauf und Prognose des Endenergiebedarfs der Gebäudeklimatisierung von Wohn- und Dienstleistungsgebäude in Deutschland .....	40
Abbildung 29: Prozentuale Aufteilung des Wärme- und Kältebedarf im Sektor Wohnen in Belgien im Jahr 2015 (erstellt mittels Excel Tool der <i>Heat Roadmap Europe 2015</i> ) .....	41
Abbildung 30: Prognostizierter Kältebedarf der analysierten nationalen und internationalen Studien in einem Zeitrahmen von 2010 bis 2050.....	42
Abbildung 31: Vergleich des Endenergiebedarfs von Österreich, Deutschland und Belgien (eigene Abbildung mit Quellen aus <i>Heat Roadmap Europe</i> ) .....	43
Abbildung 32: Geschätzte Sättigungsraten von Raumkühlung in Wohn- und Nichtwohngebäuden in den EU28 Mitgliedsstaaten .....	44
Abbildung 33: Pro-Kopf-Einkommen und Anteile der Haushalte, die ein Klimagerät besitzen.....	45
Abbildung 34: Anteil der mit Kühlgeräten ausgestatteten Haushalte in ausgewählten Ländern 2018	46
Abbildung 35: Übersicht der Entwicklung von Kühlgeräten in Haushalten in USA und China.....	46
Abbildung 36: Unterteilung des Bundesgebiets in die sieben Temperaturregionen.....	49

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Weltweiter Kälteenergiebedarf unterteilt in Regionen von 1990 bis 2016 .....	6
Tabelle 2: Wertetypen höherer Ordnung nach Shalom Schwartz .....	26
Tabelle 3: Übersicht der kulturellen Ähnlichkeit der untersuchten Länder mit Österreich .....	28
Tabelle 4: Auswertung der Analyse der Länder mit kultureller und klimatischer Ähnlichkeit zu Österreich.....	36
Tabelle 5: Übersicht der Solltemperatur im Kühlfall sowie der täglichen Betriebszeit der Kühlung je nach Gebäudenutzung .....	49