

Urbaner Kältebedarf Österreich 2030/2050

E2.1. Bildungsfaktoren des Kältebedarfs

A. Pummer, F. Wimmer, P. Holzer

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

E2.1. Bildungsfaktoren des Kältebedarfs

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

1	Allgemeines	6
1.1.	Allgemeine Simulationsbedingungen	6
2	Sozio-kulturelle Komfortanspruchsniveaus	7
2.1.	Genereller Komfort	7
2.2.	Adaptiver Komfort	8
2.3.	Arbeitsstättenverordnung	10
3	Nutzungsprofile	12
3.1.	Wohnnutzung	12
3.1.1.	Deckung hygienischer Luftwechsel.....	13
3.1.2.	Fensteröffnung Wohnnutzung	14
3.2.	Büronutzung.....	15
3.2.1.	Deckung hygienischer Lüftung.....	16
3.2.2.	Fensteröffnung Büronutzung	16
4	Bauphysik und Geometrie	17
4.1.	Opake Bauteile.....	17
4.1.1.	Außenwand.....	19
4.1.2.	Innenwand	21
4.1.3.	Oberste Geschoßdecke bzw. Flachdach	21
4.1.4.	Zwischendecke.....	22
4.1.5.	Unterste Geschoßdecke	23
4.1.6.	Ergebnisse des Einflusses des Wärmeschutzniveaus	24
4.2.	Transparente Bauteile.....	27
4.3.	Validierung $g_{total, Fassade}$	31
4.4.	Geometrische Eigenschaften	33
4.4.1.	Auswirkungen der Gebäudegeometrie	34
4.4.2.	Zonierung.....	36
4.4.3.	Auswirkungen der Zonenposition.....	36
4.4.4.	Exkurs Nutzungsprofile EFH.....	40
5	Gebäude- und Siedlungsstrukturen	42
5.1.	Orientierung des Gebäudes	42
5.2.	Verschattung durch Nachbargebäude	43
5.3.	Ergebnisse des Einflusses der Ausrichtung des Gebäudes	44
5.4.	Ergebnisse des Einflusses der Verschattung durch Nachbargebäude	47
6	Betriebsweise des Kälteabgabesystems	49
6.1.	Ergebnisse des Einflusses der Betriebsweise des Kälteabgabesystems	49
7	Außenklima	52

7.1. Methodik Klimadatensätze	52
7.2. Rahmenbedingungen parametrische Simulation	53
7.3. Zusammenhang Globalstrahlungssumme und Kühlgradtage.....	53
7.4. Standortauswahl der parametrischen Simulation	56
8 Entfeuchtungsenergiebedarf	58
8.1. Problemstellung.....	58
8.2. Methodik.....	58
8.3. Berücksichtigung im Projekt	59
9 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	64
10 Verzeichnisse.....	67

1 Allgemeines

Im gegenständlichen Bericht werden die unterschiedlichen Bildungsfaktoren des Kältebedarfs anhand exemplarischer Gebäude dargestellt, interpretiert und analysiert. Diese dienen als Eingangsparameter und Rahmenbedingungen zur Simulation und Quantifizierung des Kältebedarfs und der Kälteleistung von Wohn- und Bürogebäuden in Österreich.

In den Kapiteln 2 bis 8 werden die jeweiligen Bildungsfaktoren untersucht. Am Ende eines jeden Kapitels gibt es eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie eine Festlegung hinsichtlich der Simulationsrandbedingungen. In Kapitel 9 werden die Ergebnisse gesammelt zusammengefasst.

In diesen Boxen werden jeweils am Ende eines jeden Kapitels, die wichtigen Festlegungen und Erkenntnisse für die Ermittlung des österreichischen Kältebedarfs festgehalten.

1.1. Allgemeine Simulationsbedingungen

Für die im gegenständlichen Bericht durchgeführten Simulationen wird die Simulationssoftware IDA ICE in der Expert-Version 5.0 angewandt.

Für die Analysen wird eine Mischung aus manuellen Simulationen und parametrischen Simulationen angewandt. Unter parametrischer Simulation versteht sich das automatisierte Verändern einzelner Parameter durch die Simulationssoftware. Dadurch kann eine Vielzahl an Varianten ohne Eingriff durch den/die Anwender:in nacheinander simuliert und ausgewertet werden.

Folgende allgemeine Simulationsbedingungen werden in den gegenständlichen Simulationen angewandt:

- Als Wärmeabgabesystem werden ideale Kühlelemente verwendet, um den reinen thermischen Entzug ermitteln zu können und so möglichst technologieoffen bei der Quantifizierung des Kältebedarfs zu sein. Die Leistung des Kälteelements ist bewusst deutlich überdimensioniert, damit es zu keinem Zeitpunkt zu einer Unterversorgung der Leistung kommen kann und somit die Komfortgrenzen bestmöglich eingehalten werden können.
- Es wird eine Zeitplan-Glättung von 0 gewählt. Es kommt zu sprunghaften Änderungen der Randbedingungen, jedoch kann nur so eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Simulationsvarianten zueinander gewährleistet sein. Bei der Leistungsermittlung wurde explizit darauf geachtet, vermeintliche Leistungsspitzen durch diese sprunghaften Änderungen auszublenden.
- Bei den bauphysikalischen Eigenschaften der Bauteile wird in der Simulation kein Wärmebrückenaufschlag berücksichtigt.
- Bei der Abbildung von transparenten Bauteilen wird das vereinfachte Fenstermodell von IDA ICE angewandt.

2 Sozio-kulturelle Komfortanspruchsniveaus

Bei den sozio-kulturellen Komfortanspruchsniveaus werden in der gegenständlichen Studie zwei verschiedene Ansätze untersucht. Das erste Modell ist das generelle Komfortmodell nach ÖNORM EN 16798-1:2019 bzw. nach ISO 7730:2006, in welchem Grenzwerte für die minimale und maximale operative Innenraumtemperatur definiert sind, die unabhängig vom Außenklima eingehalten werden müssen. Das zweite Modell ist das adaptive Komfortmodell nach ÖNORM EN 16798-1:2019 bzw. ASHRAE 55, in welchem der Grenzwert der akzeptablen Innenraumtemperatur in Abhängigkeit mit dem Außenklima definiert wird.

2.1. Genereller Komfort

Das generelle Komfortmodell bezieht sich auf die Wärmebalance des menschlichen Körpers. Diese ist maßgeblich von fünf Parametern abhängig – der operativen Temperatur (Mischung aus Strahlungstemperaturen der Umgebungsflächen und Lufttemperatur), der Luftfeuchtigkeit, der Luftgeschwindigkeit, dem Aktivitätslevel der Menschen und dem Bekleidungslevel der Menschen. Unter Festlegung der Rahmenbedingungen für Aktivität, Bekleidung, Luftfeuchte und -geschwindigkeit, ergeben sich Grenzwerte für behagliche Innenraumtemperaturen, die unabhängig vom außen vorherrschenden Klima einzuhalten sind.

In der ÖNORM EN 16798-1 werden für das generelle Komfortmodell je nach Gebäude- bzw. Nutzungstyp und zwischen einer Innenraumtemperaturspanne für die Heizsaison und einer für die Kühltisaison unterschieden (siehe Tabelle 1). Für die gegenständliche Untersuchung sind die Gebäude- bzw. Nutzungstypen Wohngebäude (Wohngebäude, Aufenthaltsräume) sowie Büros und Räume mit ähnlicher Nutzung (Büros und büroähnliche Nutzungen) relevant. Die unterschiedlichen Klasse I bis IV geben Aufschluss darüber, mit wie vielen unzufriedenen Menschen trotzdem zu rechnen ist, wenn die besagten Temperaturniveaus eingehalten werden. Üblicherweise wird in der Haustechnik Klasse II mit einer zu erwartenden Unzufriedenheit von 10 % aller Nutzer:innen. Damit ergeben sich für den Kühlfall in beiden Nutzungen für 90 % der Nutzer:innen behagliche Innenraumtemperaturen von 23 °C bis 26 °C.

Tabelle 1: Grenzwerte für operative Innenraumtemperatur für die stündliche Berechnung der Kühl- und Heizenergie in vier Kategorien der Innenraumumgebung [1]

Nutzung	Klasse	Minimaltemperatur Heizsaison, °C Clothing ~ 1,0 clo	Maximaltemperatur Kühlsaison, °C Clothing ~ 0,5 clo
Wohngebäude, Aufenthaltsräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer, Küche etc.) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0
Büros and büroähnliche Nutzungen (Einzelraumbüros, Gruppenbüros, Meetingräume, Schulen etc.) Sitzende Tätigkeiten ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
	IV	18,0	28,0

unter der Annahme von 50 % Luftfeuchtigkeit und eine geringen Luftgeschwindigkeit < 0,1 m/s

Für die gegenständliche Untersuchung wird das Komfortanspruchsniveau „genereller Komfort“ Klasse II aus der ÖNORM EN 16798-1:2019 gewählt. Mit einer Unzufriedenheitsrate von 10 %, wie sie in haustechnischen Anwendungen üblich ist, muss somit eine Maximaltemperatur von 26 °C eingehalten werden. Der Kältebedarf wird für dieses Temperaturniveau ermittelt.

2.2. Adaptiver Komfort

Alternativ zum Generellen Komfortmodell wird in der ÖNORM EN 16798-1:2019 im Anhang auch das sogenannte Adaptive Komfortmodell beschrieben. Unter der Annahme, dass der Mensch immer Teil seiner Umgebung ist und sich auch an die außen vorherrschenden Temperaturniveaus anpasst, bietet dieses Modell die Chance, die Behaglichkeitsgrenzen im Innenraum abhängig vom außen vorherrschenden Klima zu machen. Kurz, je heißer es draußen ist, desto eher fühlen wir uns auch im Innenraum mit höheren Temperaturen als die 26 °C nach generellem Komfortmodell zufrieden.

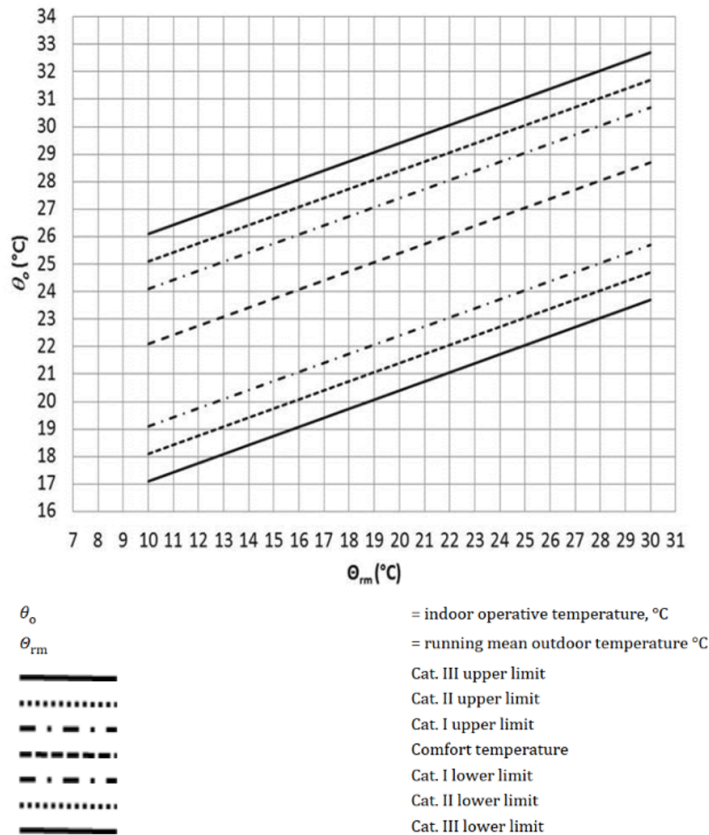
Wird der Ansatz des in der ÖNORM EN 16798-1:2019 beschriebenen adaptiven Komfortmodells genau interpretiert, gilt dieses Modell jedoch lediglich für Gebäude die frei mit dem Außenklima mitschwingen und somit ohne Konditionierung der Innenräume bzw. ohne einer Kühlung auskommen.

Bei der Anwendung einer sogenannten „stillen Kühlung“ kann jedoch argumentiert werden, dass das adaptive Komfortmodell ebenfalls Anwendung finden kann. Bei der stillen Kühlung handelt es sich meist um eine Deckenkühlung mit sehr geringer Temperaturdifferenz (rund 5 °C) zwischen Abgabefläche und Raumlufttemperatur. Die warme Raumluft steigt auf, wird beispielsweise durch die kühlere Decke abgekühlt und sinkt aufgrund der nun geringeren Dichte langsam wieder nach unten. Dort wird sie erneut durch den Raum erwärmt. Die Luftbewegung und der daraus resultierende Wärmeentzug erfolgen langsam, aber stetig und ohne große Eingriffsmöglichkeiten in die Innenraumtemperatur. Es kommt zu keinen Zuglufterscheinungen und aufgrund der kühlen Oberflächen nimmt die gefühlte Behaglichkeit im Raum zu. Durch die geringe Temperaturdifferenz zwischen „kühlender“ Fläche und Raum wird die Kühlung von den Nutzer:innen nicht oder kaum wahrgenommen, weshalb sich diese häufig auch mit höheren Raumtemperaturen zufriedengeben.

Die notwendige geringe Vorlauftemperatur des Systems führt dazu, dass die stille Kühlung als sehr energieeffizient gilt, da meist die passive Kühlung über natürliche Wärmesenken ausreicht. Diese beiden Kombinationen führen dazu, dass in der gegenständlichen Arbeit trotz mechanischer Kühlung eine Anwendung des adaptiven Komfortmodell erwägt und bewertet wird.

Das in der ÖNORM EN 16798-1:2019 definierte adaptive Komfortmodell wird in drei Klassen unterteilt, siehe Abbildung 1. Die unterschiedlichen Komfortklassen stellen hierbei das Erwartungsniveau der Nutzer:innen dar, vom Höchsten der Klasse I (geeignet für sehr sensible oder gebrechliche Menschen, z.B. Kinder, Kranke oder Hochaltrige) bis zum Niedrigsten der Klasse III (für anspruchslöse Bestandsgebäuden, ohne jeglichen baulichen Änderungen). Für Neubauten oder Sanierungen sollte Klasse II herangezogen werden.[2] Die minimalen und maximalen operativen Innenraumtemperaturen sind dabei abhängig von der jeweiligen gleitenden mittleren Außenlufttemperatur, kurz Θ_{RM} . Die genaue Methodik zur Ermittlung dieser gleitenden, mittleren Außenlufttemperatur kann der Norm entnommen werden. Wie bereits beim generellen Komfortniveau wird Klasse II für die Ermittlung der maximalen Innenraumtemperaturen gewählt. Diese liegen für die Kühlperiode somit, abhängig von der Θ_{RM} (> 16 °C) in einem Bereich von 26 °C bis 30,5 °C.

Abbildung 1: Standardauslegungswerte für die operative Innentemperatur für Gebäude ohne mechanische Kühlsysteme in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur [1]



Für die gegenständliche Untersuchung wird ergänzend das Komfortanspruchsniveau „adaptiver Komfort“ Klasse II aus der ÖNORM EN 16798-1:2019 berücksichtigt. Aufgrund der technischen Möglichkeit einer „stillen Kühlung“ in Wohngebäuden wird der Auslegungsrahmen des adaptiven Komfortmodell aus ÖNORM EN 16798-1:2019 auf Gebäude mit aktiver, aber kaum spürbarer Kühlung ausgeweitet. Zusätzlich zum generellen Komfort wird der Kältebedarf zur Erreichung der außentemperaturabhängigen Komfortgrenze ermittelt.

2.3. Arbeitsstättenverordnung

Für den Fall, dass ein Gebäude eine Arbeitsstätte beherbergt, ist es rechtlich verbindlich die in der Arbeitsstättenverordnung, kurz AStV, beschriebenen Vorschriften einzuhalten. In dieser Verordnung werden unter anderem Anforderungen an die vorherrschenden Temperaturniveaus gestellt. Für Büros wird darin im Sommerfall eine Begrenzung der Maximaltemperatur auf 25 °C festgehalten. Diese müssen, sofern es die technische Ausstattung der Räume zulässt, zwingend eingehalten werden. Damit verfolgt sie den Vorgaben eines strengen, generellen Komfortmodells.

Ist keine technische Möglichkeit zur Kühlung gegeben, müssen alle anderen Maßnahmen zur Komfortsteigerung, wie es beispielsweise erhöhte Luftbewegung, reduzierte Kleidungsvorschriften sein könnten, ausgeschöpft werden.

Damit greift in dieser Hinsicht auch die Arbeitsstättenverordnung auf die adaptiven Komfortansätze zurück.

Für die gegenständliche Untersuchung wird für die Ermittlung des Kältebedarfs von Bürogebäuden, abweichend von der Vorgangsweise für Wohnbauten, somit das in der Arbeitsstättenverordnung geforderte Niveau von 25 °C bei Vorhandensein einer technischen Kühlung als Maximaltemperatur herangezogen.

3 Nutzungsprofile

In diesem Kapitel werden die Nutzungsprofile dokumentiert, die für die Ermittlung des Kältebedarfs in den berücksichtigten Nutzungstypen Wohnen und Büro herangezogen werden. Diese stellen somit die Eingangsparameter für die thermischen Simulation dar.

Die Nutzungsprofile der beiden Typen unterscheiden sich vor allem durch ihre internen Lasten durch Personen und Geräte bzw. durch ihren hygienisch-erforderlichen Luftwechsel.

Bei den internen Lasten von Geräten werden die Werte aus der ÖNORM B 8110-3:2020, Tabelle 4 angewandt. Die internen Lasten durch Personen werden primär gemäß ÖNORM B 8110-3:2020, Tabelle 3 angenommen. Da bei der thermischen Gebäudesimulation jedoch auch die Raumfeuchte berücksichtigt wird, welche in der ÖNORM B 8110-3 nicht berücksichtigt ist, muss ein adaptiertes System der internen Lasten durch Personen angewandt werden. Es wird der Ansatz der Wärmelasten über das metabolische Äquivalent (MET) verwendet.

Als Fixwert der Hautfläche wird $1,8 \text{ m}^2$ angenommen, gemäß ISO 8996 Kapitel 1, sowie EN 13779 Tabelle A.13. Als Fixwert des Proportionalitätsfaktors wird $58,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{met})$ gemäß ISO 7730 Kapitel 4.1 herangezogen. Für beide Nutzungstypen (Wohnen und Büro) wird der Aktivitätsgrad gemäß ISO 7730 Tabelle B.1 bzw. EN 13779 Tabelle A.13 entsprechend angepasst. Bei beiden Nutzungen wird ein Aktivitätsgrad von 1,2 met angenommen, was einer sitzenden, leichten Tätigkeit entspricht. Eine Person mit 1,2 met erzeugt eine Wärmeleistung von 125 W, als Summe ihrer sensiblen und latenten Wärmeabgabe.

In der ÖNORM B 8110-3:2020 wird jedoch die spezifische Wärmeleistung, in W/m^2 , angegeben. Um die beiden Ansätze zu kombinieren, muss daher eine Personenanzahl für den jeweiligen Raum berechnet werden. Dafür wird im ersten Schritt die maximale Wärmeleistung durch Personen im betrachteten Raum berechnet. Dieser Wert wird dann durch die Wärmeleistung pro Person nach Aktivitätsgrad dividiert. Das Ergebnis ist eine fiktive Personenanzahl, welche den maximalen Wärmeleistungen nach ÖNORM B 8110-3:2020 entspricht, jedoch unter Berücksichtigung von sensibler und latenter Wärme.

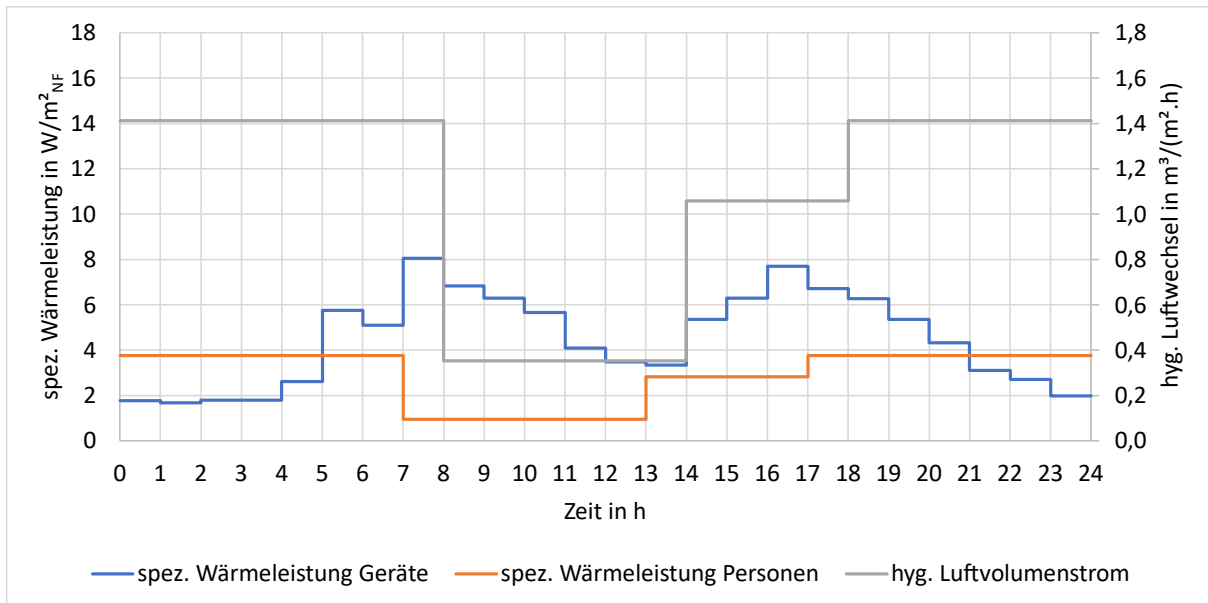
3.1. Wohnnutzung

Als hygienische Luftwechselrate für eine Wohnnutzung wird das Profil aus ÖNORM B 8110-3:2020, Tabelle 4 angewandt. Zusätzlich zum hygienischen Luftwechsel wird eine Fensteröffnung zur möglichen Abkühlung durch den Außenraum berücksichtigt, die in Kapitel 3.1.1 genauer beschrieben wird.

Bei den internen Lasten von Geräten bei Wohnnutzung werden die Werte aus ÖNORM B 8110-3:2020, Tabelle 2 angewandt. Die internen Lasten durch Personen werden gemäß ÖNORM B 8110-3:2020, Tabelle 3 angenommen. Als Belegungsdichte nach der oben beschriebenen Methodik ergibt sich für Wohngebäude somit eine Belegungsdichte von einer Person auf rund 33 m^2 Wohnnutzfläche.

Der Verlauf der spezifischen Wärmeleistung von Geräten und Personen sowie des hygienischen Luftvolumenstroms bei Wohnnutzung kann aus Abbildung 2 entnommen werden.

Abbildung 2: Spezifische Wärmeleistung von Geräten und Personen sowie des hygienischen Luftvolumenstroms bei Wohnnutzung (eigene Abbildung)



Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Wohngebäuden werden die inneren Lasten und der hygienische Luftvolumenstrom nach ÖNORM B 8110-3:2020 herangezogen. Basierend auf den darin genannten Wärmeabgabe durch Personen ergibt sich eine rechnerische Belegungsdichte von einer Person auf rund 33 m² Wohnnutzfläche.

3.1.1. Deckung hygienischer Luftwechsel

Grundsätzlich erfolgt die Lüftung im Wohnbereich über das Öffnen von Fenstern. Zur Deckung des zuvor festgelegten hygienisch-erforderlichen Luftwechsels wird in Wohngebäuden simulationstechnisch eine Lüftungsanlage ohne Luftbehandlungsstufen vorgesehen. Eine zusätzliche Infiltration durch die Hülle wird nicht vorgesehen, diese ist rechnerisch bereits im hygienischen Luftwechsel inkludiert.

Simulationstechnisch wird der hygienische Luftwechsel von Wohngebäuden über eine Lüftungsanlage ohne Luftbehandlungsstufen ausgeführt.

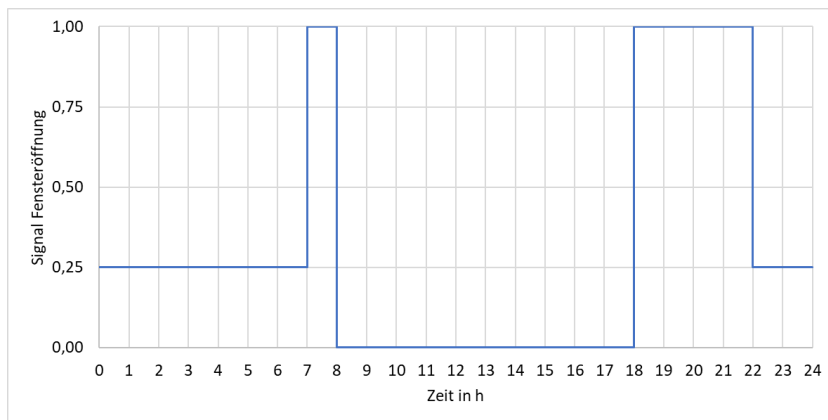
3.1.2. Fensteröffnung Wohnnutzung

Zusätzlich zur Deckung des hygienischen Luftwechsels wird in Wohngebäuden eine Öffnung bei der Hälfte aller verfügbaren Fenster, jeweils mit 50 % ihres Flächenanteils, berücksichtigt. Dabei kommt eine eigens definierte Regelung zur Anwendung.

Das Fenster wird geöffnet, wenn mehrere Bedingungen zeitgleich eintreten. Erstens, die operative Innenraumtemperatur muss über 25,5 °C liegt und zweitens, die Anwesenheit von Personen zur Bedienung der Fenster ist gegeben. Der Grenzwert von 25,5 °C ist darin begründet, dass er mit 0,5 K knapp unter der gewählten Grenztemperatur des generellen Komfortmodells liegt und angenommen wird, dass die Nutzer:innen die Fenster so bedienen, dass zuerst das Entwärmungspotenzial der Fensterlüftung ausgenutzt wird, bevor sie eine Kühlung aktivieren. Das Fenster bleibt anschließend so lange geöffnet, bis sich entweder eine operative Raumtemperatur von 20 °C eingestellt hat oder es von den Nutzer:innen aufgrund von Abwesenheit wieder geschlossen wird.

In Abbildung 3 ist das berücksichtigte Zeitprofil zu sehen. Das Anwesenheitsprofil ist angelehnt an die ÖNORM B 8110-3, es werden jedoch lediglich jene Stunden zur Fensteröffnung freigestellt, in denen der Wert 100 % beträgt. In den Nachtstunden (ab 22 Uhr) verändert sich das Fensteröffnungsschema dahingehend, dass die Fenster lediglich gekippt bedient werden, wieder entsprechend der oben beschriebenen Regelung. Der berücksichtigte Kippwinkel beträgt 30 °. Mit einer Fensterhöhe von 1,5 m (angewandt in allen Varianten) wird in Anlehnung an die Berechnung der ÖNORM B 8110-3 eine Fensterfläche von ca. 0,56 m² bzw. ein kippbarer Anteil der offenbaren Fensterfläche von 19 % erreicht.

Abbildung 3: Zeitplan des Fensteröffnungssignals (eigene Abbildung)



Im Zuge einer durchgeführten Sensitivitätsanalyse hat sich herausgestellt, dass es bei vergrößerten Fensterflächenanteilen zu signifikant höheren Energieaustragungen im Zuge der Nachtlüftung kommt. Bei einer Analyse von Gebäuden mit Fensterflächenanteilen von 30 % und höher wurde festgestellt, dass sich der Anteil an öffentlicher Fensterflächen meist nicht wesentlich von jenen mit geringerem Fensterflächenanteil unterscheidet. Es wird daher davon ausgegangen, dass die öffentbare Fensterfläche bei allen Fensterkonfigurationen identisch ist. Dies gilt auch für die aktiv kippfähige Fläche.

Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Wohngebäuden kommt zusätzlich eine Regelung zur Anwendung, bei der die Fenster bei geeigneten Außentemperaturen und einer Anwesenheit von Personen geöffnet werden. Auch ein Kippen der Fenster zur Nachtlüftung ist vorgesehen.

3.2. Büronutzung

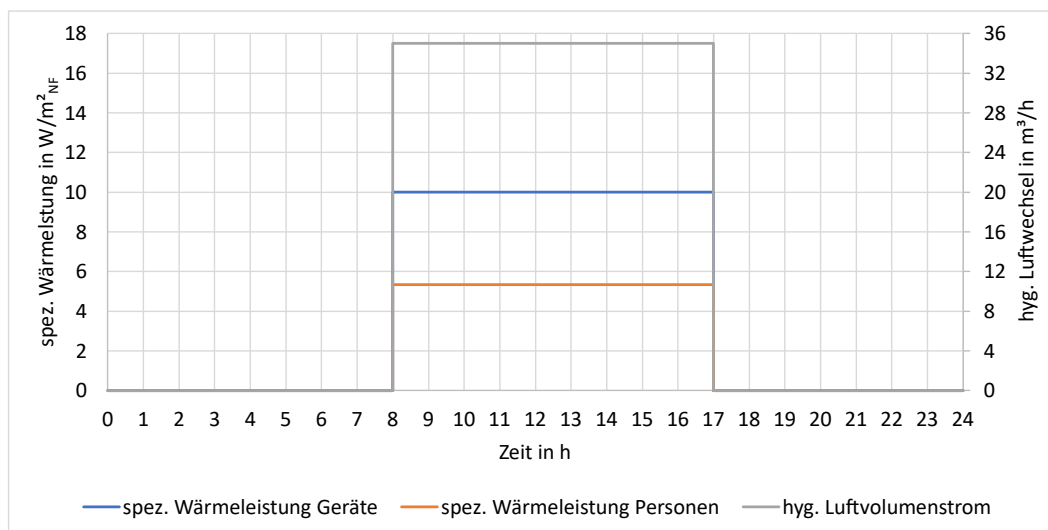
Als hygienische Luftwechselrate für Büronutzung wird das Profil aus der ÖNORM B 8110-3:2020, Tabelle 4 angewandt. Zusätzlich zum hygienischen Luftwechsel wird eine Fensteröffnung zur möglichen Abkühlung durch den Außenraum berücksichtigt, die in Kapitel 3.2.2 genauer beschrieben wird.

Bei den inneren Lasten von Geräten wird das Profil der ÖNORM B 8110-3:2020 aus Tabelle 2 angewandt. Die inneren Lasten von Personen ergeben sich aus den anwesenden Personen. Gemäß Arbeitsstättenverordnung (AStV) sind für die erste Person 8 m² Nutzfläche in einem Büro vorzusehen, für jede weitere 5 m². Für die simulationstechnisch rund 70 m² großen, zu kühlenden Zonen ergäbe sich hiermit eine maximal-zulässige Belegungsanzahl von 12,4 Personen. Angelehnt an reale Belegungen in Büros wird mit 15 m² pro Person gerechnet bzw. aufgerundet 5 Personen in der simulierten Zone gerechnet.

Entgegen einer Belegungsdichte entsprechend der Maximalbelegung nach AStV wird in der Simulation die Personenanzahl auf eine je 15 m² Nutfläche begrenzt.

Das Zeitprofil der jeweiligen Nutzungsbedingungen ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Spezifische Wärmeleistung von Geräten und Personen sowie des hygienischen Luftvolumenstrom bei Büronutzung (eigene Abbildung)



Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Bürogebäuden werden die inneren Lasten und der hygienische Luftvolumenstrom nach ÖNORM B 8110-3:2020 herangezogen. Die internen Gewinne durch Personen ergeben sich aus einer angenommenen rechnerischen Belegungsdichte von einer Person je 15 m² Nutzfläche.

3.2.1. Deckung hygienischer Lüftung

Zur Deckung des hygienisch erforderlichen Luftwechsels kommt in Büros üblicherweise eine Lüftungsanlage zur Anwendung. Wie bereits bei den Wohngebäuden, erfolgt dies simulationstechnisch über eine Lüftungsanlage ohne energieaufwändige Luftbehandlungsstufen (Heizen, Kühlen) abgedeckt. Zusätzlich wird angenommen, dass aufgrund der real häufig vorhandenen Lüftungsanlagen, eine Wärmerückgewinnung zur Anwendung kommt. Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung wird mit 75 %, angelehnt an ÖNORM B 8110-6-1:2019-01-15, angenommen.

Simulationstechnisch wird die Wärmerückgewinnung als Reduktion des erforderlichen Luftwechsels auf 25 % des Ausgangswertes ausgeführt. Damit wird zugleich der Wärmeeintrag durch hohe Außenlufttemperaturen reduziert und somit im Kältebedarf berücksichtigt.

Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Bürogebäuden wird der hygienische Luftvolumenstrom unter der Annahme eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit 75 % Wirkungsgrad auf 25 % des Ausgangswertes reduziert.

3.2.2. Fensteröffnung Büronutzung

Zusätzlich zur Deckung des hygienischen Luftwechsels wird in Bürogebäuden eine Öffnung bei der Hälfte aller verfügbaren Fenster, jeweils mit 50 % ihres Flächenanteils, berücksichtigt. Dabei kommt eine eigens definierte Regelung zur Anwendung.

Das Fenster wird geöffnet, wenn mehrere Bedingungen zeitgleich eintreten. Erstens, die operative Innenraumtemperatur liegt über 24,5 °C und zweitens, die Anwesenheit von Personen zur Bedienung der Fenster ist gegeben. Der Grenzwert von 24,5 °C ist darin begründet, dass er mit 0,5 K knapp unter der Grenztemperatur der maximalen Lufttemperatur in Räumen mit geringer körperlicher Belastung laut AStV liegt und angenommen wird, dass die Nutzer:innen die Fenster so bedienen, dass zuerst das Entwärmungspotenzial der Fensterlüftung ausgenutzt wird, bevor sie eine Kühlung aktivieren. Das Fenster bleibt anschließend so lange geöffnet, bis sich entweder eine operative Raumtemperatur von 20 °C eingestellt hat oder es von den Nutzer:innen aufgrund von Abwesenheit wieder geschlossen wird. Das Anwesenheitsprofil wurde in Anlehnung an die ÖNORM B 8110-3 gewählt.

Aufgrund von rechtlichen bzw. versicherungsrechtlichen Gründen wird bei der Büronutzung keine zusätzliche Nachtlüftung berücksichtigt.

Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Bürogebäuden kommt zusätzlich eine Regelung zur Anwendung, bei der die Fenster bei geeigneten Außentemperaturen und einer Anwesenheit von Personen geöffnet werden. Ein Öffnen der Fenster in den Nachtstunden ist nicht vorgesehen.

4 Bauphysik und Geometrie

In diesem Kapitel werden zunächst die in der thermischen Gebäudesimulation angewandten bauphysikalischen und geometrischen Eigenschaften dokumentiert und anschließend eine Analyse der Veränderung des Kältebedarfs unter Berücksichtigung von unterschiedlichen $g_{\text{total,Fassade}}$, Gebäude-Geometrien, Wärmeschutzniveaus und Zonenpositionen durchgeführt.

4.1. Opake Bauteile

In diesem Kapitel werden die opaken Bauteile Außenwand, Innenwand, oberste Geschoßdecke/Dach, Zwischendecke und Bodenplatte definiert. Im ersten Schritt werden mithilfe einer Literaturrecherche charakteristische U-Werte für den österreichischen Gebäudebestand recherchiert und definiert. Erst in einem zweiten Schritt werden dann die Aufbauten der Bauteile, entsprechend den zuvor festgelegten U-Werten definiert.

Zur Bewertung der thermischen Qualität eines Gebäudes bietet sich eine Differenzierung über die Bauperioden an. Dies ist dadurch begründet, dass der Kennwert der Bauperiode in den statistischen Daten zum Gebäudebestand flächendeckend dokumentiert ist und sich daher auch für eine geografische Verortung des Kältebedarfs in den einzelnen Gemeinden in Rahmen der Kältebedarfsszenarien des AP3 eignet.

Als Grundlage zur Festlegung der U-Werte dient das EU-Projekt TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) in welchem für vier charakteristische Gebäudetypen,

- Einfamilienhaus
- Reihenhaus
- Mehrfamilienhaus
- Wohnblock

und acht charakteristische Bauperioden

- vor 1919,
- 1920-1945
- 1946-1960
- 1961-1980
- 1981-1990
- 1991- 2000,
- 2001-2009
- 2010 bis heute

typische bauphysikalische Eigenschaften angegeben werden.

Tabelle 2: Mittelwertbildung der U-Werte für die Bauteile Außenwand, oberste Geschößdecke und Kellerdecke [3]

	AW	OGD/Dach	FB/Kellerdecke
	W/(m ² .K)	W/(m ² .K)	W/(m ² .K)
Vor 1919	1,60	1,10	1,20
1920 bis 1944	1,60	0,80	1,20
1945 bis 1959	1,45	0,80	1,20
1960 bis 1979	1,25	0,70	0,80
1980 bis 1989	0,65	0,40	0,50
1990 bis 1999	0,40	0,30	0,45
2000 bis 2010	0,35	0,20	0,35
2011 und später	0,10	0,10	0,20

Bei der Analyse der U-Werte aus TABULA (Tabelle 2) zeigt sich, dass die Unterschiede der charakteristischen U-Werte verschiedener Bauperioden zusammengefasst werden können. Aus den Rohdaten aus TABULA konnten daher vier bautechnisch geclusterte Varianten gebildet werden, welche den österreichischen Gebäudebestand somit gut abbilden, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Variantenübersicht der U-Werte der verschiedenen Bauteile

Var.	AW	Dach	Bodenplatte	Gebäudeart
1	1,5 W/(m ² .K)	1,0 W/(m ² .K)	1,0 W/(m ² .K)	Bestand
2	1,0 W/(m ² .K)			
3	0,35 W/(m ² .K) (OIB)	0,2 W/(m ² .K) (OIB)	0,4 W/(m ² .K) (OIB)	Bestand Sanierung/Neubau
4	0,20 W/(m ² .K)			

Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Wohn- und Bürogebäuden kommen die vier U-Wert-Bündel aus Tabelle 3 zum Einsatz. Damit ergeben sich aus der Variation der Bauperioden vier unterschiedliche Kältebedarfe. Der in der thermischen Simulation ermittelten Kältebedarf wird anschließend den Bauperioden vor 1945, 1945 bis 1990 und nach 1990 sowie der Kategorie Bestand oder Sanierung/Neubau zugewiesen. Bei den bauphysikalischen Eigenschaften der Bauteile wird in der Simulation kein Wärmebrückenaufschlag berücksichtigt.

4.1.1. Außenwand

Bei den Außenwänden wird von einer mittelschweren Bauweise ausgegangen. Es wird angenommen, dass diese Bauweise den österreichischen Gebäudebestand gut repräsentiert. Ein typischer Vertreter der mittelschweren Bauweise sind Gebäude aus Ziegelmauerwerk, in diesem Fall aus Hochlochziegeln. Die Aufbauten werden so gewählt, dass die tragende Schicht (Ziegel) bei allen U-Wert-Konfigurationen unverändert bleibt und zur Erreichung der unterschiedlichen U-Werte eine zusätzliche Dämmschicht in entsprechender Dicke angebracht wird.

Die bauphysikalischen Kenndaten der einzelnen Baustoffe werden ausschließlich aus der ÖNORM B 8110-7:2013 herangezogen.

Der Bauteilaufbau der Außenwand ohne Dämmung kann Tabelle 4 entnommen werden. In Tabelle 5 bis Tabelle 7 sind Aufbauten der Außenwand mit unterschiedlichen Dämmstärken dargestellt.

Tabelle 4: Bauteilaufbau Außenwand ohne Dämmung (Innen nach Außen)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Hochlochziegel	20	1600	0,78	1000
Normalputz	2	1000	0,45	1000
U-Wert	1,5 W/(m ² .K)			

Tabelle 5: Bauteilaufbau Außenwand mit geringer Dämmstärke (Innen nach Außen)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Hochlochziegel	20	1600	0,78	1000
Steinwolle	1,3	60	0,04	1030
Normalputz	2	1000	0,45	1000
U-Wert	1,0 W/(m ² .K)			

Tabelle 6: Bauteilaufbau Außenwand mit OIB-RL 6 konformer Dämmstärke (Innen nach Außen)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Hochlochziegel	20	1600	0,78	1000
Steinwolle	8,75	60	0,04	1030
Normalputz	2	1000	0,45	1000
U-Wert	0,35 W/(m ² .K)			

Tabelle 7: Bauteilaufbau Außenwand bei ambitioniertem Neubau oder Sanierung (Innen nach Außen)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Hochlochziegel	20	1600	0,78	1000
Steinwolle	17,3	60	0,04	1030
Normalputz	2	1000	0,45	1000
U-Wert	0,20 W/(m ² .K)			

4.1.2. Innenwand

Da in der thermischen Simulation die Innenwände adiabatisch, also ohne Verluste gerechnet werden und lediglich Speichermasse bieten, wird diese unabhängig vom Baustandard gleichbleibend definiert. Der Bauteilaufbau der Innenwände kann Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8: Bauteilaufbau Innenwand

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Mauerziegel gelocht (Lochanteil ≤ 25 %) + Normalmauermörtel	26,3	1100	0,48	1000
Normalputz	2	1000	0,45	1000
U-Wert	1,3 W/(m ² .K)			

4.1.3. Oberste Geschoßdecke bzw. Flachdach

Für jene Nutzeinheiten, die direkt unter der Obersten Geschoßdecke bzw. dem Dach situiert sind, wird für die Wärmeeinträge der Bauteilaufbau des mäßig gedämmten Flachdachs im Bestand nach Tabelle 9 definiert. Alternativ kommt ein besser gedämmter Aufbau nach Tabelle 10 zur Anwendung.

Tabelle 9: Bauteilaufbau Flachdach im Bestand (Innen nach Außen)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Normalbeton mit Bewährung 1 %	20	2300	2,30	1000
Steinwolle	2,5	60	0,04	1030
Abdichtung	0,5	1200	0,24	1400
Schüttung	5	1800	0,7	1000
U-Wert	1,0 W/(m ² .K)			

Tabelle 10: Bauteilaufbau des zusatzgedämmten Flachdaches (Innen nach Außen)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Normalputz	2	1000	0,45	1000
Normalbeton mit Bewährung 1 %	20	2300	2,30	1000
Steinwolle	18,5	60	0,04	1030
Abdichtung	0,5	1200	0,24	1400
Schüttung	5	1800	0,7	1000
U-Wert	0,2 W/(m ² .K)			

4.1.4. Zwischendecke

Wie bereits bei den Innendecken werden auch Zwischendecken in der thermischen Simulation adiabatisch betrachtet, lediglich ihre Speichermasse hat hierbei einen Einfluss auf das Ergebnis. Für alle Gebäude wird ein gleichbleibender Aufbau nach Tabelle 11 zur Ermittlung der Kältebedarfs herangezogen.

Tabelle 11: Bauteilaufbau der Zwischendecke (oben nach unten)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Belag	1,0	1300	0,19	1400
Zementestrich	4,0	1800	1,10	1450
Trittschalldämmung	2,0	80	0,079	750
Normalbeton mit Bewährung 1 %	15,0	2300	2,30	1000
U-Wert	1,9 W/(m ² .K)			

4.1.5. Unterste Geschoßdecke

Für jene Nutzeinheiten, die ganz unten in einem Gebäude situiert sind, weisen auch Wärmeverluste nach unten in den Keller oder die erdberührte Bodenplatte auf. Aufbauten für eine mäßig und eine besser gedämmt Bodenplatte können Tabelle 12 und Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 12: Bauteilaufbau unterste Geschoßdecke (oben nach unten)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Zementestrich	10	1800	1,10	1080
XPS-G-20	2,4	32	0,04	1450
Normalbeton mit Bewährung 1 %	30	2300	2,30	1000
U-Wert	1,0 W/m ² K			

Tabelle 13: Bauteilaufbau zusatzgedammte unterste Geschoßdecke (oben nach unten)

	Stärke	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmespeicherkapazität
	cm	kg/m ³	W/(m.K)	J/(kg.K)
Zementestrich	10	1800	1,10	1080
XPS-G-20	2,4	32	0,04	1450
Normalbeton mit Bewährung 1 %	30	2300	2,30	1000
XPS-G-20	6	32	0,04	1450
U-Wert	0,4 W/m ² K			

Für die Ermittlung des Kältebedarfs von Wohn- und Bürogebäuden kommen die beschriebenen Aufbauten entsprechend ihrer Zuordnung zum Gebäudealter und zum Gebäudezustand (Bestand, Sanierung, Neubau) zum Einsatz.

4.1.6. Ergebnisse des Einflusses des Wärmeschutzniveaus

Bei der Analyse im folgenden Kapitel wird der Einfluss des Wärmeschutzniveaus auf den Kältebedarf untersucht. Die allgemeinen Rahmenbedingungen lauten:

- Nutzung: Wohnen
- Gebäudegeometrie: MFH gekuppelt
- Gebäudeausrichtung: Süden
- Berücksichtigung Nachbargebäude: Nein
- Untersuchte Geschoße: Regelgeschoß

Die Ergebnisse der Analyse des Einflusses des Wärmeschutzniveaus auf den Kältebedarf von Gebäuden zeigen, dass das Wärmeschutzniveau vor allem an Standorten mit einer hohen Anzahl an Kühlgradtagen (KGT bzw. CDD (Cooling Degree Days)), wie z.B. Wien 2050 RCP4.5 inkl. so genannter Urban Heat Island (UHI) -Effekte (

Abbildung 6), einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf den Kältebedarf des Gebäudes hat. An Standorten mit geringeren Kühlgradtagen, z.B. Wien 2030 RCP4.5 (Abbildung 5), sind die Einflüsse des Wärmeschutzniveaus nicht so stark ausgeprägt.

Bei der Berücksichtigung des adaptiven Komfortmodells (Abbildung 7 und Abbildung 8) zeigen sich nahezu keine Unterschiede im Kältebedarf bei unterschiedlichen U-Werten der Außenwand. Vereinzelt kann ein niedriger U-Wert auch zu einer Erhöhung des Kältebedarfs (Abbildung 9) bei der Berücksichtigung des adaptiven Komfortmodells führen.

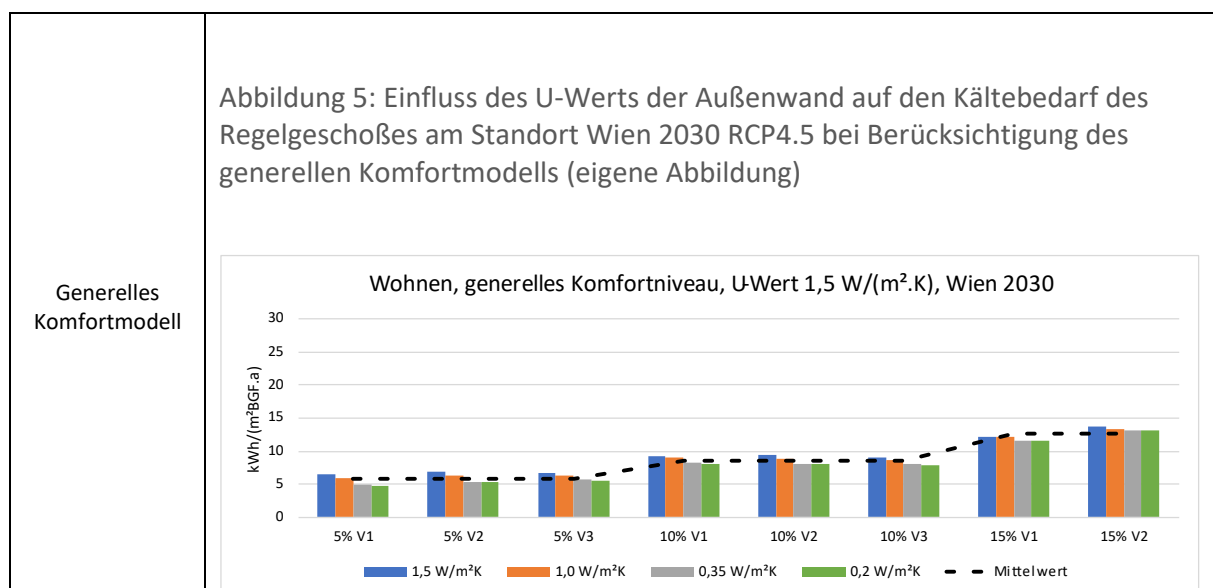
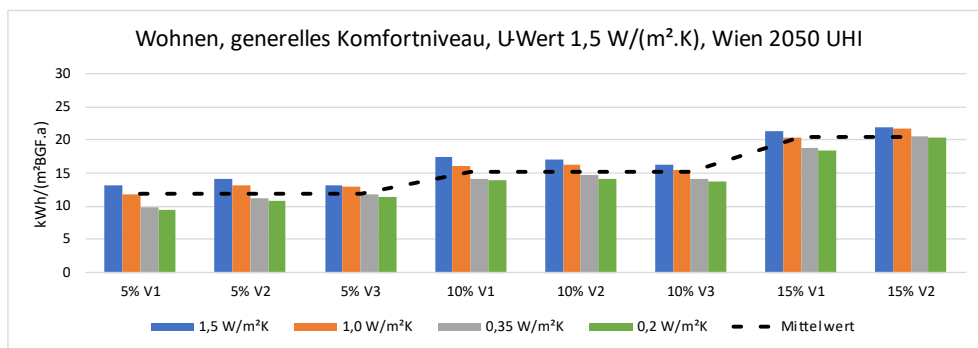


Abbildung 6: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte bei Berücksichtigung des generellen Komfortmodells (eigene Abbildung)



Adaptives
Komfortmodell

Abbildung 7: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2030 RCP4.5 bei Berücksichtigung des adaptiven Komfortmodells (eigene Abbildung)

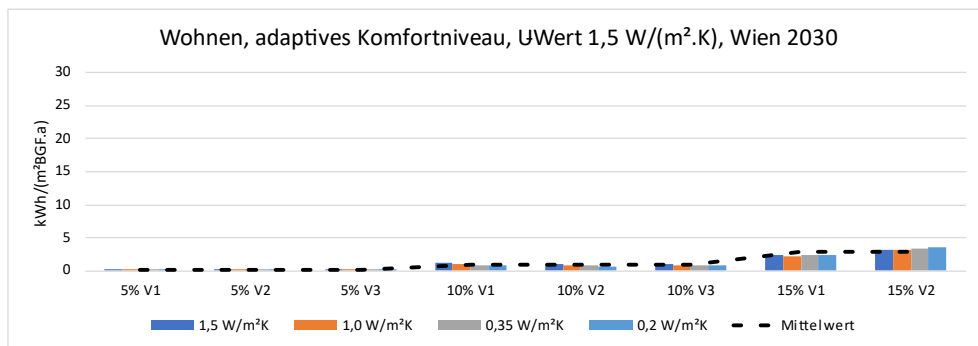
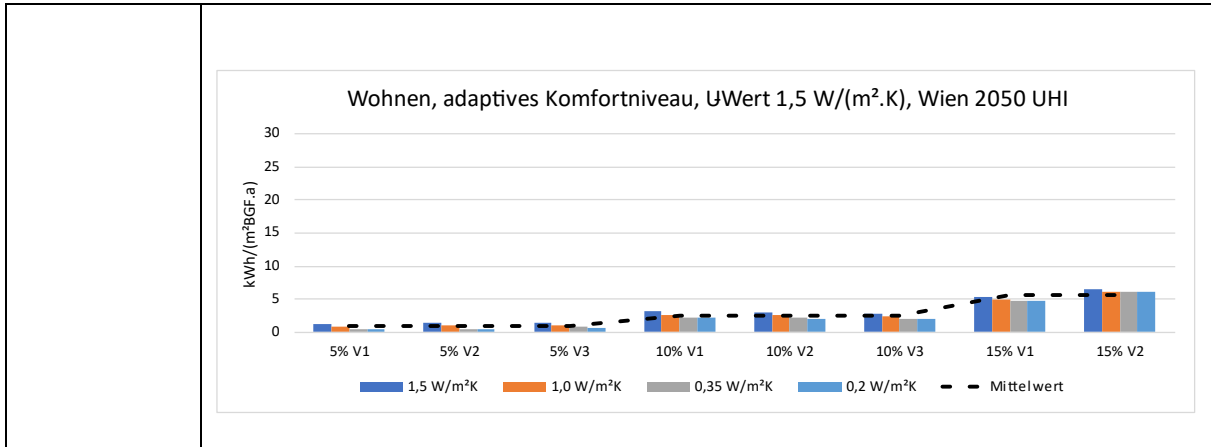
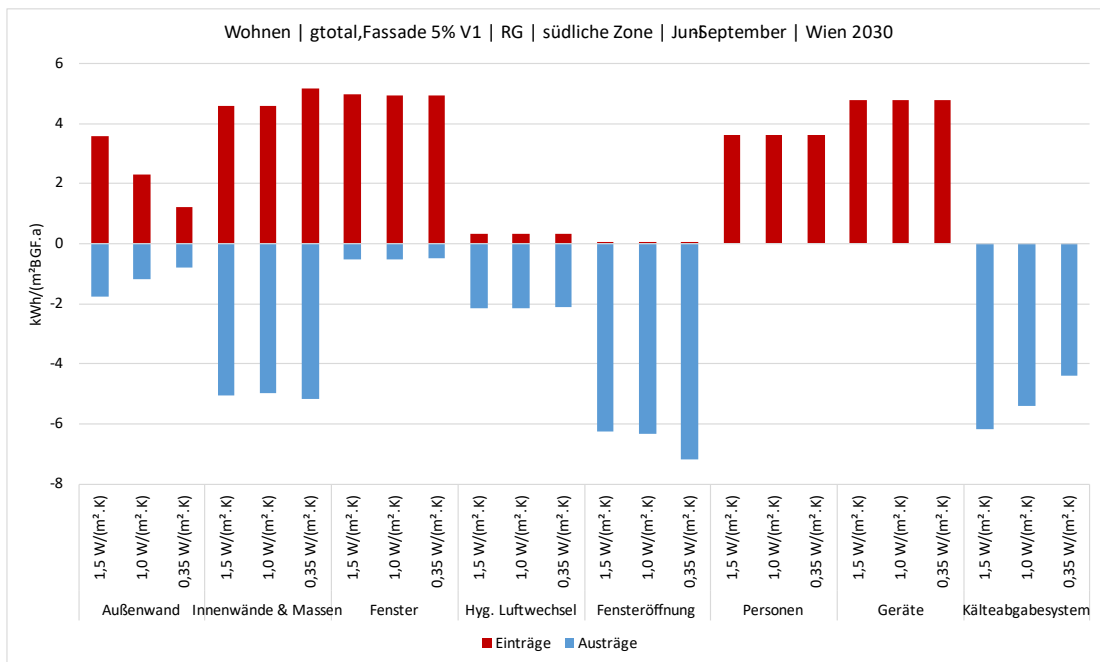


Abbildung 8: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte bei Berücksichtigung des adaptiven Komfortmodells (eigene Abbildung)



Bei genauerer Analyse der einzelnen Wärmeströme in und aus dem Gebäude (Abbildung 9) zeigt sich, dass durch die Reduktion des U-Werts zwar weniger Energie über die Außenwände aus dem Gebäude geführt werden kann, jedoch im Gegensatz dazu die Energieeinträge durch die Außenwände deutlich reduziert sind. Auffallend sind die Unterschiede der Wärmeströme aus dem Gebäude über die Fensterlüftung. Dies ist dadurch begründet, dass sich die operative Innenraumtemperatur in der Variante mit niedrigerem U-Wert häufiger unter dem Sollwert des Kälteabgabesystems befindet und daher die Möglichkeit der Energieabfuhr über die zusätzliche Fensterlüftung erhöht ist.

Abbildung 9: Detaillierte Analyse der 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 (eigene Abbildung)



Die Ergebnisse zum Einfluss des U-Wertes der Außenwand des Regelgeschoßes zeigen, dass das Wärmeschutzniveau bei der Berechnung des Kältebedarfs eines Gebäudes nicht vernachlässigt werden darf. 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 durch die Reduktion des U-Werts der Außenwand ein höherer Kältebedarf entsteht.

4.2. Transparente Bauteile

Neben den opaken Bauteilen haben auch transparente Bauteile, wie Fenster, Fixverglasungen und Türen einen wesentlichen Einfluss auf den Kältebedarf eines Gebäudes. Der Wärmeeintrag durch die transparenten Bauteile hängt von vielen Faktoren ab und ist hierbei die maßgebliche Größe. Zu den Faktoren zählen neben der Größe der Eintrittsfläche auch die Art der Verglasung, eine etwaige Beschattung durch andere Gebäude, Bauteile, Bäume oder dgl. sowie die Art der Sonnenschutzvorrichtungen (z.B. Jalousie, Rollläden etc.). Da diese Informationen jedoch nicht für den gesamten Gebäudebestand verfügbar sind, braucht es für die Ermittlung und geografische Verortung des österreichischen Kältebedarfs einen alternativen Ansatz. Hierfür bietet sich der Planungskennwert des Gesamtenergiedurchlassgrades der Fassade, kurz $g_{total,Fassade}$ an. Dieser beschreibt vereinfacht gesagt, wie viel Prozent der auf eine Fassade auftretenden Strahlung in den Innenraum gelangt und somit thermische wirksam ist.

Der Kennwert $g_{total,Fassade}$ wird mit folgender Formel berechnet und erweitert den bereits bei Fenstern gebräuchlichen Wert des Gesamtenergiedurchlassgrades um den Glasanteil in der Fassade und die Fremdverschattung durch gebaute Strukturen:

$$g_{total,Fassade} = g_{Fenster} * F_c * f_g * F_s$$

$g_{Fenster}$ Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

F_c Verschattungsfaktor des Sonnenschutzes

f_g Glasanteil der Fassade

F_s Verschattungsfaktor gebauter Strukturen

Der $g_{total,Fassade}$ ermöglicht es somit eine Vielzahl unterschiedlicher Konfigurationen aus Verglasungsart, Sonnenschutzvorrichtung, Fremdverschattung und Glasanteil der Fassade zusammenzufassen, anstelle alle Varianten einzeln rechnen zu müssen. Nachfolgend werden exemplarische Varianten vorgestellt und noch genauer auf einzelne Eingangsparameter eingegangen.

Glasflächenanteile

Bei der Analyse der Glasflächenanteile exemplarischer Fassaden wird zunächst auf die Fensterflächenanteile der OIB-Kostenoptimalitätsstudie zurückgegriffen. In Tabelle 14 zeigt sich, dass diese Fensterflächenanteile größtenteils sehr ähnliche Werte aufweisen, bzw. der Maximalwert

lediglich ca. 21 % beträgt. Unter der Annahme, dass der Glasanteil auch nur rund 75 % des Fensters beträgt ergeben sich daraus sehr geringe Glasflächenanteile von 8 % bis 15 %.

Tabelle 14: Fensterflächen- und Glasflächenanteile nach OIB-Kostenoptimalität [5]

Geometrie	Fensterflächenanteil	Glasflächenanteil
Einfamilienhaus klein	15,53 %	11,50 %
Einfamilienhaus groß	10,91 %	8,18 %
Mehrfamilienhaus klein	17,35 %	13,01 %
Mehrfamilienhaus groß	14,22 %	10,67 %
Geschoßwohnbau klein	20,53 %	15,40 %
Geschoßwohnbau groß	18,00 %	13,5 %

Werden reale Fassaden analysiert, so zeigt sich häufig, dass diese oftmals deutlich höhere Fensterflächenanteil von weit über 21 %, meist um die 30 % aufweisen. Bei modernen Bürogebäuden kann sich sogar ein Fensterflächenanteil von über 50 % ergeben. Tabelle 16 zeigt verschiedene Verglasungskonfigurationen und $g_{\text{total,Fassade}}$ bei realen Gebäuden.

Daher sind Werte aus der Kostenoptimalitätsstudie für die Bildung einer möglichst diversen Auswahl an Verglasungskonfigurationen ungeeignet sind. Für die Bildung von exemplarischen Verglasungskonfigurationen wird daher lediglich der Fensterflächenanteil an die Werte der OIB-Kostenoptimalität angelehnt jedoch nicht identisch übernommen.

Auf Basis exemplarische Kombinationen aus Verglasungsart, Sonnenschutzart und Glasanteil in der Fassade wurden charakteristische $g_{\text{total,Fassade}}$ Werte ermittelt und in Tabelle 15 dokumentiert.

Tabelle 15: Verglasungskonfigurationen zur Testung des Planungskennwerts $g_{\text{total,Fassade}}$

g-Wert Fenster	Sonnenschutzart	g_{total}	Glasanteil an der Fassade	$g_{\text{total,Fassade}}$
33 %	-	33 %	15,0 %	5 %
76 %	Rollladen	20 %	25,0 %	5 %
59 %	Fassadenmarkise	10 %	50,0 %	5 %
59 %	-	59 %	17,0 %	10 %
76 %	Lamellen Kl. 1	40 %	25,0 %	10 %
33 %	-	33 %	30,4 %	10 %
76 %	-	76 %	19,8 %	15 %
59 %	Lamellen Kl. 1	40 %	37,5 %	15 %

Anhand der farblichen Hinterlegung in Tabelle 15 zeigt einerseits die Vielseitigkeit des $g_{\text{total,Fassade}}$ und andererseits, dass verschiedenste Kombinationen zu gleichen $g_{\text{total,Fassade}}$ Werten führen können. Daher scheint eine Kategorisierung des $g_{\text{total,Fassade}}$ in drei Stufen – 5 %, 10 % und 15 % - geeignet zu sein, um diese Vielzahl an möglichen Kombinationen diskret einzuteilen und dem österreichischen Gebäudezustand zuweisen zu können. Die Fensterflächenanteile wurden jeweils derart verändert, dass exakt eine der gewünschten $g_{\text{total,Fassade}}$ Kategorie (5 %, 10 % oder 15 %) gebildet wird.

Um die Funktionalität dieses Kennwertes in Hinsicht auf dessen Stabilität bei der Ermittlung des Kältebedarfs zu bestätigen, wird jeweils eine thermische Gebäudesimulation für jede der verschiedenen Konfigurationen, siehe Tabelle 15, durchgeführt und anschließend miteinander verglichen. Die Grundlage der strahlungsphysikalischen Eigenschaften sind folgende:

- EN 14501 (g-Wert Fenster und Glasaufbau)
- ÖNORM B 8110-6, Tabelle 18 (Art und f_c -Wert des Sonnenschutzes)

Es wird darauf hingewiesen, dass bei den jeweiligen Fensterkonfigurationen der öffentbare Anteil der Fenster bei allen Konfigurationen gleich ist, unabhängig vom gesamten Fensterflächenanteil. Der Hintergrund hierfür ist einerseits, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Verglasungskonfigurationen in Hinsicht auf Lüftungspotential zu ermöglichen, und andererseits zeigt sich in der Praxis, dass der öffentbare Fensteranteil auch bei höherem Verglasungsanteil an der Fassade häufig gleichbleibt und Teile davon als Fixverglasung ausgeführt werden.

Tabelle 16: Einteilung bei verschiedenen Verglasungskonfigurationen in $g_{\text{total,Fassade}}$ Kategorien

<p>$g_{\text{total,Fassade}}$ 5 %</p>	 <p>33 % f_g 56 % g_{Fe} 25 % F_c <u>0 % F_s</u> 5 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [6]</p>	 <p>25 % f_g 76 % g_{Fe} 25 % F_c <u>0 % F_s</u> 5 % $g_{\text{total,Fassade}}$ (eigene Darstellung)</p>	 <p>40 % f_g 76 % g_{Fe} 25 % F_c <u>65 % F_s</u> 5 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [7]</p>
<p>$g_{\text{total,Fassade}}$ 10 %</p>	 <p>15 % f_g 76 % g_{Fe} 0 % F_c <u>0 % F_s</u> 10 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [8]</p>	 <p>80 % f_g 22 % g_{Fe} 50 % F_c <u>0 % F_s</u> 10 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [9]</p>	 <p>25 % f_g 76 % g_{Fe} 50 % F_c <u>0 % F_s</u> 10 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [10]</p>
<p>$g_{\text{total,Fassade}}$ 15 %</p>	 <p>27 % f_g 56 % g_{Fe} 0 % F_c <u>0 % F_s</u> 15 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [11]</p>	 <p>54 % f_g 56 % g_{Fe} 50 % F_c <u>0 % F_s</u> 15 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [12]</p>	 <p>75 % f_g 64 % g_{Fe} 0 % F_c <u>31 % F_s</u> 15 % $g_{\text{total,Fassade}}$ [13]</p>

4.3. Validierung $g_{\text{total,Fassade}}$

Zur Validierung des Kennwertes $g_{\text{total,Fassade}}$ werden mithilfe von thermischen Simulationen verschiedene Verglasungskonfigurationen (drei bei $g_{\text{total,Fassade}}$ 5 % und 10 % und zwei bei $g_{\text{total,Fassade}}$ 15 %) anhand von zwei Standorten (Wien 2030 RCP4.5 und Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte) genauer analysiert.

Die Validierung des Kennwertes $g_{\text{total,Fassade}}$ in Tabelle 17 zeigt folgende Ergebnisse an den exemplarischen Standorten Wien 2030 und Wien 2050 UHI:

- $g_{\text{total,Fassade}}$ 5 %: maximale Abweichung 0,7 kWh/(m².a) bzw. 9 %
- $g_{\text{total,Fassade}}$ 10 %: maximale Abweichung 1,7 kWh/(m².a) bzw. 17 %
- $g_{\text{total,Fassade}}$ 15 %: maximale Abweichung 2,0 kWh/(m².a) bzw. 13 %

Tabelle 17: Übersicht des Kältebedarfs in Wien 2030 und Wien 2050 UHI bei verschiedenen Verglasungskonfigurationen und $g_{\text{total,Fassade}}$ Werten

	g-Wert Fenster	Sonnenschutzart	g_{total}	Glasanteil an der Fassade	$g_{\text{total,Fassade}}$	Kältebedarf Wien 2030 [kWh/m ² .a]	Kältebedarf Wien 2050 UHI [kWh/m ² .a]
V1	33 %	-	33 %	15,0 %	5 %	8,0	16,5
V2	76 %	Rollladen	20 %	25,0 %	5 %	8,7	17,7
V3	59 %	Fassadenmarkise	10 %	50,0 %	5 %	8,3	16,4
V1	59 %	-	59 %	17,0 %	10 %	11,6	21,9
V2	76 %	Lamellen Kl. 1	40 %	25,0 %	10 %	11,7	21,3
V3	33 %	-	33 %	30,4 %	10 %	10,0	20,4
V1	76 %	-	76 %	19,8 %	15 %	15,2	26,6
V2	59 %	Lamellen Kl. 1	40 %	37,5 %	15 %	17,2	27,4

In dieser Analyse ist zu sehen, dass die Verglasungskonfigurationen ohne aktiven Sonnenschutz meist niedrigere Kältebedarfe aufweisen als jene mit aktivem Sonnenschutz. Dies ist dadurch begründet, dass bei den Verglasungskonfigurationen mit Sonnenschutz ein Regelungsalgorithmus hinterlegt ist, welcher erst bei bestimmten Bedingungen aktiv wird. Dadurch ergeben sich geringe Unterschiede in den verschiedenen Verglasungskonfigurationen.

Der Kennwert Gesamtenergiedurchlassgrad der Fassade, kurz $g_{\text{total,Fassade}}$ hat sich durch seine Möglichkeit der Abbildung einer Vielzahl an unterschiedlichen Verglasungskonfigurationen bewährt für die Differenzierung des österreichischen Kältebedarfs herangezogen zu werden. Aufgrund der geringen Abweichungen des Kältebedarfs innerhalb der einzelnen Kategorien des $g_{\text{tot,Fassade}}$ von rund 10 % bis 15 % beziehungsweise zwischen maximal 0,7 kWh/(m².a) bei $g_{\text{total,Fassade}}$ 5 % bzw. bei 2,0 kWh/(m².a) bei $g_{\text{total,Fassade}}$ 15 % wird die Kennzahl als ausreichend stabil angesehen, um für die Ermittlung des Kältebedarfs herangezogen zu werden.

Zusätzliche Abstrahlung aufgrund größerer Glasflächen

Es besteht die Vermutung, dass innerhalb der jeweiligen $g_{\text{tot,Fassade}}$ Kategorien aufgrund unterschiedlicher Glasflächenanteile an der Fassade auch vergrößerte Potenziale der Abkühlung durch die Abstrahlung gegen den kalten Nachthimmel gegeben ist und damit die Stabilität des Kennwertes beeinträchtigt.

Um dem nachzugehen, wurde eine Detailanalyse der Wärmeeinträge und Wärmeverluste der Fenster durchgeführt. In Tabelle 18 sind die verschiedenen Verglasungskonfigurationen und deren entzogenen Energiemenge durch Abstrahlung in den Nachthimmel, sowohl für den gesamten Simulationszeitraum (April bis Oktober), als auch lediglich für die Sommermonate Juni bis August dargestellt. Entgegen der Vermutung zeigt sich, dass die durch Abstrahlung in den Nachthimmel entzogenen Energiemengen bezogen auf den gesamten Kühlbedarf vernachlässigbar gering sind.

Tabelle 18: Übersicht der entzogenen Energiemenge durch Abstrahlung in den Nachthimmel

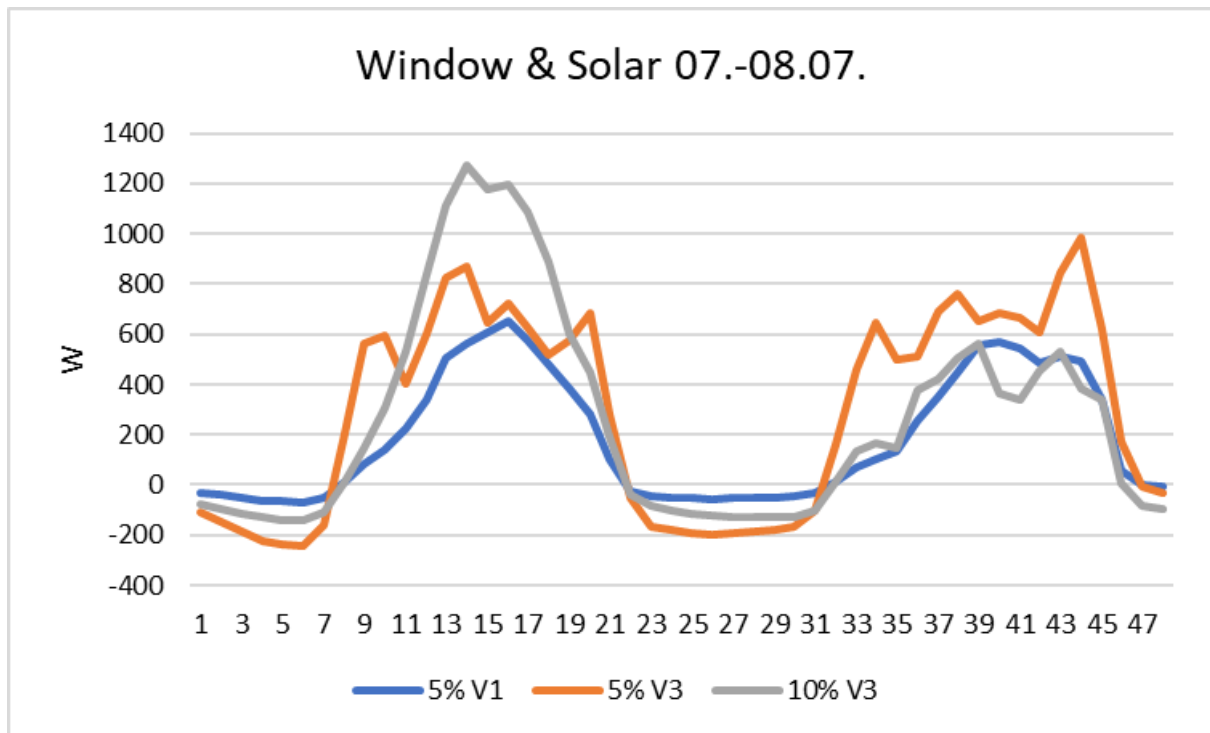
g-Wert Fenster	Sonnenschutzart	g_{total}	Glasanteil an der Fassade	$g_{\text{total,Fassade}}$	Nachtstunden Apr. – Okt. [kWh/m ² .a]	Nachtstunden Jun. – Aug. [kWh/m ² .a]
33 %	-	33 %	15,0 %	5 %	-0,2	-0,2
76 %	Rollladen	20 %	25,0 %	5 %	-0,3	-0,6
59 %	Fassadenmarkise	10 %	50,0 %	5 %	-0,4	-0,7
59 %	-	59 %	17,0 %	10 %	-0,5	-0,3
76 %	Lamellen Kl. 1	40 %	25,0 %	10 %	-0,5	-0,7
33 %	-	33 %	30,4 %	10 %	-0,6	-0,4
76 %	-	76 %	19,8 %	15 %	-0,7	-0,5
59 %	Lamellen Kl. 1	40 %	37,5 %	15 %	-0,7	-0,5

Bei der zweiten und dritten Konfiguration beträgt die Differenz der Glasanteile an der Fassade 25 %, dennoch zeigt sich lediglich ein Unterschied in der über den Nachthimmel entzogenen Energiemenge von 0,1 kWh/(m².a). Ähnliches gilt für die Konfigurationen mit $g_{\text{tot,Fassade}}$ 15 %.

Wird eine detaillierte Analyse einer Zweitagesperiode im Juli untersucht (Abbildung 10), zeigt sich, dass die abgestrahlten Energiemengen in der Nacht sehr ähnlich sind. Grundsätzlich ist auf der horizontalen Achse eine 48-Stunden Periode aufgetragen, die um Mitternacht des 7.Juni startet. Auf der vertikalen Achse sind zugleich die Wärmeeinträge durch das Fenster in Watt angegeben. Negative Wärmeeinträge entsprechen somit Verlusten durch dieses Bauteil, sowohl durch Wärmeleitung als auch durch Wärmestrahlung.

Es zeigen sich zwar für die individuellen Konfigurationen unterschiedlich hohe Verluste in den Nachtstunden, die jedoch basierend auf der zuvor durchgeführten Analyse über einen langfristigen Zeitraum nur einen geringen Einfluss auf das Gesamtgeschehen hat.

Abbildung 10: Exemplarische Analyse der Energiemengen des Fensters während einer Zweitagesperiode im Juli (eigene Abbildung)

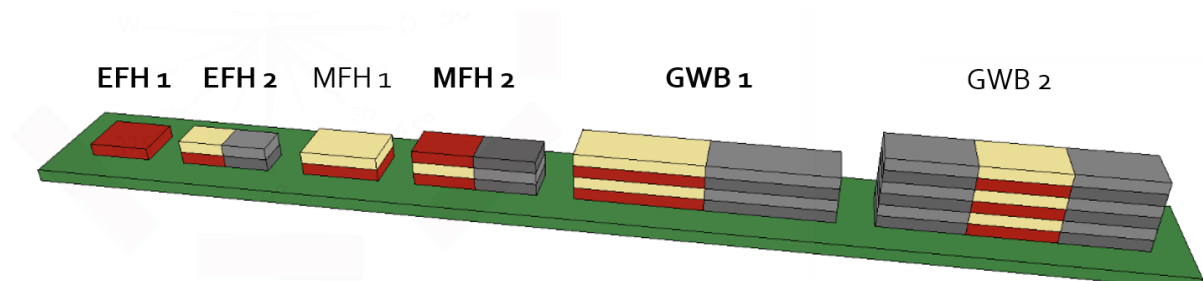


Eine vermutete verstärkte nächtliche Abstrahlung bei höheren Glasflächenanteilen innerhalb einer $g_{\text{tot, Fassade}}$ Kategorie scheint grundsätzlich gegeben zu sein, jedoch ist der Unterschied bezogen auf die Nutzfläche vernachlässigbar gering.

4.4. Geometrische Eigenschaften

Bei der Analyse der geometrischen Eigenschaften auf den Kältebedarf werden die exemplarischen Gebäudeformen der OIB-Kostenoptimalitätsstudie [5] herangezogen.

Abbildung 11: Gebäudegeometrie nach OIB-Kostenoptimalitätsstudie, in fett gedruckt die untersuchten Gebäudegeometrien [5]



Mithilfe von thermischer Simulation werden die Geometrien EFH 1 (offen) und EFH 2 (gekuppelt), MFH 2 (gekuppelt) und GWB 1 (gekuppelt) hinsichtlich deren Einfluss auf die Höhe des Kältebedarfs

analysiert. Die anschließende Auswahl der Gebäudegeometrie erfolgt zusätzlich vor dem Hintergrund der Fokussierung der gegenständlichen Studie auf die urbanen Bereiche Österreichs. Dafür sind vor allem die Gebäudegeometrie MFH und GWB von Interesse.

Die konkreten Abmessungen der untersuchten Gebäude sind in Tabelle 19 dargestellt. Die Geschoßhöhe beträgt bei allen Konfigurationen 3,0 m.

Tabelle 19: Gebäudegeometrie nach OIB-Kostenoptimalität [5]

Geometrie	Breite	Länge	Geschosse	Bauweise
EFH	12,00 m	14,29 m	1	offen
EFH	8,00 m	10,72 m	2	gekuppelt
MFH	10,00 m	14,84 m	3	gekuppelt
GWB	12,00 m	30,62 m	4	gekuppelt

Umrechnungsfaktor Bruttogeschoß- und Nutzfläche

Bei der Berechnung der Energiekennzahlen wird zwischen Bruttogrundfläche (BGF) Nettogrundflächen (NGF) und Nutzfläche (NF) unterschieden. Der Faktor zwischen Nettogrundfläche (NGF) und BGF wird in der OIB-Kostenoptimalitätsstudie mit 0,8 angegeben, zwischen BGF und NF wird üblicherweise mit 0,72 bis 0,75 umgerechnet. [5]

Da jedoch in der thermischen Simulation die Außenwandaufbauten variiert werden, um die verschiedenen Sanierungszustände und Gebäudealter abbilden zu können, ändert sich die BGF bei regulärer Ermittlung zwischen den unterschiedlichen Simulationen. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden die Innenzonen konstant gehalten und ausgehend von dieser Nutzfläche die BGF mit einem Umrechnungsfaktor von 0,8 berechnet.

Aufgrund der wechselnden Außenwandaufbauten wird ein fixer Umrechnungsfaktor zwischen Nutzfläche und Bruttogrundfläche von 0,8 angewandt. Alle Energiekennzahlen werden auf die Bruttogrundfläche bezogen. Alle Leistungskennzahlen auf die Nutzfläche.

4.4.1. Auswirkungen der Gebäudegeometrie

Bei der Analyse in diesem Kapitel wird der Einfluss der Gebäudegeometrie auf den Kältebedarf untersucht. Die allgemeinen Rahmenbedingungen für die Simulationen lauten:

- Nutzung: Wohnen
- Gebäudeausrichtung: Süden
- Berücksichtigung Nachbargebäude: Nein
- Untersuchte Geschoße: Regelgeschoß

- U-Wert Außenwand: 1,5 W/(m².K)

In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die Simulationsergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse der Gebäudegeometrie für die vier Gebäudeformen (EFH 1, EFH 2, MFH, GWB) und den unterschiedlichen $g_{\text{tot,Fassade}}$ Kombinationen jeweils für den Standort „Wien 2030“ und „Wien 2050 UHI“ angegeben. Zusätzlich wird der Mittelwert der jeweiligen Verglasungskonfiguration (z.B. V3) angegeben, wodurch eine bessere Einschätzung des Geometrieinflusses möglich ist.

Abbildung 12: Vergleich des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf am Standort Wien 2030 (eigene Abbildung)

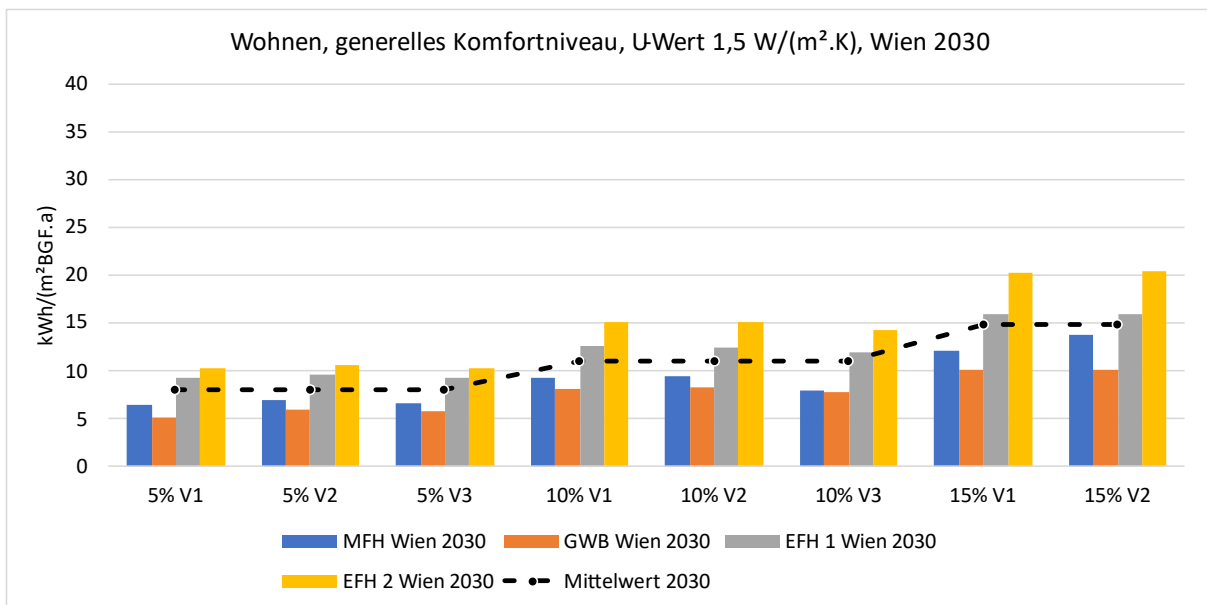
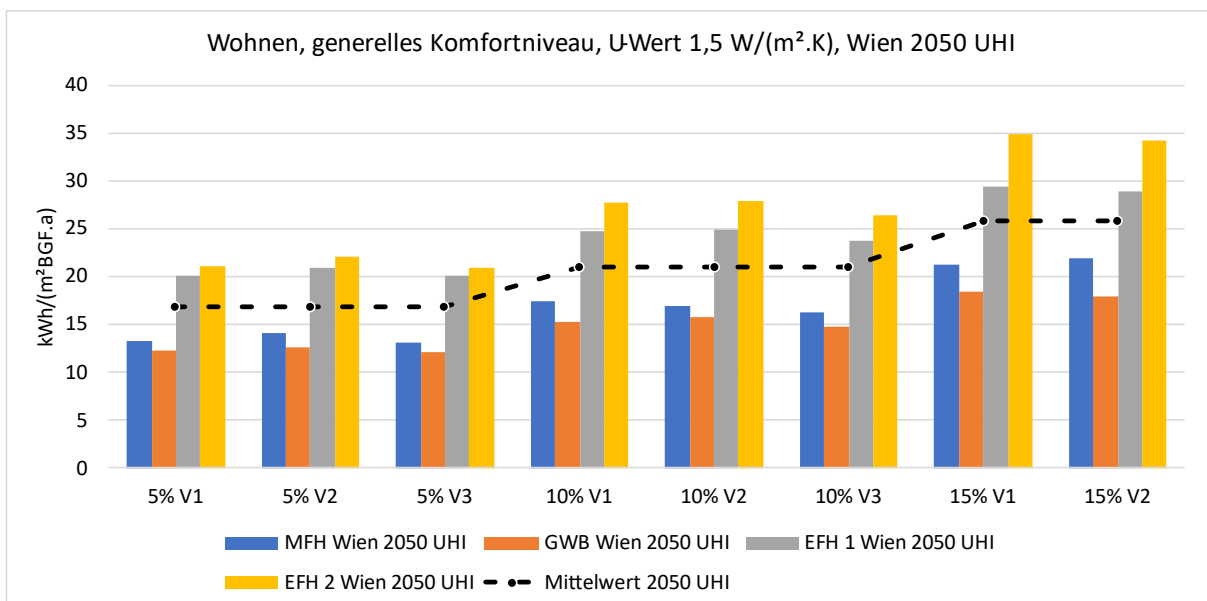


Abbildung 13: Vergleich des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf am Standort Wien 2050 inkl. Berücksichtigung des UHI-Effekts (eigene Abbildung)



Bei der Analyse zeigt sich, dass die beiden Einfamilienhäuser in beiden Klimata einen signifikant höheren Kältebedarf aufweisen als bei den anderen beiden Gebäudegeometrien, dem Mehrfamilienhaus und Geschoßwohnbau (MFH und GWB). Dies liegt einerseits daran, dass der Typ „EFH 1“ im Gegensatz zu den anderen Typen an allen vier Seiten des Gebäudes Fenster aufweist und andererseits daran, dass die EFHs kein Regelgeschoß besitzen und dementsprechend auch die Wärmeeinträge über das Flachdach ins Gewicht fallen.

Der gebildete Mittelwert lässt sich auf den ersten Blick nicht durch eine der vier Gebäudegeometrien direkt geeignet abbilden. Da jedoch die Mittelwertbildung stark von den beiden EFH-Vertretern beeinflusst wird, lässt sich für den, in der gegenständlichen Studie primär betrachteten, urbanen Raum mit seinem verstärkten Auftreten von Gebäuden des Typus MFH und GWB der Mittelwert nach unten korrigieren. Demnach eignet sich der Typ MFH in allen Kategorien, den Kältebedarf in Urbanen Gebieten adäquat abzubilden.

Wie bereits in der Validierung des $g_{\text{total, Fassade}}$ zeigt sich auch hier, dass nur geringfügige Unterschiede zwischen den Verglasungskonfigurationen (V1, V2, V3) der gleichen Gebäudegeometrie auftreten.

Die Analyse des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf ergibt, dass bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen die Bauform des EFH einen signifikant höheren Kältebedarf aufweist als die Gebäude MFH und GWB. Um den österreichischen Gebäudebestand in urbanen Gebieten bestmöglich abzubilden, wird für die folgenden Simulationen festgelegt, die Geometrie MFH in ihrer gekuppelten Bauweise, also einseitig an ein bestehendes Gebäude angebaut, anzuwenden.

4.4.2. Zonierung

Unabhängig von der Größe des Gebäudes wird die Fläche immer in zwei Zonen mit jeweils gleichen Größen eingeteilt und anschließend auch simuliert. Auch die wesentliche Größe des Glasanteils wird in beiden Zonen ident gehalten, die jeweiligen Glasflächen gleichmäßig auf alle Außenwände aufgeteilt. Für den Großteil der Simulationen werden die Zonen als Regelgeschoß (RG) betrachtet, also ohne Wärmeverluste oder -einträge durch Boden oder Decke. In Kapitel 4.4.3 erfolgt noch eine vertiefte Analyse des Einflusses der Zonenposition auf den Kältebedarf.

4.4.3. Auswirkungen der Zonenposition

Bei der Analyse im folgenden Kapitel wird der Einfluss der Zonenposition in Kombination mit den unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus auf den Kältebedarf untersucht. Die allgemeinen Rahmenbedingungen für die thermische Simulation sind nachfolgende:

- Nutzung: Wohnen
- Gebäudegeometrie: MFH gekuppelt
- Gebäudeausrichtung: Süden
- Berücksichtigung Nachbargebäude: Nein

In Abbildung 14 bis Abbildung 17 werden die Simulationsergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse der Zonenpositionierung in den unterschiedlichen $g_{\text{tot, Fassade}}$ Kombinationen jeweils für den Standort „Wien 2030“ und Wien 2050 UHI“ sowie die beiden thermischen Sanierungszustände dargestellt. Konkret wird der Kältebedarf für das Erdgeschoß (EG), ein Regelgeschoß (RG) und ein Dachgeschoß (DG) angegeben. Im Vergleich zum Regelgeschoß weist das EG zusätzliche Wärmeverluste zum Boden auf, das Dachgeschoß Wärmeeinträge durch die oberste Geschoßdecke. Beim DG kommt zusätzlich hinzu, dass die Verschattung durch umliegende Gebäude aufgrund der Höhe bereits wegfällt und mehr Solarstrahlung auf die Fassade trifft. Zusätzlich wird auch wieder für jede Konfiguration der Mittelwert über alle drei Geschoße gebildet und angegeben.

Abbildung 14: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ am Standort Wien 2030 (eigene Abbildung)

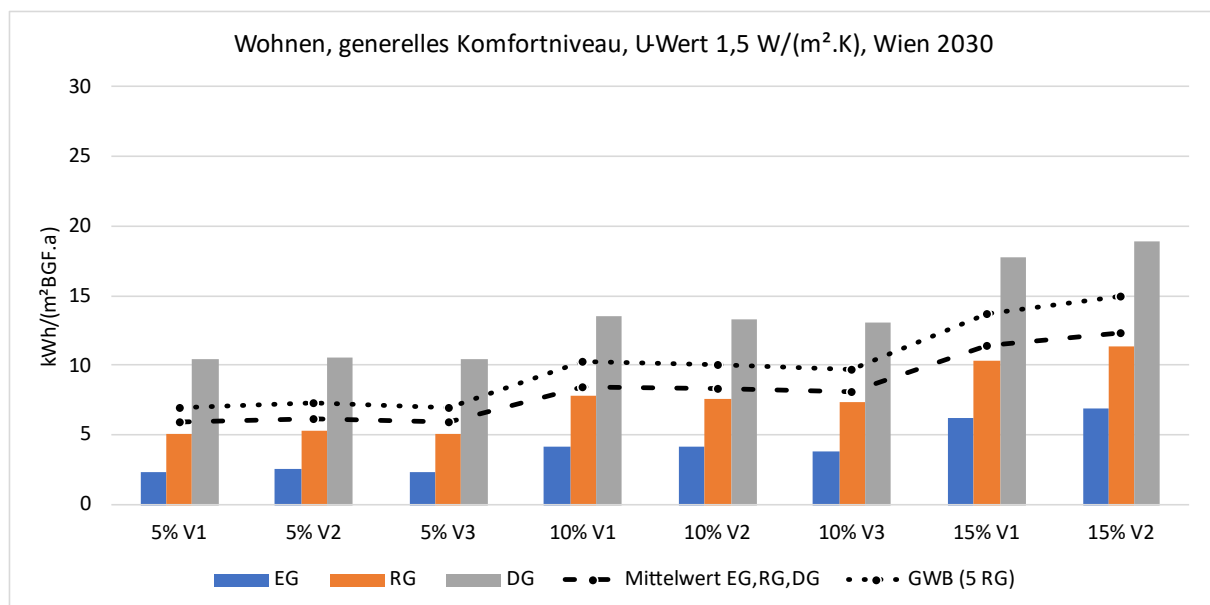


Abbildung 15: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von 0,35 W/(m².K) am Standort Wien 2030 (eigene Abbildung)

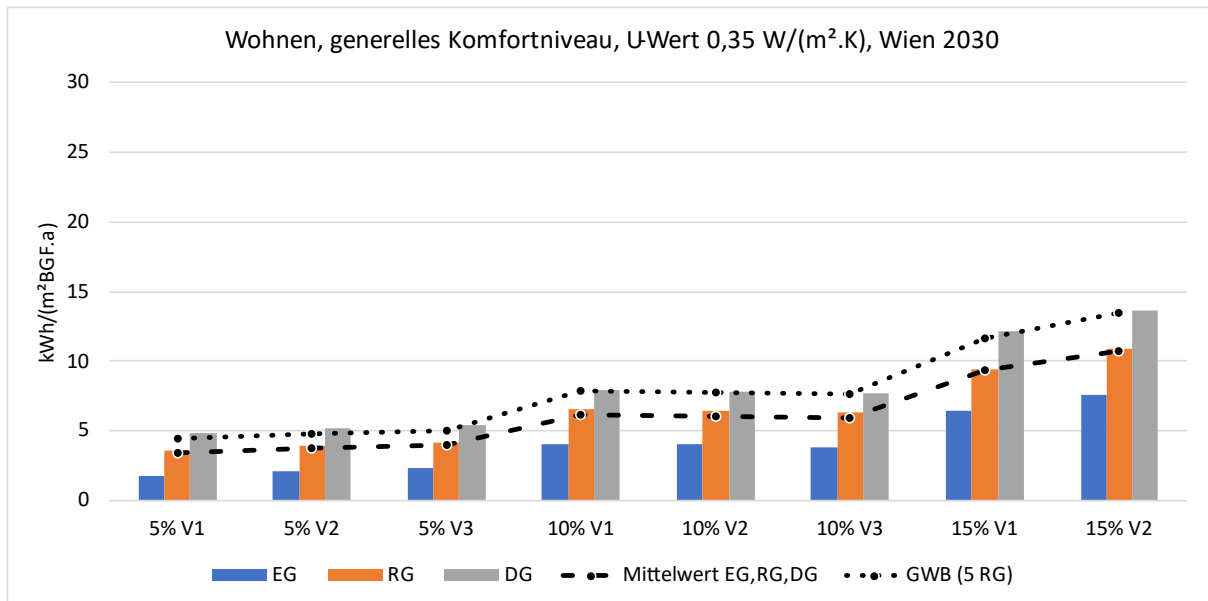


Abbildung 16: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von 1,5 W/(m².K) am Standort Wien 2050 UHI (eigene Abbildung)

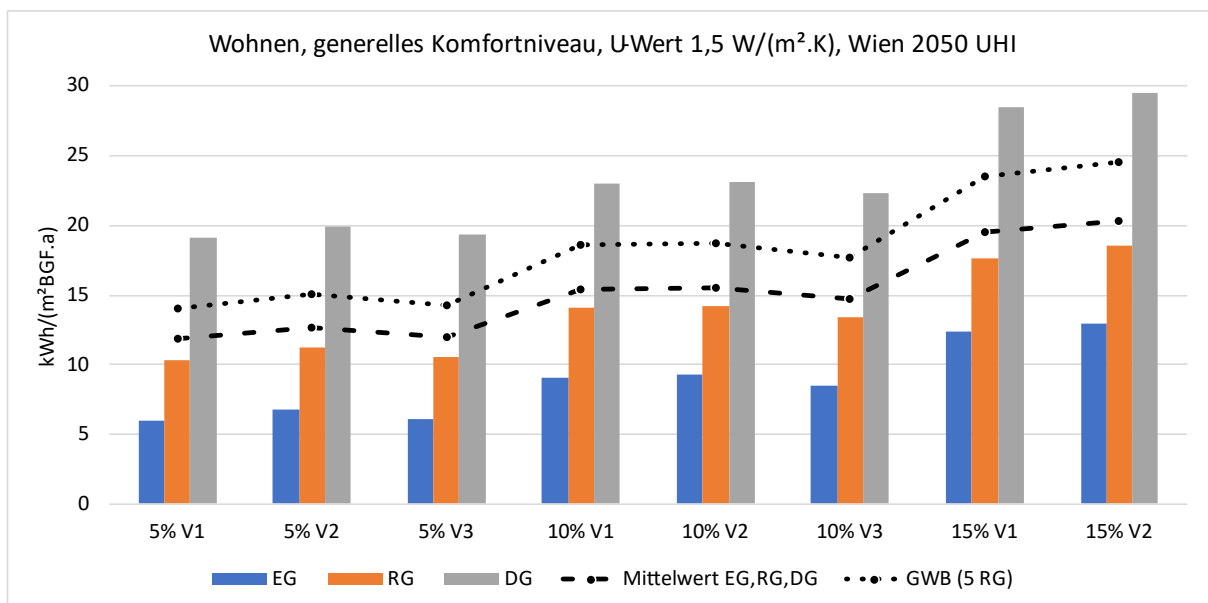
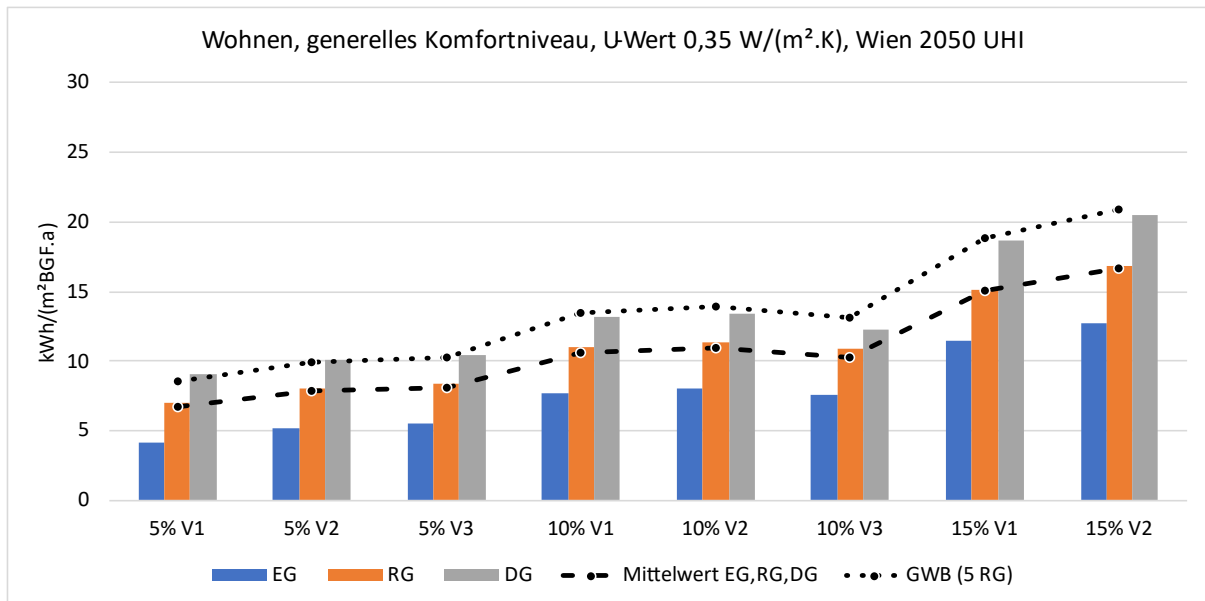


Abbildung 17: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ am Standort Wien 2050 UHI (eigene Abbildung)



Die Ergebnisse des Einflusses der Zonenposition (EG, RG oder DG) (Abbildung 14 bis Abbildung 17) zeigen, dass im Dachgeschoß wie zu erwarten war, ein vermehrter Kältebedarf auftritt. Verglichen mit dem Regelgeschoß liegt der Kältebedarf des DG im Mittel um 53 % höher, maximal sogar bei + 118 %. Das EG weist im Vergleich zum Regelgeschoß einen reduzierten Kältebedarf auf. Im Mittel über alle Varianten liegt der Kältebedarf des EGs bei nur 60 % des Regelgeschoßes, im besten Fall bei minimal 42 %. Die Unterschiede variieren je nach Wärmeschutzniveau. Es zeigt sich besonders, dass die Unterschiede bei der Zonenposition bei schlechter thermischer Qualität des Gebäudes (Abbildung 14 und Abbildung 16) einen größeren Einfluss haben als bei Gebäuden mit hoher thermischer Qualität (Abbildung 15 und Abbildung 17).

Wird der Mittelwert aus EG, RG und DG gebildet (strichlierte Linie) zeigt sich, dass das RG die Unterschiede des Kältebedarfs von EG und DG in einem hohen Maß abbildet. Die untersuchte Geometrie MFH gekuppelt (aus OIB-Kostenoptimalität) weist hierbei nur ein Regelgeschoß auf. Wird davon ausgegangen, dass das Gebäude als Geschoßwohnbau (mehr als 10 Wohnungen) ausgeführt ist und damit fünf Regelgeschoße aufweist, bildet das RG den Mittelwert der Abweichungen aus DG und EG noch genauer ab. Dies ist dadurch begründet, dass bei mehr Regelgeschoßen die Unterschiede des Dach- und Erdgeschoßes auf den Kältebedarf des gesamten Gebäudes gesehen nicht mehr so stark ins Gewicht fallen. Bei Gebäuden mit hoher thermischer Qualität führt diese Betrachtung zu nahezu keiner Veränderung.

Die Ergebnisse der Analyse des Einflusses der Zonenposition und des Wärmeschutzniveaus zeigen, dass die reine Abbildung des Regelgeschoßes ausreichend ist, um den Kältebedarf des Gebäude adäquat abzubilden. Die Unterschiede zwischen dem Erdgeschoß und dem Dachgeschoß gleichen sich weitgehend aus. Weist das Gebäude mehr als ein Regelgeschoß auf, verringert sich die Gewichtung der Unterschiede zwischen Dach- und Erdgeschoß zusätzlich.

Für die Ermittlung des österreichischen Kältebedarfs wird daher festgelegt, dass eine Berechnung auf Basis des Regelgeschoßes der Geometrie MFH gekuppelt ausreichend ist, um den Kältebedarf des Gebäudes zu bestimmen. Dadurch werden die zuvor in Tabelle 3 definierten U-Werte von Dach und Bodenplatte für die weitere Betrachtung obsolet.

4.4.4. Exkurs Nutzungsprofile EFH

Neben der unterschiedlichen geometrischen Ausgestaltung von Einfamilienhäusern, kann davon ausgegangen werden, dass die verfügbaren Flächen anders genutzt werden. Konkret ist laut Statistik Austria die Belegungsdichte in Einfamilienhäusern fast nur halb so groß wie bei Mehrfamilienhäusern. Der Platzbedarf pro Person beträgt anstelle der im MFH üblichen 33 m²NF pro Person im EFH rund 50 m² pro Person. Damit einhergehend verringern sich auch die für den Kältebedarf relevanten internen Lasten. [14]

Zusätzlich wird bei vielen Einfamilienhäusern, besonders durch die niedrigen Höhen auch eine etwaige Verschattung durch Nachbargebäude wegfallen.

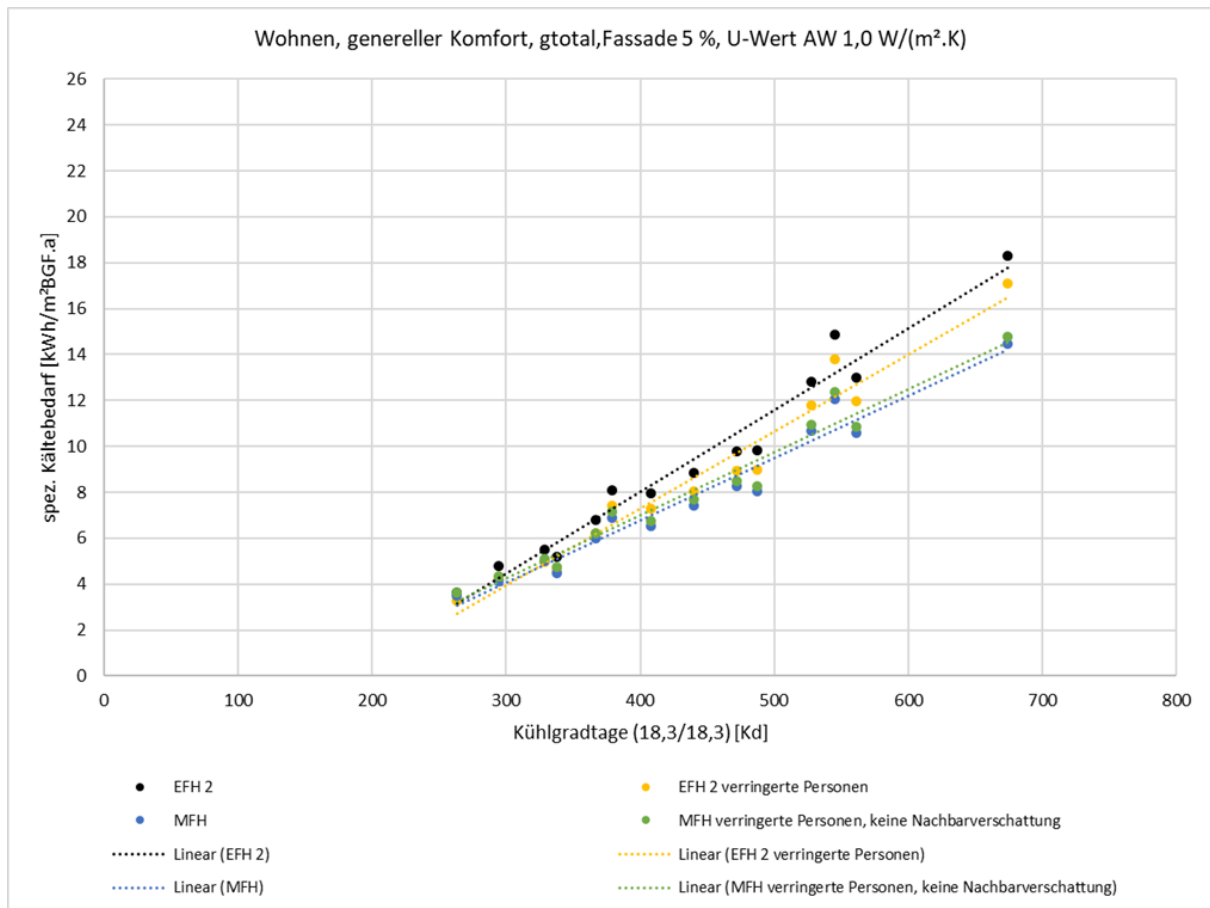
Um den Kältebedarf von Einfamilienhäusern somit richtig bewerten zu können, wird der Einfluss dieser niedrigeren Belegungsdichte und Wegfall der Verschattung durch umliegende Gebäude nachfolgend analysiert. Konkret werden dafür vier verschiedene Simulationskonfigurationen, miteinander verglichen. Details zu den Unterschieden zwischen den jeweiligen Varianten können Tabelle 20 entnommen werden.

Tabelle 20: Variantenbeschreibung der detaillierten Analyse des Kältebedarfs von EFHs

Variante	Gebäudegeometrie [5]	Personendichte	Verschattung durch Nachbargebäude
1	EFH 1	„Standard“ (lt. ÖNORM B 8110-3)	Nein
2	EFH 2	Angepasst auf EFH	Nein
3	MFH 2	„Standard“ (lt. ÖNORM B 8110-3)	Ja
4	MFH 2	Angepasst auf EFH	Ja

In Abbildung 18 werden die Ergebnisse aus den oben genannten Fällen zusammenfassend dargestellt. Dabei entspricht jeder eingezeichnete Punkt einer individuellen Simulation, an einem exemplarischen Standort. Die Gruppen nach Gebäudetyp und Personendichte sind farblich gekennzeichnet und jeweils mit einer Trendlinie über die Kühlgradtage linearisiert.

Abbildung 18: Vergleich Kältebedarf von MFHs und EFHs mit reduzierter Belegungsdichte (eigene Abbildung)



Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass gerade im Bereich zwischen 300 und 500 Kühlgradtagen die Abweichungen zwischen den vier Varianten relativ gering sind. Insbesondere zwischen dem Typus „EFH 2 verringerte Personen“ und der regulären MFH. Für diese liegt die Abweichung im schlechtesten Fall im Bereich bei rund 15 %, üblicher sind Abweichungen im Bereich von unter 10 %.

Die genauere Betrachtung der EFHs zeigt, dass aufgrund der statistisch belegten reduzierten Belegungsdichte und der zeitgleiche, den Kältebedarf verstärkende, Wegfall einer Fremdverschattung, nur geringe Unterschiede zwischen dem EFH und dem MFH auftreten. Daraus schließt sich, dass eine gesonderte Betrachtung der Einfamilienhäuser bei der regionalen Kältebedarfsermittlung nicht erforderlich ist. Die Bewertung des Kältebedarfs von EFHs erfolgt somit analog zu jener der MFHs.

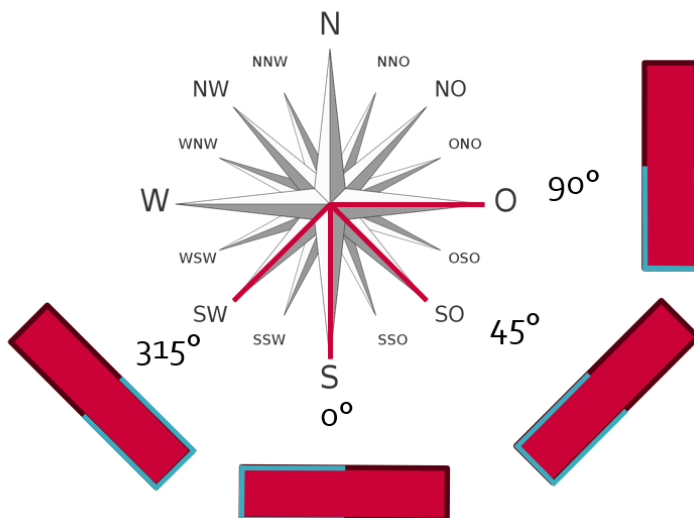
5 Gebäude- und Siedlungsstrukturen

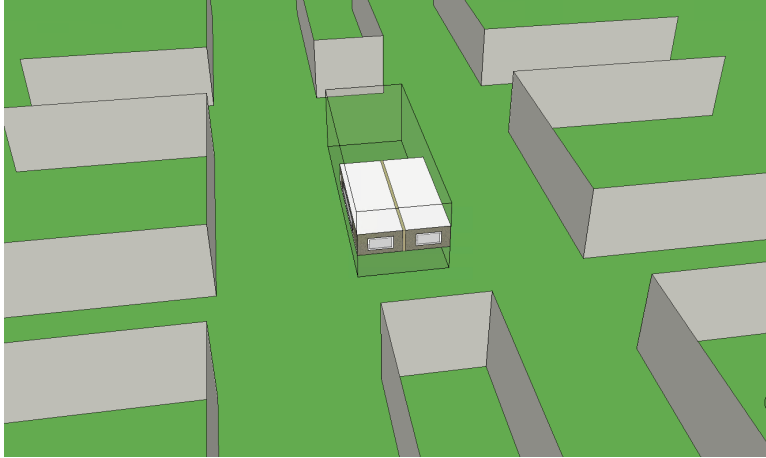
In diesem Kapitel werden in einem ersten Teil die in der thermischen Gebäudesimulation angewandten Gebäude- und Siedlungsstrukturen dokumentiert und im zweiten Teil eine Analyse der Veränderung der Orientierung des Gebäudes und der Verschattung durch Nachbargebäude durchgeführt. In den ersten beiden Kapiteln werden somit jene untersuchten Parameter definiert und dokumentiert, die in den Kapiteln 5.3 und 5.4 analysiert werden.

5.1. Orientierung des Gebäudes

Zusätzlich zur geometrischen Gebäudestruktur wird die Orientierung des Gebäudes analysiert. Es wird vermutet, dass diese einen Einfluss auf die, auf die Fassade auftreffender Solarstrahlung hat und damit den Kältebedarf beeinflusst. Dazu wird das analysierte Gebäude stufenweise in 45°-Schritten gedreht (siehe Abbildung 19) und der Einfluss dieser Veränderung auf den Kältebedarf analysiert. Aufgrund der Verglasungsfläche der Fenster decken vier Orientierungen alle kritischen Ausrichtungen ab.

Abbildung 19: Orientierungsvarianten des Gebäudes bei der Sensitivitätsanalyse (eigene Abbildung)





5.3. Ergebnisse des Einflusses der Ausrichtung des Gebäudes

Bei der Analyse im folgenden Kapitel wird der Einfluss der Ausrichtung auf den Kältebedarf untersucht. Die allgemeinen Rahmenbedingungen lauten:

- Nutzung: Wohnen
- Gebäudegeometrie: MFH gekuppelt
- Berücksichtigung Nachbargebäude: Nein
- Untersuchte Geschoße: Regelgeschoß
- U-Wert Außenwand: $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Standorte: Wien 2030 und Wien 2050 inkl. UHI-Effekte im Klimaszenario RCP4.5

Bei der Analyse des Einflusses der Orientierung des Gebäudes (in den Klammern wird stets die Abweichung gegen Süden angeführt) zeigt sich (Abbildung 22 bis Abbildung 26), dass bei der Orientierung nach Osten (90°) der höchste Kältebedarf besteht, wohingegen nach Süden (0°) der geringste Kältebedarf besteht. Die Ausrichtungen Süd-Osten (45°) und Süd-Westen (315°) ergeben nahezu identische Kältebedarfe. Diese Ergebnisse decken sich auch mit Erfahrungen aus anderen Projekten. Der erhöhte Kältebedarf bei der Ausrichtung nach Osten kann dadurch begründet werden, dass der Sonnenschutz erst ab 8 Uhr bedient werden kann. Durch das Aufgehen der Sonne im Osten in den frühen Morgenstunden und dem Ausbleiben des Sonnenschutzes kommt es zu erhöhten solaren Einträgen in den Raum. Dies zeigt sich ebenfalls in der Analyse der $g_{\text{total, Fassade}}$ Varianten, bei denen eine Sonnenschutzverglasung eingesetzt wird. Der Effekt der Sonnenschutzverglasung ist unabhängig von der Bedienung eines Sonnenschutzes und führt daher zu einem reduzierten Kältebedarf. Die Einflüsse der Ausrichtung auf den Kältebedarf sind ebenfalls bei der Anwendung des adaptiven Komfortmodells (Abbildung 24 und

Abbildung 25) sichtbar.

Abbildung 23: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)

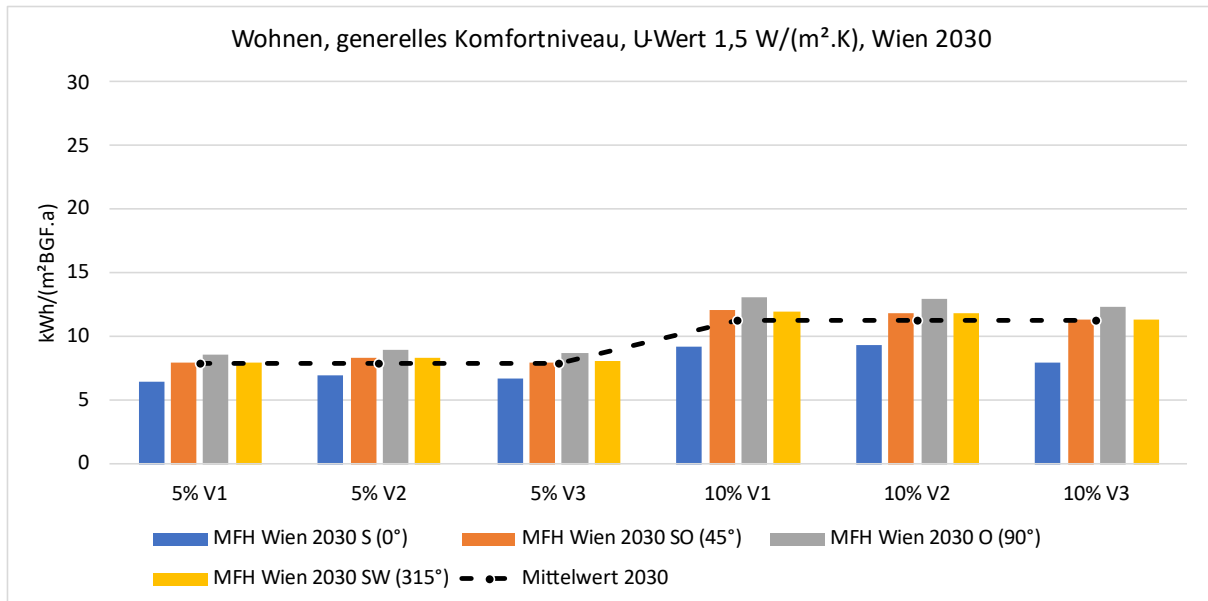


Abbildung 24: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)

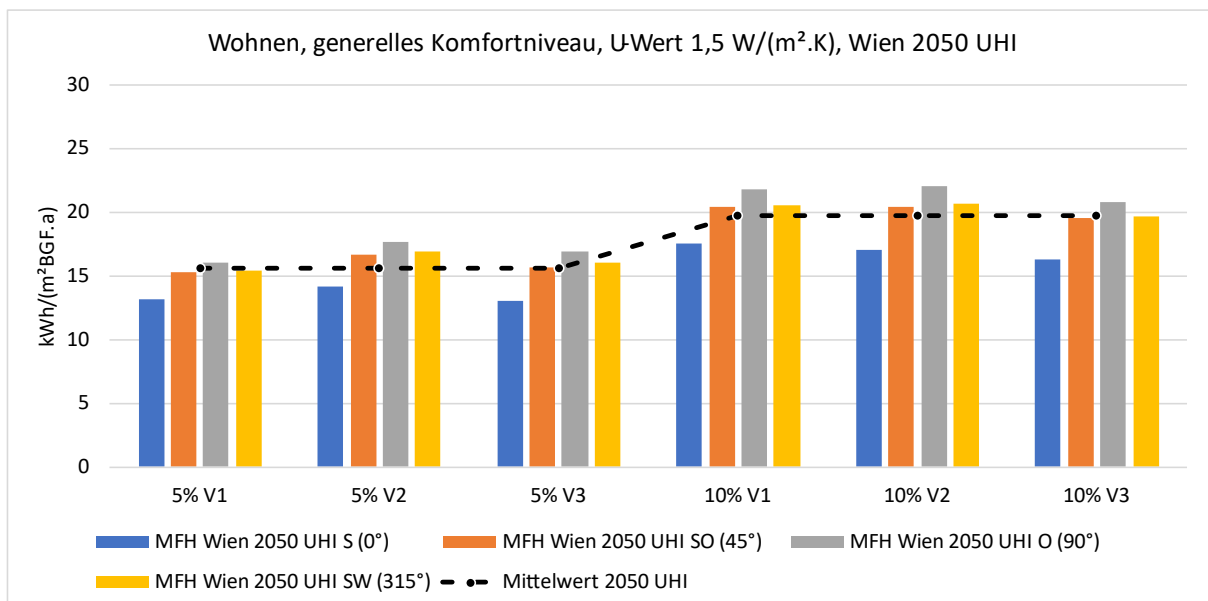


Abbildung 25: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des adaptiven Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)

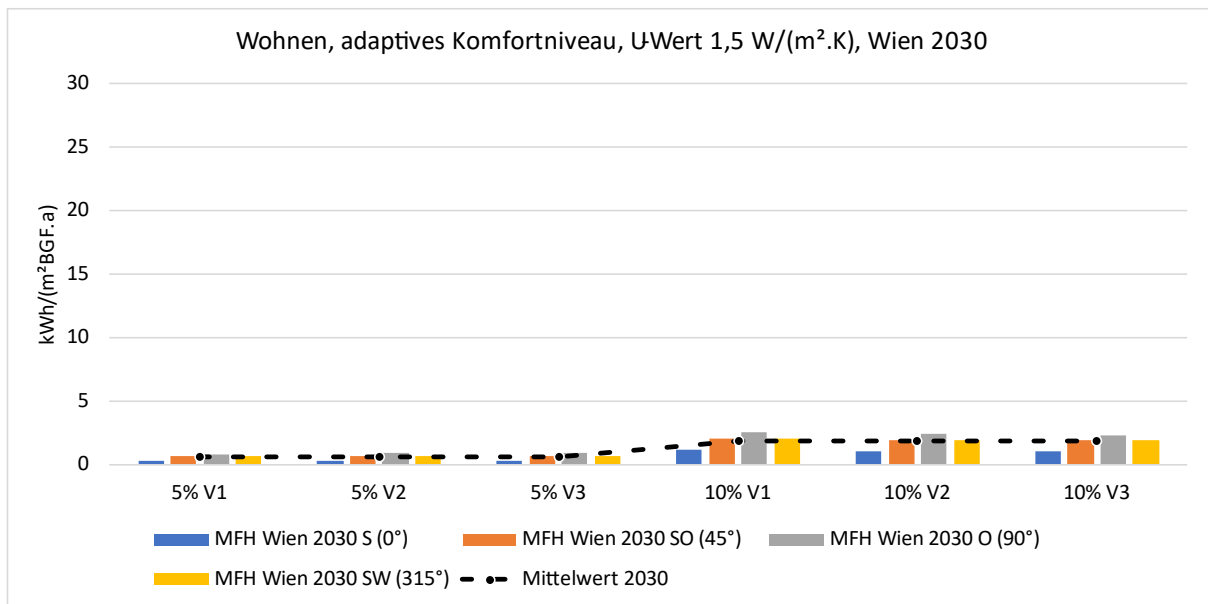
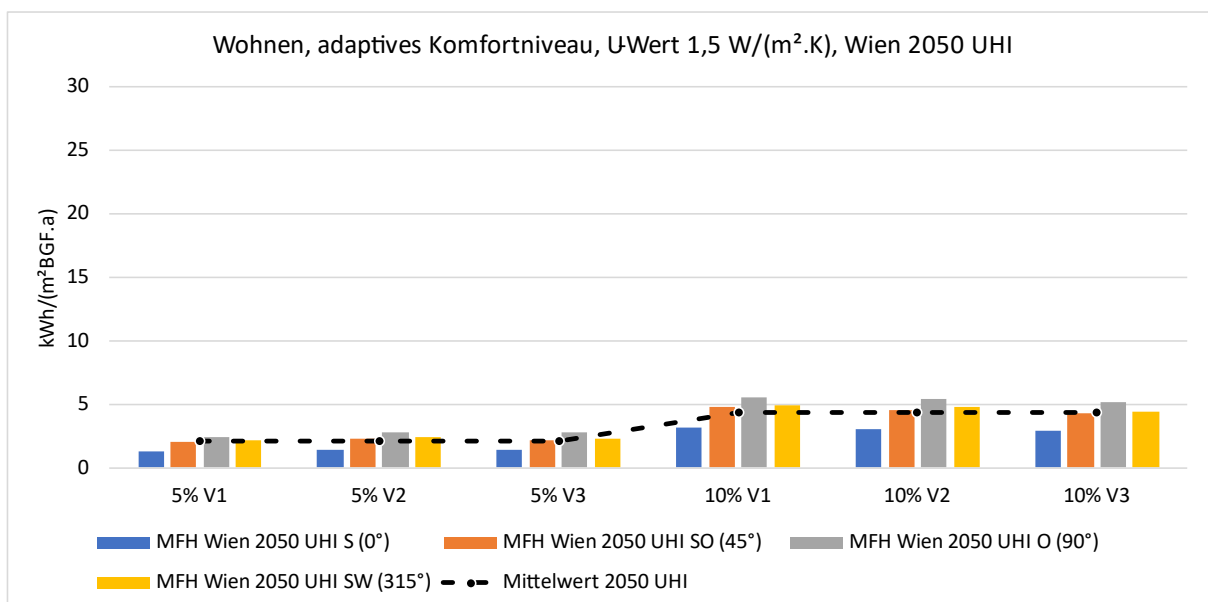


Abbildung 26: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des adaptiven Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)



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.

5.4. Ergebnisse des Einflusses der Verschattung durch Nachbargebäude

Bei der Analyse im folgenden Kapitel wird der Einfluss der Verschattung durch Nachbargebäude auf den Kältebedarf untersucht. Die allgemeinen Rahmenbedingungen lauten:

- Nutzung: Wohnen
- Gebäudegeometrie: MFH gekuppelt
- Untersuchte Geschoße: Regelgeschoß
- U-Wert Außenwand: 1,5 W/(m².K)
- Ausrichtung: Süd-Westlich
- Standorte: Wien 2030 und Wien 2050 inkl. UHI-Effekte im Klimaszenario RCP4.5

Bei der Analyse des Einflusses der Verschattung durch Nachbargebäude (Abbildung 27 und Abbildung 28) zeigt sich, dass die Verschattung durch Nachbargebäude zu einer signifikanten Reduktion des Kältebedarfs führt. Dies ist begründet durch die verringerte solare Einstrahlung durch die Abschattung der Nachbargebäude. Weiters ist anzumerken, dass je höher der $g_{\text{total, Fassade}}$ ist desto wirksamer ist die Verschattung hinsichtlich der Reduktion des Kältebedarfs. Durch eine Nachbarverschattung von 15 m kann der Kältebedarf um ca. 13 % reduziert werden, bei 8 m um ca. 22 %.

Abbildung 27: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Abständen der Nachbargebäude bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)

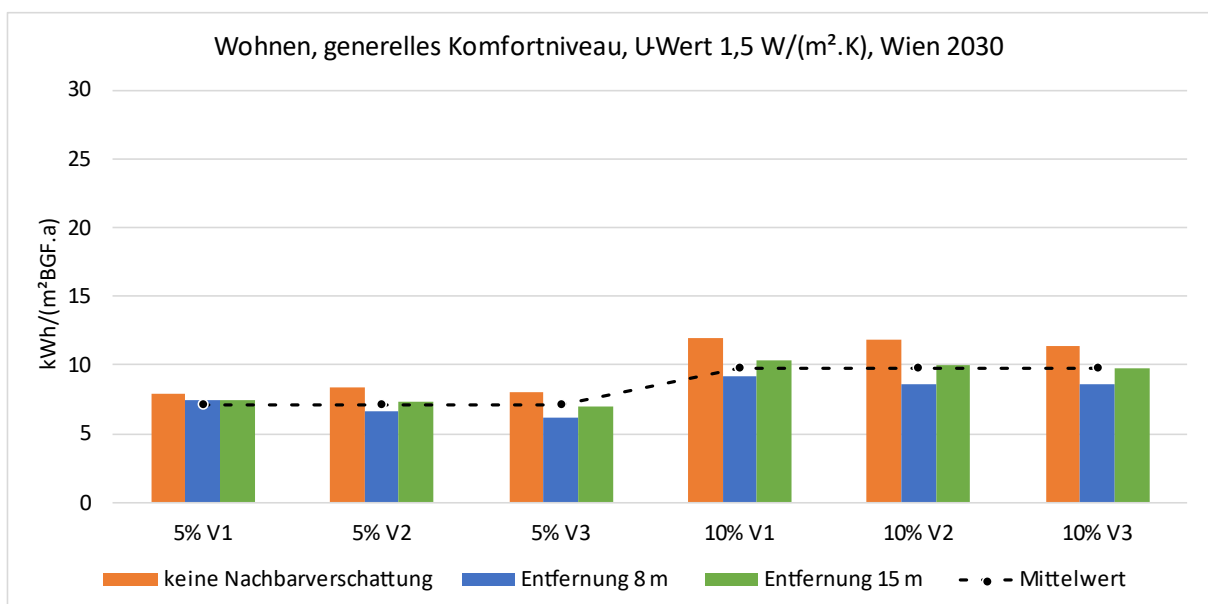
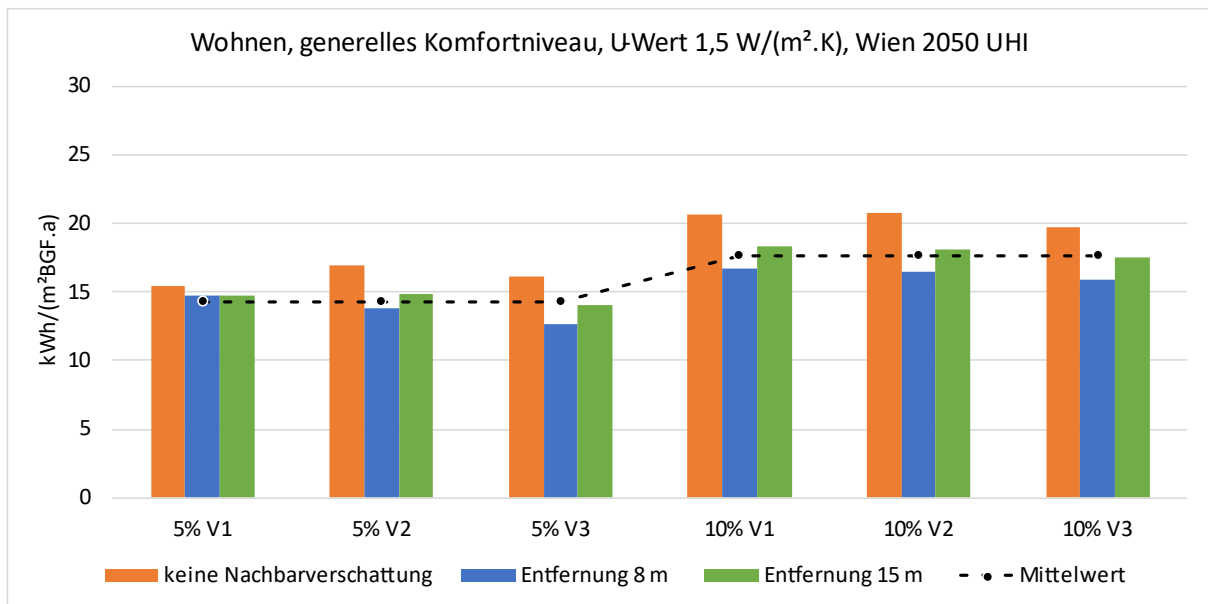


Abbildung 28: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Abständen der Nachbargebäude bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)



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. Im Zuge der Analyse des Straßenraumes hat sich der Abstand zu Nachbargebäuden von 15 m als am häufigsten herausgestellt. Für zukünftige Analysen wird daher festgelegt, dass eine Verschattung durch Nachbargebäude in einem Abstand von 15 m berücksichtigt wird.

6 Betriebsweise des Kälteabgabesystems

In diesem Kapitel wird untersucht, wie sich die Betriebsweise des Kälteabgabesystems auf den Kältebedarf auswirkt. Als „Betriebsweise“ wird das Regulationssignal des idealen Kälteelements angenommen.

6.1. Ergebnisse des Einflusses der Betriebsweise des Kälteabgabesystems

Bei der Analyse im folgenden Kapitel wird der Einfluss der Betriebsweise des Kältesystems untersucht. Die allgemeinen Rahmenbedingungen lauten:

- Nutzung: Wohnen
- Gebäudegeometrie: MFH gekuppelt
- Untersuchte Geschoße: Regelgeschoß
- Ausrichtung: Süd-Westlich
- Berücksichtigung Nachbargebäude: Ja in 15 m Abstand
- Standorte: Wien 2030 und Wien 2050 inkl. UHI-Effekte im Klimaszenario RCP4.5

Die Analyse der unterschiedlichen Betriebsweisen (

Abbildung 29 und

Abbildung 30) zeigt, dass die Differenzen zwischen den beiden Betriebsweisen vernachlässigbar gering (maximal 5 %) ausfallen. Dies ist dadurch begründet, dass die internen Lasten zum Zeitpunkt der Abwesenheit der Personen deutlich reduziert sind.

Die Betriebsweise zeigt ein mögliches Einsparungspotenzial der Nutzkälte von maximal 5 %. Dies hat jedoch zur Folge, dass es zu erhöhten Einschaltspitzen kommt. Bei einem durchgängigen Betrieb einer Flächenkühlung kommt es zu keiner Einschaltspitze, sofern die Rahmenbedingungen (z.B. Solltemperatur) nicht verändert werden.

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. 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 29: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlicher Betriebsweise und U-Werten der Außenwand bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)

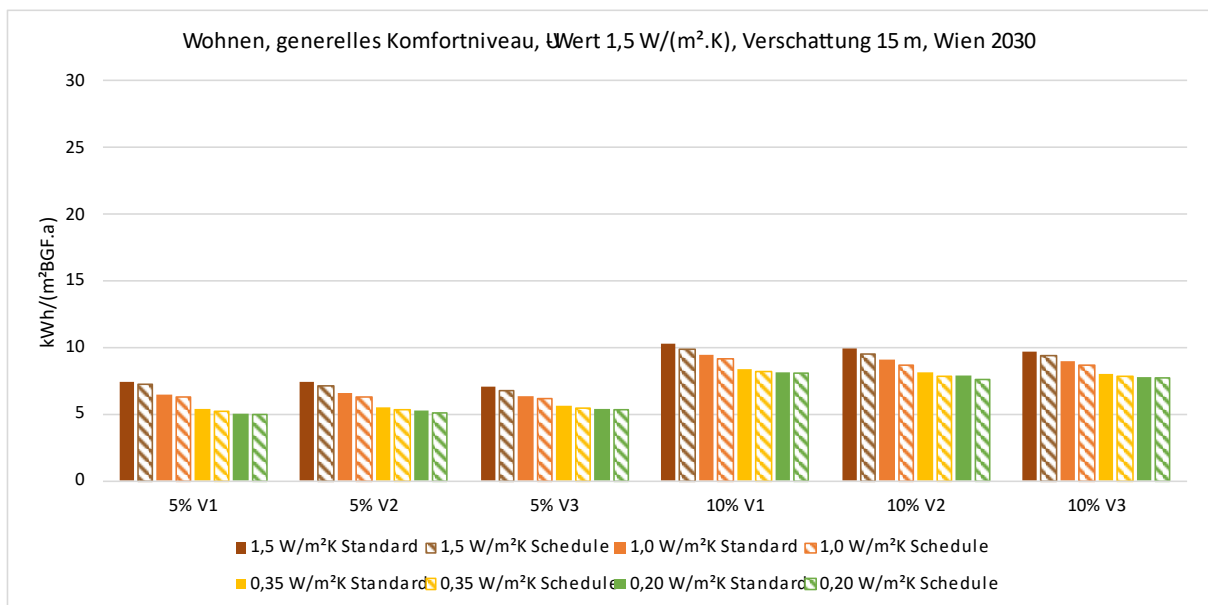
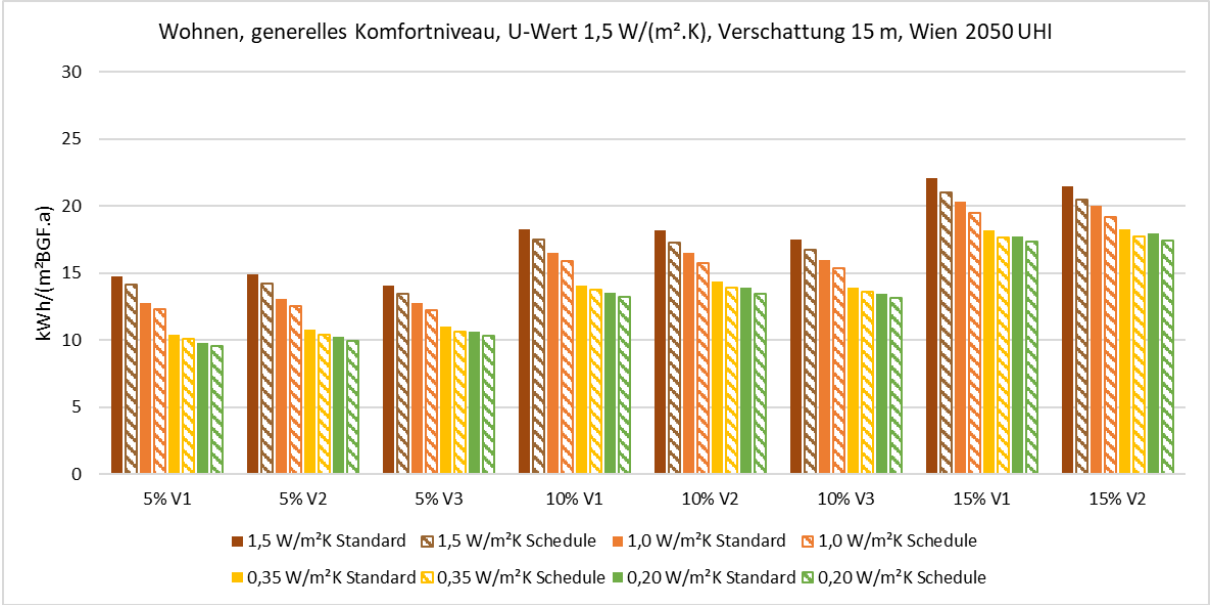


Abbildung 30: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlicher Betriebsweise und U-Werten der Außenwand bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)



7 Außenklima

Bei der Analyse des Außenklimas wurde eine Vielzahl an Klimadaten im ersten Schritt anhand meteorologischer Kennwerte verglichen und anschließend mithilfe von thermischer Gebäudesimulation auf jene Klimadaten reduziert, die das österreichische Klima am umfangreichsten abdecken.

7.1. Methodik Klimadatensätze

Zur Bestimmung des Kältebedarfs ist von der thermischen Simulation ein stündlicher Klimadatensatz mit den meteorologischen Kennwerten Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, direkte Solarstrahlung, indirekte Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung notwendig. Für die Generation dieser Klimadaten wird im gegenständlichen Projekt die Software Meteonorm V8 angewandt.

Diese Software kann für jeden beliebigen Ort einen stündlichen Klimadatensatz, wie er vom thermischen Simulationsprogramm benötigt wird, generieren. Dabei handelt es sich um das sogenannte „Typische Meteorologische Jahr“ bzw. Typical Meteorological Year (TMY). Ein TMY ist ein stündlicher Klimadatensatz eines Standorts, der nach einem genormten Verfahren erstellt wird. Ein TMY wird, vereinfacht dargestellt, folgendermaßen gebildet:

Für eine zumindest zwanzigjährige kontinuierliche Messperiode werden monatliche und jährliche statistische Kennzahlen für die vier Klimaparameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung gebildet. Aus den zumindest zwanzig gemessenen Klimadaten der einzelnen Monate des Jahres wird dann jener Datensatz ausgewählt, der den langjährigen statistischen Charakteristika dieses Monats am besten entspricht. Als Charakteristika berücksichtigt werden Minimum, Maximum und Mittelwert der vier Klimaparameter, sowie auch deren Häufigkeitsverteilung, Abfolge und gegenseitige Korrelation.

Ein TMY besteht somit aus einer Abfolge von zwölf real gemessenen Monats-Klimadatensätzen eines Standorts, die aus unterschiedlichen Jahren der zumindest zwanzigjährigen Aufzeichnungsperiode stammen.

Das oben vereinfacht beschriebene Verfahren wird noch ergänzt durch eine „Glättung“ der Werte der Klimaparameter an den Grenzen der Monate.

Ein TMY bildet somit bestmöglich das langjährige Klima eines Standorts ab, inklusive seiner charakteristischen Wetterereignisse, insbesondere inklusive charakteristischer Hitze- und Kälteperioden.

Für die detaillierte Analyse der Klimadatensätze wird das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel verwendet.

Die meteorologische Kennzahl zur Bewertung der Klimadatenätze ist die Globalstrahlung, bestehend aus der Summe aus indirekter und direkter Solarstrahlung, und den sogenannten Kühlgradtagen. In der Literatur gibt es mehrere Varianten an Berechnungsmethoden der Kühlgradtage. Aufgrund der in der Literatur am weitesten verbreiteten Definition wird für die gegenständliche Studie folgende Berechnung der Kühlgradtage gewählt:

Temperatursumme von Tagen, an denen die Tagesmitteltemperatur 18,3 °C übersteigt. Dabei wird die Differenz Tagesmitteltemperatur – 18,3 aufsummiert [°C/a].

Die Auswahl der Klimadatenätze erfolgt unter Anwendung von österreichweiten Karten zur Globalstrahlung und Kühlgradtagen. Es wird ein iterativer Prozess angewandt, bei dem im ersten Schritt eine Vielzahl an Standorten untersucht wird, ehe diese dann Schritt für Schritt ausgedünnt werden, bis eine Auswahl an Klimadatenätzen zustande kommt die das österreichische Bundesgebiet bestmöglich repräsentiert.

7.2. Rahmenbedingungen parametrische Simulation

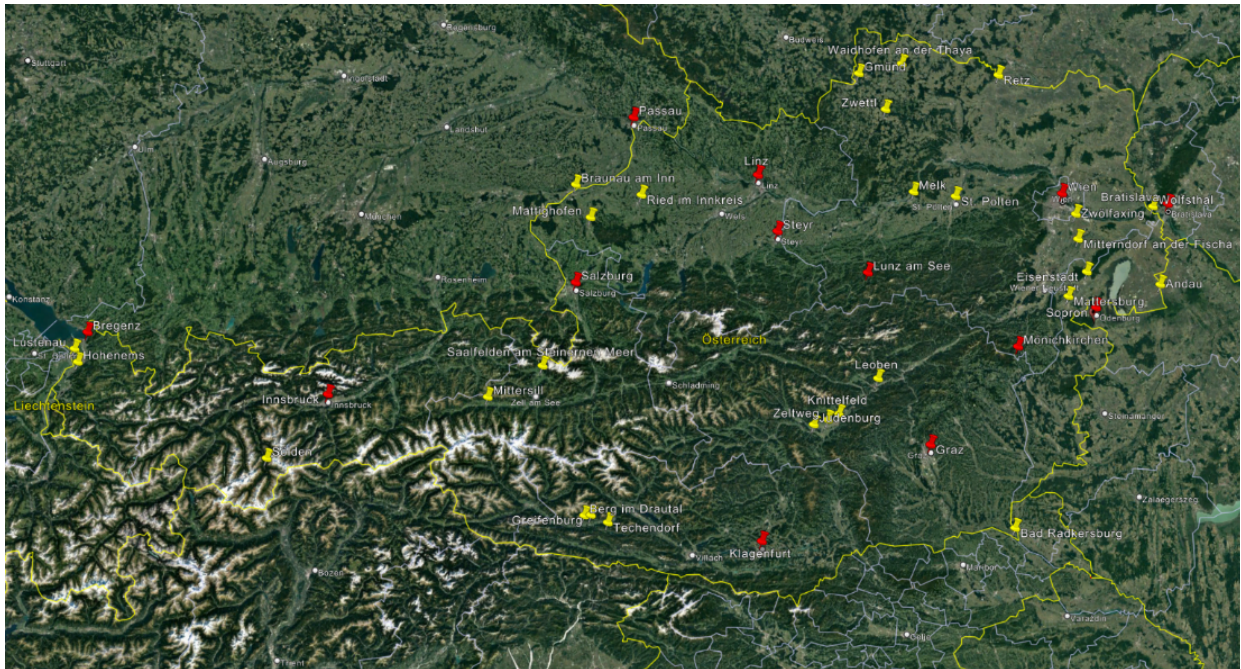
Für die Berechnung des Kältebedarfs werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den Kapiteln 2 bis 6 verarbeitet. Die allgemeinen Simulationsparameter aus Kapitel 3 bleiben ebenfalls enthalten. Die Rahmenbedingungen für die parametrische Simulation sind folgende:

- Nutzung: Wohnen (siehe Kapitel 3.1)
- Komfortmodell: Generelles Komfortmodell (siehe Kapitel 2.1)
- Gebäudegeometrie: MFH gekuppelt (siehe Kapitel 4.3)
- U-Wert Außenwand: Variabel zwischen 1,50, 1,00, 0,35 und 0,20 W/(m².K) (siehe Kapitel 4.1)
- $g_{\text{total,Fassade}}$: Eine Verglasungskonfiguration je 5 % und 10 % (siehe Kapitel 4.1 und 4.3)
- Orientierung des Gebäudes: Süd-Westlich (siehe Kapitel 5.1)
- Zonenpositionierung: Regelgeschoß ohne ober- und unterhalb angrenzender Zonen (siehe Kapitel 0)
- Nachbargebäude: 15 m Abstand (siehe Kapitel 5.2)
- Betriebsweise des Kälteabgabesystem: Kühlung jederzeit möglich (siehe Kapitel 6)

7.3. Zusammenhang Globalstrahlungssumme und Kühlgradtage

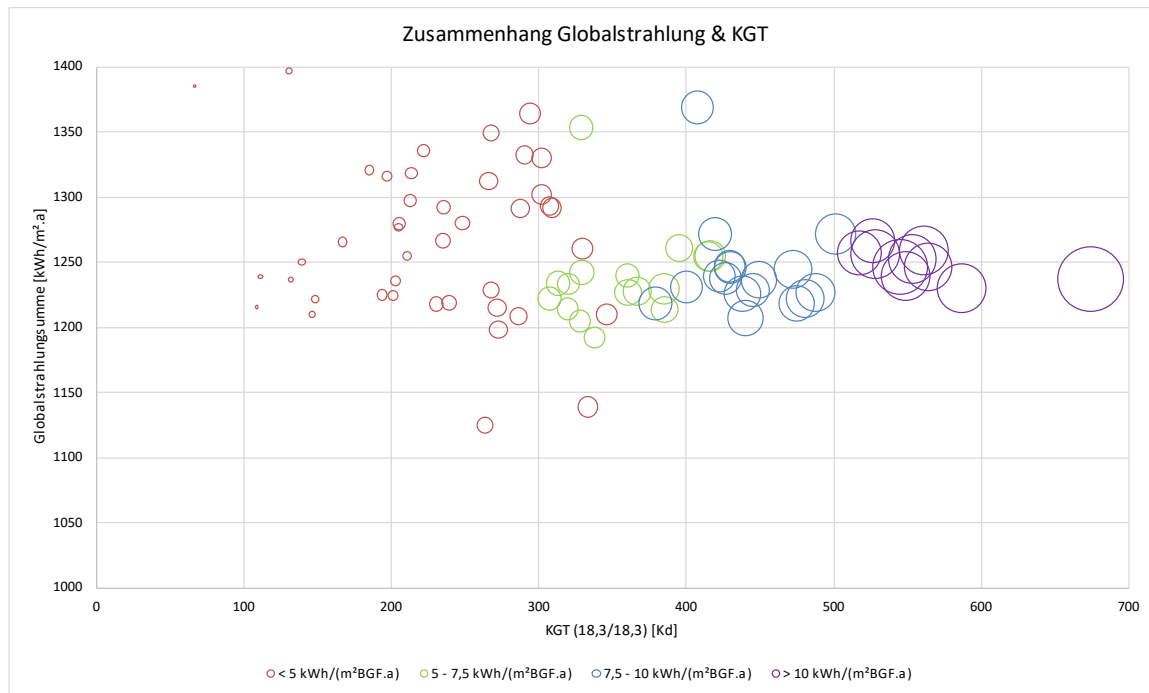
Im ersten Schritt wird untersucht, ob die Globalstrahlungssumme (GSS) eines Standortes einen relevanten Einfluss auf den Kältebedarf des Gebäudes hat oder ob die Effekte der Globalstrahlung bereits in gewisser Weise in den Kühlgradtagen enthalten sind. Dafür wurde eine Vielzahl an Standorten mit möglichst unterschiedlicher Anzahl an Kühlgradtagen und Globalstrahlungssummen ausgewählt. Von den 33 ausgewählten Standorten befinden sich die meisten in Österreich, vereinzelt aber auch im Ausland, nämlich in: Passau (Deutschland), Sopron (Ungarn) und Bratislava (Slowakei) (Verortung siehe Abbildung 31). Für diese Standorte wurde mithilfe parametrischer Simulationen der Kältebedarf berechnet.

Abbildung 31: Verortung der Standorte für die Analyse des Zusammenhangs zwischen KGT und GSS (bearbeitet aus Google Earth)



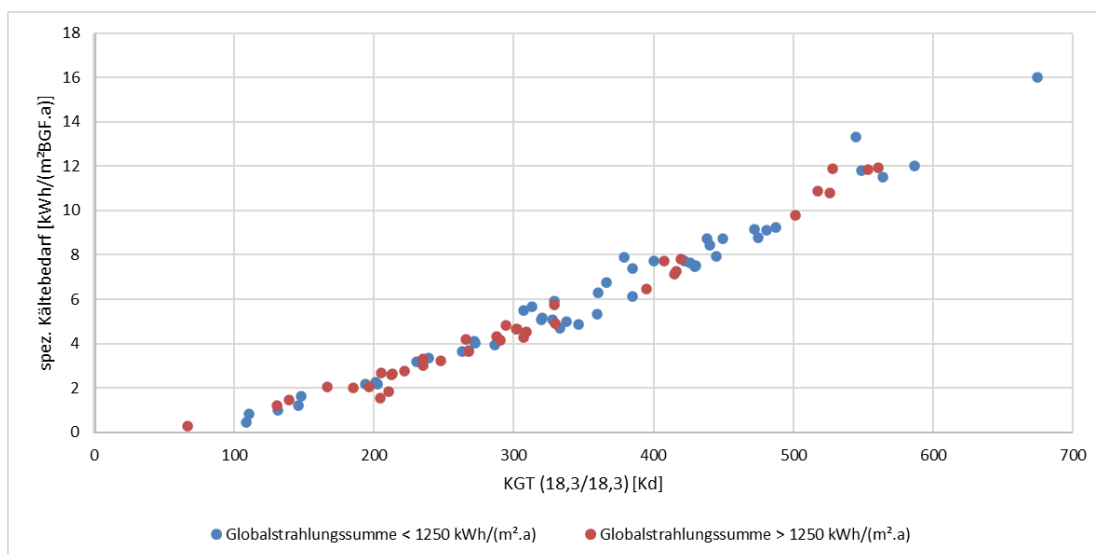
Die Analyse (Abbildung 32) zeigt, dass die GSS einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Kältebedarf eines Gebäudes hat und der Haupttreiber des Kältebedarfs die KGT sind. Klimadatenätze mit hohen GSS weisen nicht zwangsläufig einen höheren Kältebedarf auf als Klimadatenätze mit niedrigen GSS und identischen KGT (vice versa). Vor allem bei ca. 300 KGT zeigt sich, dass der Kältebedarf zwischen 1125 und 1350 kWh/(m².a) nahezu gleich hoch ist. In der Grafik ist weiters zu sehen, dass jene Standorte mit dem höchsten Kältebedarf sehr ähnliche GSS aufweisen.

Abbildung 32: Zusammenhang GSS und KGT der gewählten Klimadatensätze bei einem U-Wert der Außenwand von 1,5 W/(m².K) (eigene Abbildung)



In einer anderen Darstellung (Abbildung 33) zeigt sich ebenfalls, dass die GSS bei der Berechnung des Kältebedarfs vernachlässigbar ist. Es ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen hoher GSS und erhöhtem Kältebedarf erkennbar. Der Kältebedarf eines Gebäudes ist zu einem hohen Grad von den vorherrschenden KGT am Standort abhängig und nicht von den GSS. In der Grafik zeigt sich ebenfalls, ein linearer Zusammenhang zwischen Kühlgradtagen und spezifischem Kältebedarf.

Abbildung 33: spez. Kältebedarf bei verschiedenen Klimadatensätzen unterteilt in unterschiedliche Globalstrahlungssummen (eigene Abbildung)



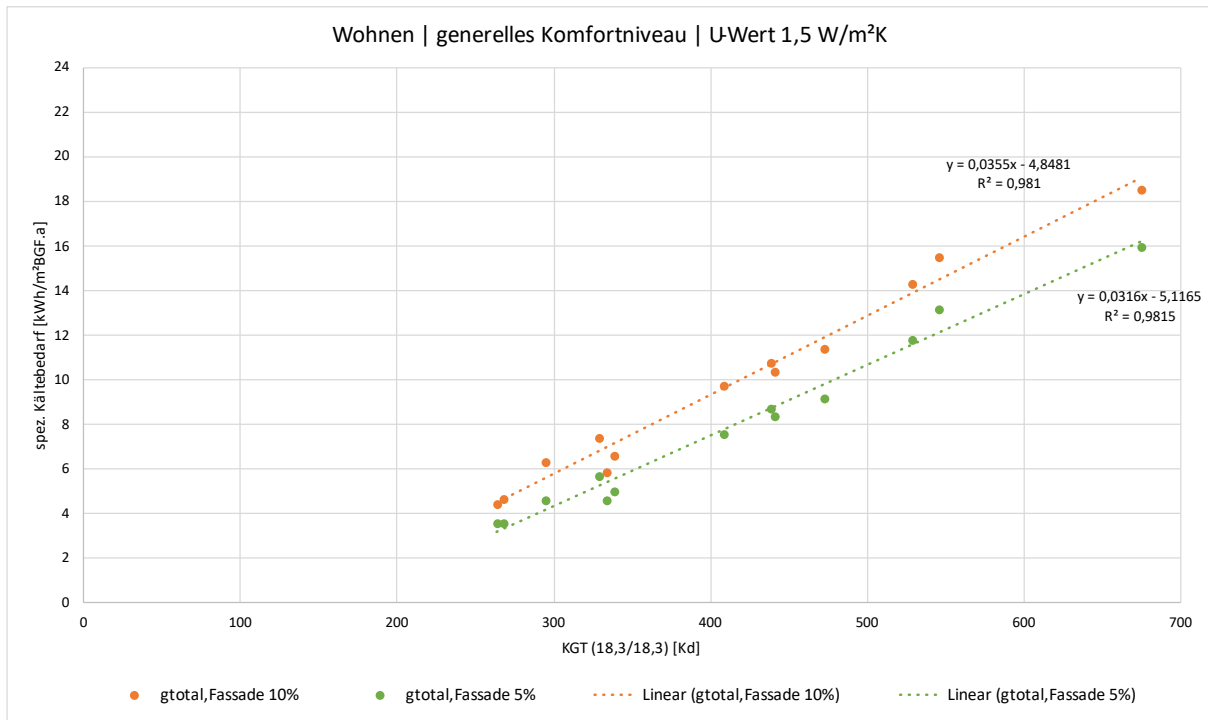
Die Ergebnisse der Analyse des Einflusses der Globalstrahlungssumme und der Kühlgradtage auf einen Standort ergeben, dass die Globalstrahlungssumme nicht der entscheidende Faktor für die Bestimmung des Kältebedarfs ist, sondern die Kühlgradtage

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

7.4. Standortauswahl der parametrischen Simulation

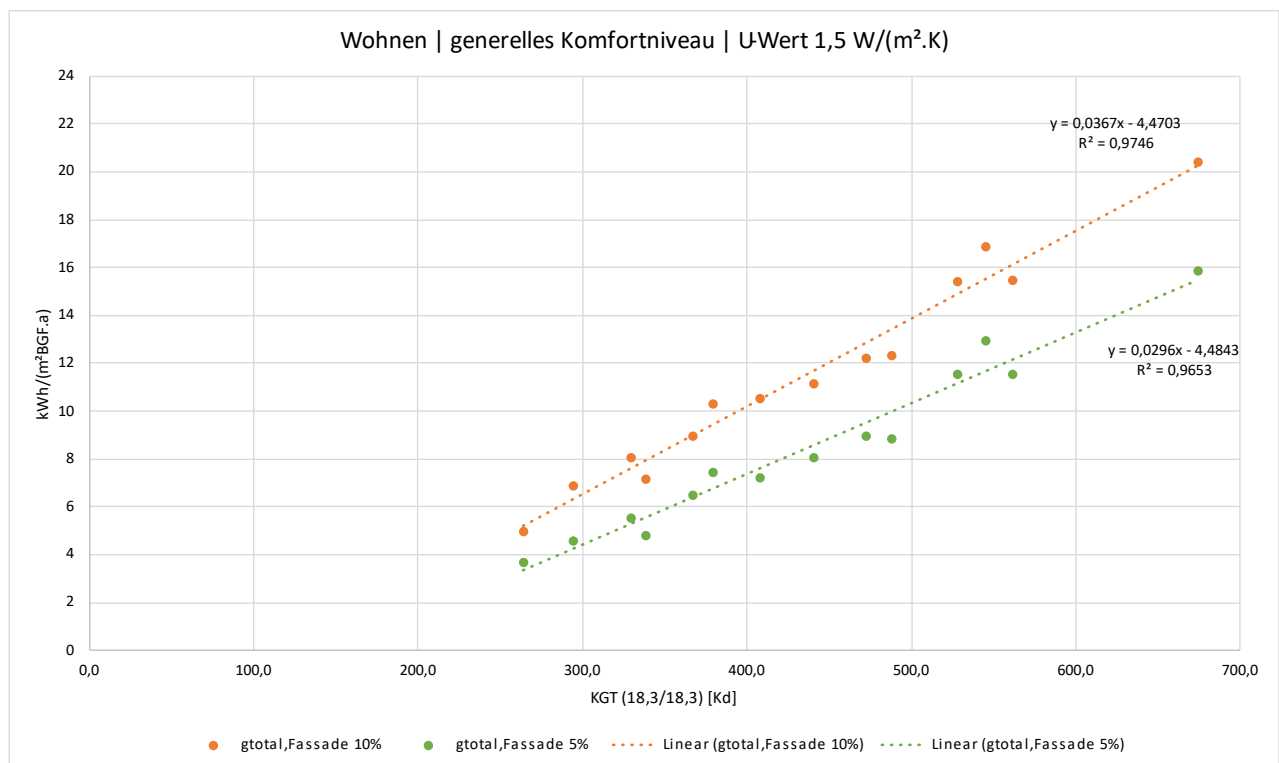
Bei der Auswahl der Klimadatenätze zur Berechnung des urbanen Kältebedarfs in Österreich werden im ersten Schritt aus den gewählten Klimadatenätzen aus Kapitel 7.3 die urbanen (mehr als 10.000 Einwohner:innen) Standorte von den nicht urbanen Standorten getrennt. Daraus ergibt sich eine Anzahl an 22 Standorten. Durch die Berücksichtigung der Zeitperioden 2030 und 2050 ergibt sich eine Zahl an 44 Klimadatenätzen. Aufgrund der Vielzahl an veränderbaren Parametern in der Simulation ist eine weitere Reduktion der Standorte notwendig. Als erste Überlegung werden die Landeshauptstädte Graz, Innsbruck, Klagenfurt, Linz, Salzburg, Wien und Wien inkl. UHI-Effekte (nur 2050) in den Zeitperioden 2030 und 2050 aufgrund ihrer geografischen Verortung im Bundesgebiet sowie ihrer meteorologischen Unterschiede gewählt. Eine Analyse der Klimadatenätze sowie des Kältebedarfs zeigt jedoch, dass die Klimadatenätze aufgrund ihrer ähnlichen Anzahl an KGT nur bedingt geeignet sind (vgl. Abbildung 34). Es zeigen sich drei Häufungen der Standorte an ähnlichen Kühlgradtagen (ca. 260 KGT, 330 KGT und 440 KGT). Der lineare Zusammenhang, wie bereits in Abbildung 33, zeigt sich bei dieser Darstellung ebenfalls mit Bestimmtheitsmaßen von ca. 98 %.

Abbildung 34: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei den Klimadatenätzen Graz, Innsbruck, Klagenfurt, Linz, Salzburg und Wien in den Zeitperioden 2030 und 2050 (eigene Abbildung)



Aufbauend darauf werden im nächsten Schritt Klimadatensätze ausgetauscht, um das Spektrum der KGT bestmöglich abzudecken. Das Ergebnis ist eine Mischung aller Landeshauptstädte Österreichs sowie der Stadtgemeinde Retz zu unterschiedlichen Zeitpunkten (2030 und 2050). Die Ergebnisse eines exemplarischer Gebäudekonfiguration der ausgewählten Klimadatensätze (Abbildung 35) zeigt, dass der Bereich zwischen ca. 250 und ca. 670 KGT in ungefähr 30er Schritten abgedeckt werden kann. Lediglich nach ca. 550 KGT besteht eine Lücke zum letzten Klimadatensatz mit ca. 670 KGT. Dies liegt daran, dass die Anzahl an urbanen Standorten in Österreich mit dieser hohen Anzahl an KGT im Klimaszenario RCP4.5 sehr begrenzt bzw. nicht vorhanden ist.

Abbildung 35: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei den final ausgewählten Klimadatensätzen der neun Landeshauptstädte und Retz in den Zeitperioden 2030 und 2050 (eigene Abbildung)



8 Entfeuchtungsenergiebedarf

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie der Entfeuchtungsenergiebedarf im gegenständlichen Projekt berücksichtigt wird. Der zusätzliche Entfeuchtungsenergiebedarf wird lediglich bei der Nutzung Büro berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass in der Wohnnutzung keine Lüftungsanlage angewandt wird.

8.1. Problemstellung

Für die Entfeuchtung von Luft wird von Lüftungsanlagen viel Energie benötigt. Durch die Klimaveränderung und dem damit verbundenen Anstieg an absoluter Luftfeuchtigkeit ist eine Luftentfeuchtung notwendig.

Für die Auslegung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Entfeuchtung wird in der Praxis die Kennzahl der Entfeuchtungsgrammstunden (EGH) herangezogen. Nach VDI 4710 ist die Entfeuchtungsgrammstunde definiert als jene Menge an absoluter Feuchte, die innerhalb einer Stunde aus der Raumluft entzogen wird. Die Kennzahl bildet sich aus dem Produkt der Befeuchtungsstunde und der Differenz zwischen einem bestimmten Wassergehalt der Raumluft und dem mittleren Wassergehalt der Außenluft. Für die Untersuchung wird ein Wassergehalt der Raumluft von 12 g/kg, wie sie in der Kälte- und Klimatechnik üblich ist, angenommen.

Für die Berechnung des Kennwerts sind daher Informationen über den Wassergehalt der Außenluft notwendig. Diese Kennwerte sind jedoch nicht in den Prognosemodellen der Klimamodellen, auf 1 km² Rastergröße, enthalten. Daher ist die Einteilung der Entfeuchtungsgrammstunden über einen anderen Kennwert zu bilden.

8.2. Methodik

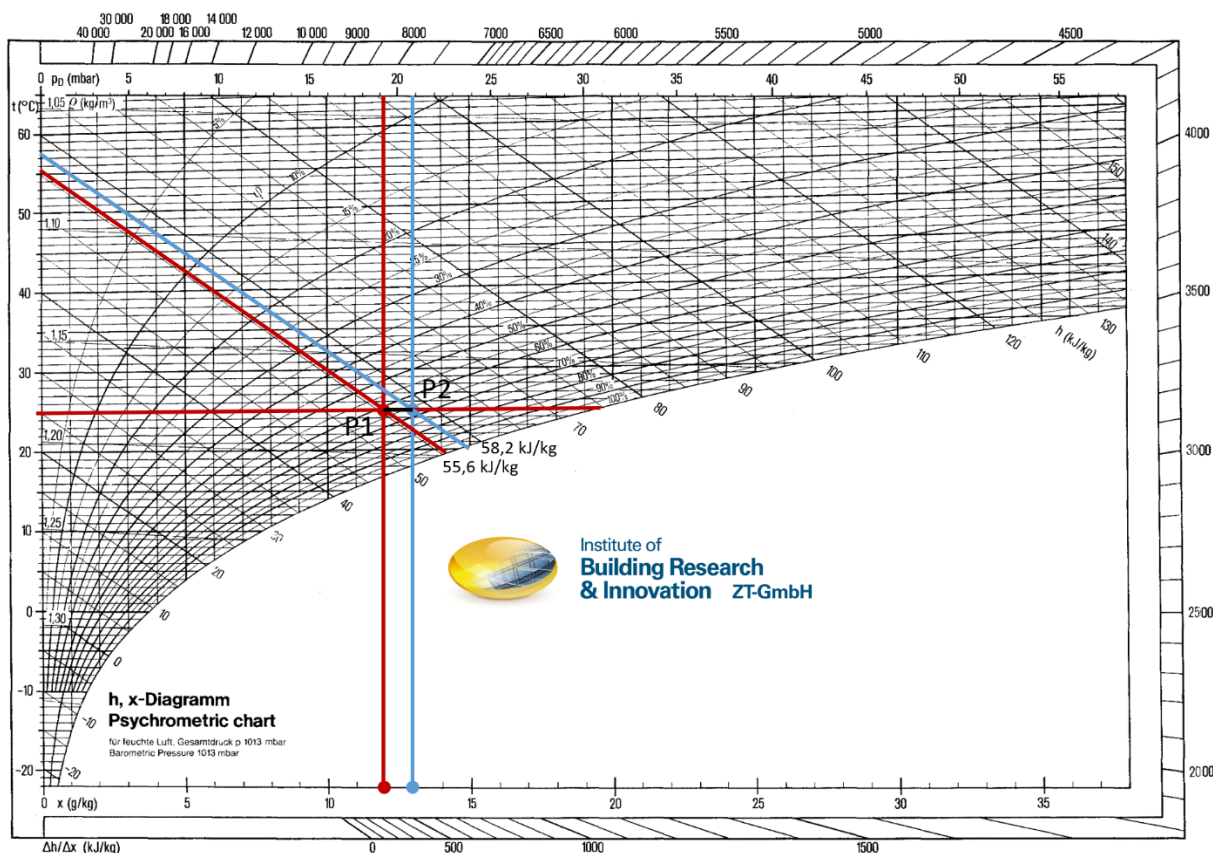
Für die Bestimmung des Energiebedarfs zur Entfeuchtung wird ein theoretischer Ansatz angewendet. Der erforderliche Energiebedarf zur Entfeuchtung der Raumluft für ein Gramm Wasser (absolute Feuchte) korrespondiert mit der Enthalpiedifferenz von zwei Zuständen, die sich lediglich in absolute Feuchtigkeit unterscheiden. Eindeutig bestimmt sind die spezifischen Enthalpien durch den Luftdruck und Temperatur. Es werden Zustandsgrößen für zwei Zustände (P1 und P2) nach Tabelle 21 definiert und als Punkte im Mollier-Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 36).

Tabelle 21: Physikalische Eigenschaften der beiden Punkte (P1 und P2) zur Berechnung des Entfeuchtungsenergiebedarf

	Luftdruck	Sattdampfdruck	Lufttemperatur	absolute Luftfeuchtigkeit (relative Luftfeuchtigkeit)	Enthalpie
P1	1013,25 hPa	31,60 hPa	25 °C	12 g/kg (60,5 %)	55,6 kJ/kg
P2	1013,25 hPa	31,60 hPa	25 °C	13 g/kg (65,5 %)	58,2 kJ/kg

Als erste Näherung werden die Entfeuchtungsgrammstunden mit einem Grenzwert der absoluten Feuchte von 12 g/kg für die 33 definierten Standorte (vgl. Kapitel 7.3) simuliert. Im nächsten Schritt soll ein geeigneter Parameter ermittelt werden, der den Zusammenhang der Entfeuchtungsgrammstunde von einem in den Prognosen der Klimamodelle verfügbaren Kennwert definiert. Als letzter Schritt erfolgt die Berechnung des Energiebedarfs zur Raumentfeuchtung. Hierbei wird ein theoretischer Ansatz gewählt, um eine Abhängigkeit der eingesetzten Technologie zu vermeiden.

Abbildung 36: Mollier-h-x-Diagramm mit Darstellung der beiden berücksichtigten Punkten und relevanten Eigenschaften



8.3. Berücksichtigung im Projekt

Der Zusammenhang der Entfeuchtungsgrammstunden wird zunächst über die Kenngröße der Kühlgradtage hergestellt. Für die ausgewählten 33 Standorte (vgl. Kapitel 7.3) ergibt sich eine Zusammenhang nach Abbildung 37. Die einzelnen Datenpunkte sind in Bereichen geringer KGT annähernd linear verteilt, jedoch nimmt die Datenstreuung mit zunehmenden KGT zu. Aufgrund des Streuverhaltens wurde die Ermittlung nach einem geeigneteren Parameter fortgesetzt.

Untersucht wurde, ob die angewandten Standorte ähnliche Globalstrahlungssummen, Seehöhen oder Jahresmitteltemperaturen aufweisen. Der Zusammenhang nach dem Parameter der Jahresmitteltemperatur konnte mit einem Bestimmtheitsmaß von circa 80 % bestätigt werden

(vgl. Abbildung 38). Der Parameter der Jahresmitteltemperatur ist ebenfalls in den Prognosen der Klimaszenarien enthalten und bietet sich daher als Bezugsgröße an.

Abbildung 37: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden nach Kühlgradtagen für 33 exemplarische Standorte in den Zeitschritten 2030 und 2050 (eigene Abbildung)

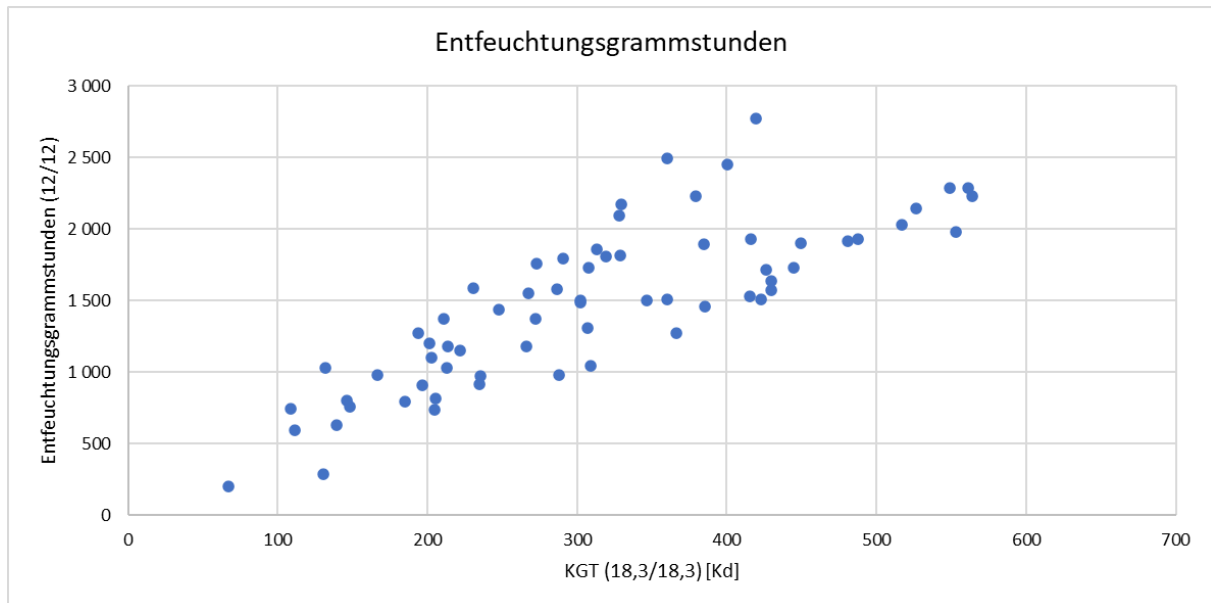
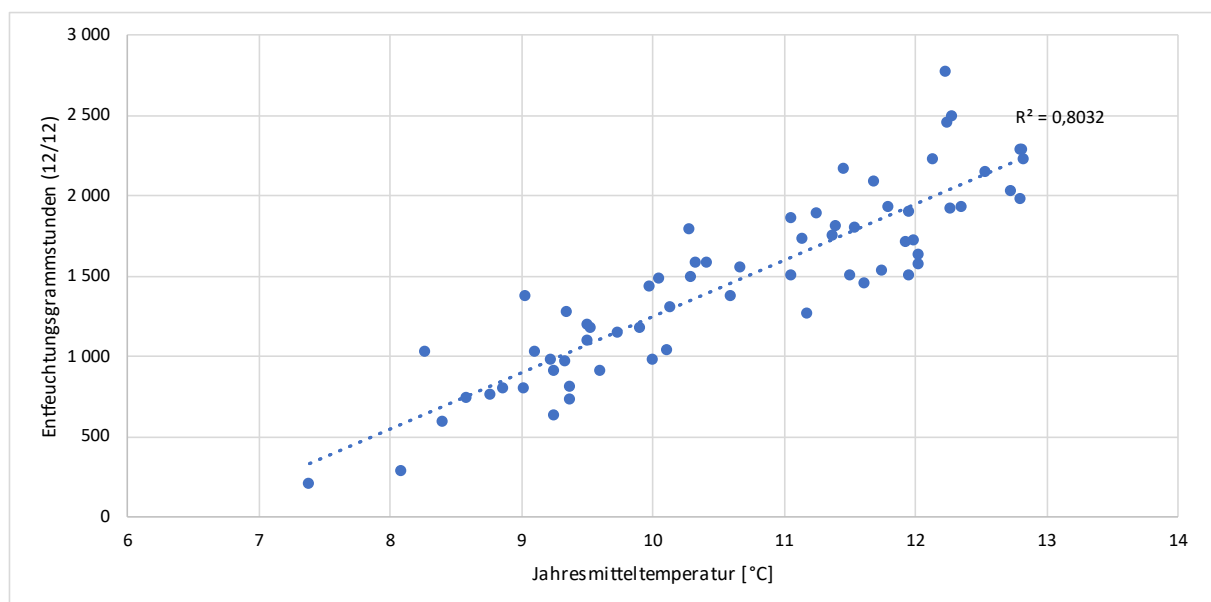
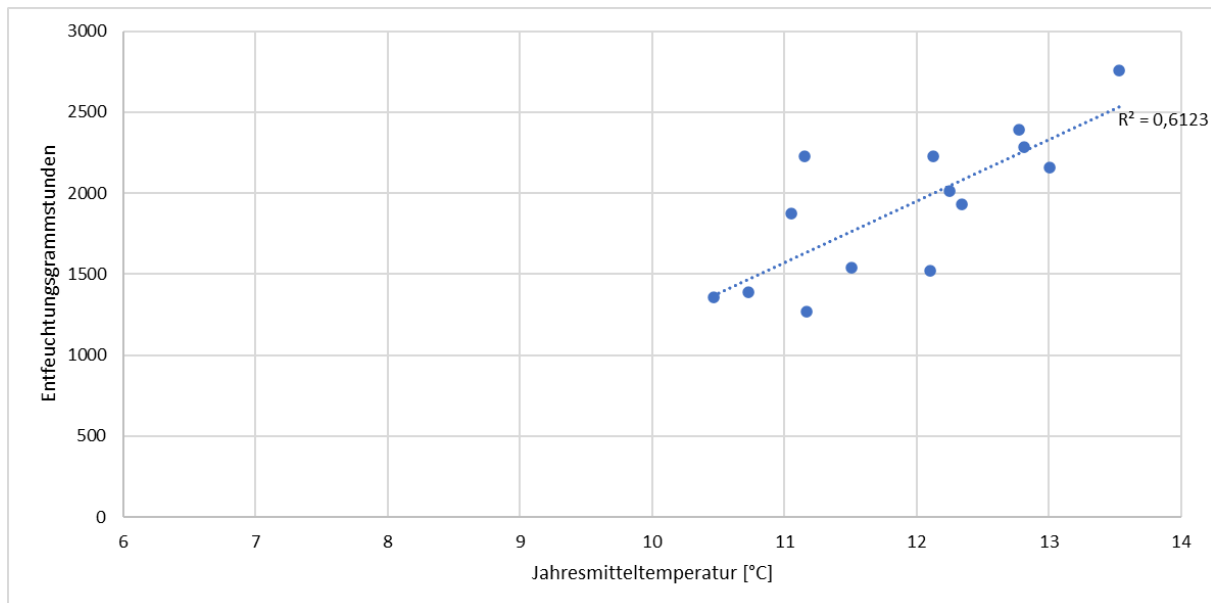


Abbildung 38: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden mit der Jahresmitteltemperatur an den 33 Standorten in den Zeitschritten 2030 und 2050 (eigene Abbildung)



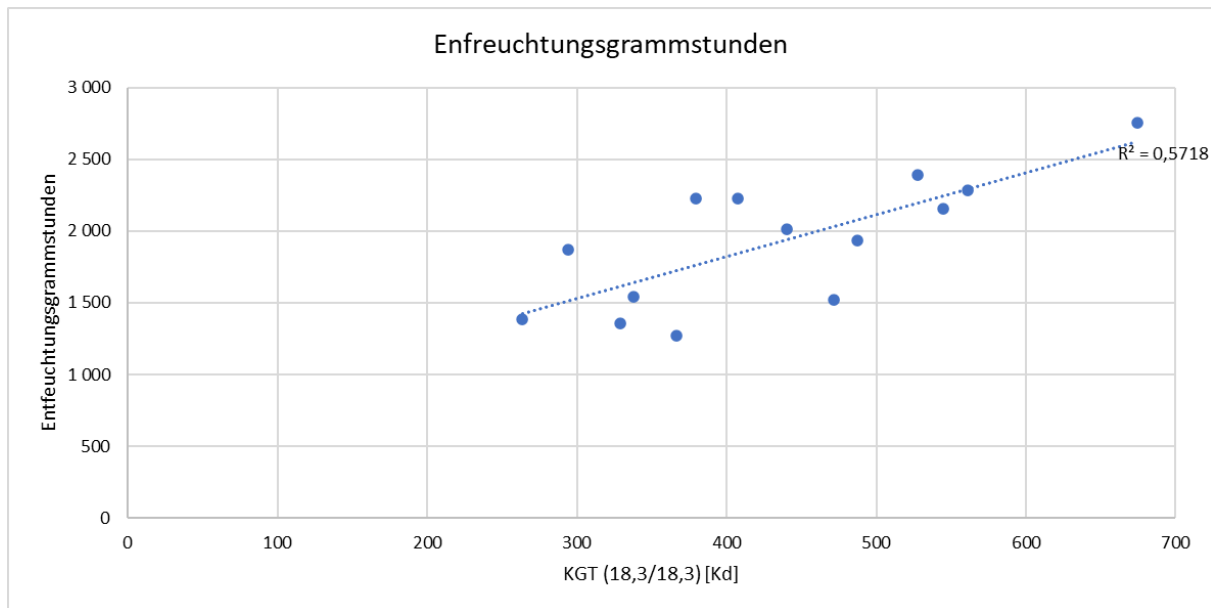
Wird diese Erkenntnis auf die ausgedünnten 14 Klimadatensätze angewendet, bestätigt sich dieses hohe Bestimmtheitsmaß der Entfeuchtungsgrammstunden in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur nicht (Abbildung 39). Das Bestimmtheitsmaß beträgt circa 61 %.

Abbildung 39: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden mit der Jahresmitteltemperatur der 14 Klimadatensätze (eigene Abbildung)



Bei Anwendung der Entfeuchtungsgrammstunden auf die 14 Klimadatensätze mit den Kühlgradtagen als Parameter ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von circa 57 %, die in Relation zur Parametrisierung nach Jahresmitteltemperatur um 4 % abweicht (vgl. Abbildung 40). Aufgrund der geringen Abweichung ist die Einteilung der Entfeuchtungsgrammstunden der Standorte über die Kühlgradtage durchgeführt.

Abbildung 40: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden mit den Kühlgradtagen (eigene Abbildung)



Durch das Fehlen von Angaben zur Feuchtigkeit in den rasterbasierten Klimaprognosedaten musste eine Einteilung über einen anderen Parameter erfolgen. Die Analysen diesbezüglich haben ergeben, dass zur Abschätzung der Entfeuchtungsgrammstunden eines Standortes als Parameter die Kühlgradtage angewandt werden. Das geringe Bestimmtheitsmaß von ca. 57 % sowie die Differenz von 4 % entgegen dem hohen Bestimmtheitsmaß durch die Anwendung der Jahresmitteltemperatur wird in Kauf genommen.

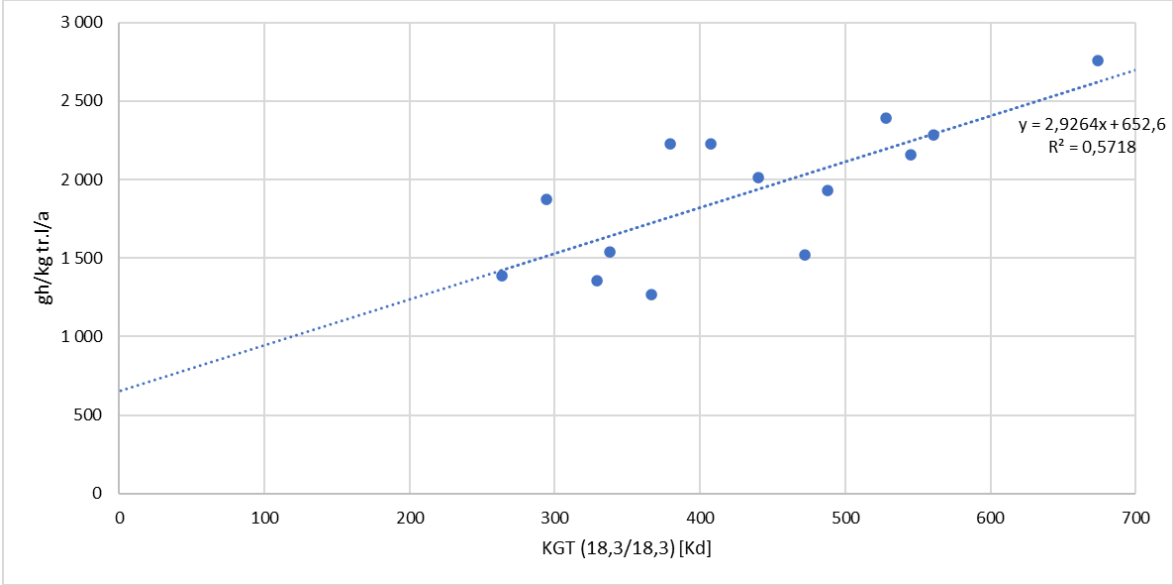
Mit der Festlegung der Kühlgradtage als Parameter zur Quantifizierung der Entfeuchtungsgrammstunden kann der Energiebedarf zur Entfeuchtung eines Standortes definiert werden. Da die Entfeuchtung lediglich bei der Büronutzung berücksichtigt wird erfolgt die Berechnung des Entfeuchtungsenergiebedarf auf Basis der Randbedingungen zur Büronutzung.

Über die notwendige Luftmenge pro Person (35 m³/h) und den Flächenbedarf der Büronutzung (15 m²) sowie den physikalischen Parametern von feuchter Luft (vgl. Tabelle 21) ergibt sich eine Energiemenge zur Entfeuchtung für 1 g absolute Luftfeuchtigkeit nach Gl. (1).

$$(1) \quad \frac{(58,2 - 55,6) \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{3,6} * \frac{1 \left[\frac{m^3}{kg} \right] * 35 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{15 [m^2]} * 15 [m^2] = 25,0 \left[\frac{W}{gh} \right]$$

Das Produkt aus Entfeuchtungsgrammstunden und Entfeuchtungsenergiebedarf von 25,0 W/(g.h) ergibt ein Bild abhängig von den Kühlgradtagen nach Abbildung 41. Die Berücksichtigung des Entfeuchtungsenergiebedarfs erfolgt über die Addition mit dem Kältebedarf.

Abbildung 41: Spezifischer Energiebedarf der Entfeuchtung in Abhängigkeit der Kühlgradtage (eigene Abbildung)



9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die gewonnenen Erkenntnisse der durchgeführten Untersuchungen zusammengefasst und verdichtet dargestellt. Die Details zu den jeweiligen Analysen können den entsprechenden Kapiteln entnommen werden.

Komfortanspruchsniveaus

Die in Kapitel 2 dargestellten Komfortanspruchsniveaus, adaptives und generelles Komfortniveau, werden als geeignet befunden den Kältebedarf von Österreich abzubilden.

Aufgrund der technischen Möglichkeit einer „stillen Kühlung“ (die Verwendung einer Deckenkühlung mit sehr geringen Temperaturdifferenzen) in Wohngebäuden wird der Auslegungsrahmen des adaptiven Komfortmodell 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 zur persönlichen Komfortsteigerung (durch Kleidungsanpassung oder Ähnliches) bestehen, wird das generelle Komfortmodell nach ÖNORM EN 16798-1:2019 als zweites Komfortmodell berücksichtigt.

Nutzungsbedingungen

Die in Kapitel 3 angeführten Nutzungsprofile für Wohn- und Büronutzung bilden sich aus standardisierten Kennwerten der spezifischen Wärmeleistung der Geräte, der Personen und des hygienischen Luftwechsels (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 4). Für die Ermittlung des Kältebedarf werden die inneren Lasten (Personen und Gerät) und der hygienische Luftvolumenstrom herangezogen. Basierend darauf ergibt sich für Wohnnutzung eine rechnerische Belegungsdichte einer Person von rund 33 m² Wohnnutzfläche. Für Büronutzung wird entgegen der Maximalbelegung nach AStV von 5 m² pro Person eine Belegungsdichte nach realem Vorbild von 15 m² eingesetzt.

Bei der Büronutzung bestimmen vor allem die inneren Lasten den Kältebedarf und -leistung. Daher wurde bei den inneren Lasten eine realistische Belegungsdichte von 15 m² pro Person gewählt.

Bauphysikalische Kenngrößen opaker Bauteile

Die in Kapitel 4.1 untersuchten U-Werte opaker Bauteile aus dem EU-Projekt TABULA werden in vier Datenlisten zusammengefasst, die einzeln die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand, des Daches und der Bodenplatte beinhalten. Ein Abgleich der zusammengefassten U-Werte mit standardisierten U-Werten mittelschwerer Bauweise aus ÖNORM B 8110-7:2023 bestimmt den bauphysikalischen Aufbau der einzelnen Bauteile aus den Datenlisten (vgl. Tabelle 4 bis Tabelle 13). Die resultierenden Aufbauten werden für die gebäudetechnische Simulation herangezogen.

Transparente Bauteile – Planungskennwert $g_{total, Fassade}$

Da der Energieeintrag durch transparente Bauteile der Haupttreiber von Überhitzung im Innenraum ist und es vielfältige Kombinationen an Verglasung, Sonnenschutz, Verschattung durch gebaute Strukturen, etc. gibt, wird der Planungskennwert $g_{total, Fassade}$ definiert um diese Vielfältigkeit zu adressieren und einzustufen. Der Wert beschreibt den Energiedurchlassgrad einer an Außenluft

grenzenden Fassade und besitzt dementsprechend die Einheit Prozent.

In der gegenständlichen Untersuchung werden die drei Kategorien 5 %, 10 % und 15 % (nur Büro) für den $g_{\text{total,Fassade}}$ angewandt. Je niedriger der $g_{\text{total,Fassade}}$ desto besser ist das Gebäude vor Solarstrahlung geschützt.

Beispiele zur Bildung des $g_{\text{total,Fassade}}$ können Kapitel 4.1.6 entnommen werden.

Einfluss der Gebäudegeometrie auf den Kältebedarf

Bei der Analyse des Einflusses der Gebäudegeometrie auf den Kältebedarf (Kapitel 4.4) hat sich herausgestellt, dass sich, vor allem bei Einfamilienhäusern, ein erhöhter Kältebedarf ergibt. Dies ist auf das erhöhte Verhältnis von außenluftberührten zu konditionierten Flächen zurückzuführen. Um den gesamten österreichischen Gebäudebestand hinsichtlich Kältebedarf bestmöglich abzubilden, wird daher die Geometrie eines gekuppelten Mehrfamilienhauses als Grundlage definiert.

Einfluss des thermischen Wärmeschutzstandard auf den Kältebedarf

Die Analyse des thermischen Wärmeschutzstandards auf den Kältebedarf hat ergeben, dass das Wärmeschutzniveau eines Gebäudes einen signifikanten Einfluss auf den Kältebedarf hat. Eine Reduktion des U-Werts der Außenwand führt, bei der Anwendung des generellen Komfortniveaus, stets zu einer Reduktion des Kältebedarf. Bei der Anwendung des adaptiven Komfortmodells wird vereinzelt an Standorten mit geringen Kühlgradtagen, ein gegenläufiger Effekt festgestellt. Dies ist dadurch begründet, dass an Standorten mit geringeren Kühlgradtagen die Nachttemperaturen niedriger sind und somit die Auskühlung der Gebäudehülle bei höheren Wärmeleitfähigkeiten der Bauteile besser funktioniert.

Die Höhe der Reduktion des Kältebedarf durch ein besseres Wärmeschutzniveau ist jedoch nicht gleichzusetzen mit der Höhe der Reduktion des Heizwärmebedarfs. Hinsichtlich des erhöhten Schutzes vor sommerlicher Überwärmung ist die Verbesserung des Wärmeschutzniveaus ein erster Schritt, und aus Sicht der Effizienzsteigerung auf jeden Fall sinnvoll, hat jedoch keine vergleichbare Wirkung wie ein außenliegender Sonnenschutz. Ist das Ziel die Reduktion des Kältebedarfs ist daher die Maßnahme des außenliegenden Sonnenschutzes der thermischen Sanierung vorzuziehen.

Einfluss der Ausrichtung des Gebäudes auf den Kältebedarf

Die Ausrichtung des Gebäudes (Kapitel 5.3) hat einen signifikanten Einfluss auf den Kältebedarf des Gebäudes. Der höchste Kältebedarf besteht bei einer Orientierung des Gebäudes nach Osten, wohingegen aus der Orientierung nach Süden der geringste Kältebedarf resultiert. Eine Orientierung nach Südwesten bzw. Südosten resultierte zu ähnlichen Ergebnissen. Basierend darauf wird eine Ausrichtung nach Südosten bzw. Südwesten für künftige Analysen nicht weiter differenziert.

Einfluss der Verschattung durch Nachbargebäude

Die Verschattung durch Nachbargebäude (Kapitel 5.2) hat einen signifikanten Einfluss auf den Kältebedarf eines Gebäudes. Zurückzuführen ist dieses Ergebnis auf die reduzierte solare Einstrahlung durch Abschattung der Nachbargebäude. Konkret ist durch eine Nachbarverschattung von 15 m eine Reduktion des Kältebedarf um circa 13 % und bei 8 m um circa 22 % erreichbar. Im Zuge der Analyse des Straßenraumes ist die Häufigkeit des Abstandes zum Nachbargebäuden von 15 m am größten. Im Rahmen der Simulation wird aufgrund dessen eine Verschattung durch Nachbargebäude mit einem Abstand von 15 berücksichtigt,

Betriebsweise des Kälteabgabesystems

Die Betriebsweise des Kälteabgabesystems (Kapitel 6) hat einen geringen, dennoch nennenswerten, Einfluss auf den Kältebedarf. Durch die Veränderung der Betriebsweise ist eine Reduktion des Kältebedarfs um maximal 5 % im Vergleich zur standardmäßigen Betriebsweise erzielbar. Eine solche Betriebsweise hat jedoch zur Folge, dass es zu erhöhten Einschaltspitzen kommt. Bei einem durchgängigen Betrieb einer Flächenkühlung kommt es zu keiner Einschaltspitze, sofern die Rahmenbedingungen (z.B. Solltemperatur) nicht verändert werden.

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.

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

Die entwickelte Regression des spezifischen Kältebedarf nach den Kühlgradtagen für die Standorte aller österreichischer Landeshauptstädte weist ein Bestimmtheitsmaß, trotz Datenausdünnung, von 98 Prozent auf. Zurückzuführen ist dies auf die ähnlichen Kühlgradtage der verwendeten Standorte. Es zeigen sich drei diskrete Häufungen ähnlicher Kühlgradtage: 260 KGT, 330 KGT und 440 KGT. Um einen breiteren Bereich an Kühlgradtagen abzudecken, wird eine Variation der Klimadatenätze vorgenommen. Das Ergebnis ist eine Aufstellung an Klimadaten aller Landeshauptstädte Österreichs sowie der Stadtgemeinde Retz zu unterschiedlichen Zeitpunkten (2030 und 2050). Die resultierende Regression ist charakterisiert durch ein hohes Bestimmtheitsmaß und einem Datenpunktabstand von circa 30 KGT.

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 wird ein geeigneter Parameter zur Abbildung der korrespondierenden Entfeuchtungsgrammstunde ermittelt. Durch statistische Methoden wird 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 ist der Energiebedarf zur Entfeuchtung eines Standortes vollständig definiert.

10 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standardauslegungswerte für die operative Innentemperatur für Gebäude ohne mechanische Kühlsysteme in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur [1]	10
Abbildung 2: Spezifische Wärmeleistung von Geräten und Personen sowie des hygienischen Luftvolumenstroms bei Wohnnutzung (eigene Abbildung)	13
Abbildung 3: Zeitplan des Fensteröffnungssignals (eigene Abbildung)	14
Abbildung 4: Spezifische Wärmeleistung von Geräten und Personen sowie des hygienischen Luftvolumenstrom bei Büronutzung (eigene Abbildung).....	15
Abbildung 5: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2030 RCP4.5 bei Berücksichtigung des generellen Komfortmodells (eigene Abbildung)	24
Abbildung 6: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte bei Berücksichtigung des generellen Komfortmodells (eigene Abbildung)	25
Abbildung 7: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2030 RCP4.5 bei Berücksichtigung des adaptiven Komfortmodells (eigene Abbildung)	25
Abbildung 8: Einfluss des U-Werts der Außenwand auf den Kältebedarf des Regelgeschoßes am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte bei Berücksichtigung des adaptiven Komfortmodells (eigene Abbildung)	25
Abbildung 9: Detaillierte Analyse der 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 (eigene Abbildung)	26
Abbildung 10: Exemplarische Analyse der Energiemengen des Fensters während einer Zweitagesperiode im Juli (eigene Abbildung)	33
Abbildung 11: Gebäudegeometrie nach OIB-Kostenoptimalitätsstudie, in fett gedruckt die untersuchten Gebäudegeometrien [5]	33
Abbildung 12: Vergleich des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf am Standort Wien 2030 (eigene Abbildung)	35
Abbildung 13: Vergleich des Einflusses der Geometrie auf den Kältebedarf am Standort Wien 2050 inkl. Berücksichtigung des UHI-Effekts (eigene Abbildung)	35
Abbildung 14: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ am Standort Wien 2030 (eigene Abbildung)	37

Abbildung 15: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von 0,35 W/(m ² .K) am Standort Wien 2030 (eigene Abbildung)	38
Abbildung 16: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von 1,5 W/(m ² .K) am Standort Wien 2050 UHI (eigene Abbildung)	38
Abbildung 17: Einfluss der Zonenpositionierung auf den Kältebedarf bei Wohnnutzung, generellem Komfortniveau, einem U-Wert der Außenwand von 0,35 W/(m ² .K) am Standort Wien 2050 UHI (eigene Abbildung)	39
Abbildung 18: Vergleich Kältebedarf von MFHs und EFHs mit reduzierter Belegungsdichte (eigene Abbildung)	40
Abbildung 19: Orientierungsvarianten des Gebäudes bei der Sensitivitätsanalyse (eigene Abbildung)	42
Abbildung 20: Ausschnitt FLWBPL Wien im Bereich Stuckgasse, Burggasse, 1070 Wien [15]	43
Abbildung 21: Ausschnitt FLWBPL Wien im Bereich Seestadt Aspern, 1220 Wien [15]	43
Abbildung 22: Ausschnitt des Aufbaus des Simulationsmodell mit berücksichtigten Nachbargebäuden (eigene Abbildung)	43
Abbildung 23: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)	45
Abbildung 24: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)	45
Abbildung 25: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des adaptiven Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)	46
Abbildung 26: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Ausrichtungen des Gebäudes bei Verwendung des adaptiven Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)	46
Abbildung 27: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Abständen der Nachbargebäude bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)	47
Abbildung 28: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlichen Abständen der Nachbargebäude bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)	48
Abbildung 29: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlicher Betriebsweise und U-Werten der Außenwand bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2030 RCP4.5 (eigene Abbildung)	50
Abbildung 30: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei unterschiedlicher Betriebsweise und U-Werten der Außenwand bei Verwendung des generellen Komfortmodells am Standort Wien 2050 RCP4.5 inkl. UHI-Effekte (eigene Abbildung)	50

Abbildung 31: Verortung der Standorte für die Analyse des Zusammenhangs zwischen KGT und GSS (bearbeitet aus Google Earth)	54
Abbildung 32: Zusammenhang GSS und KGT der gewählten Klimadatensätze bei einem U-Wert der Außenwand von 1,5 W/(m ² .K) (eigene Abbildung)	55
Abbildung 33: spez. Kältebedarf bei verschiedenen Klimadatensätzen unterteilt in unterschiedliche Globalstrahlungssummen (eigene Abbildung)	55
Abbildung 34: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei den Klimadatensätzen Graz, Innsbruck, Klagenfurt, Linz, Salzburg und Wien in den Zeitperioden 2030 und 2050 (eigene Abbildung)	56
Abbildung 35: Übersicht des spez. Kältebedarfs bei den final ausgewählten Klimadatensätzen der neun Landeshauptstädte und Retz in den Zeitperioden 2030 und 2050 (eigene Abbildung)	57
Abbildung 36: Mollier-h-x-Diagramm mit Darstellung der beiden berücksichtigten Punkten und relevanten Eigenschaften	59
Abbildung 37: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden nach Kühlgradtagen für 33 exemplarische Standorte in den Zeitschritten 2030 und 2050 (eigene Abbildung)	60
Abbildung 38: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden mit der Jahresmitteltemperatur an den 33 Standorten in den Zeitschritten 2030 und 2050 (eigene Abbildung)	60
Abbildung 39: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden mit der Jahresmitteltemperatur der 14 Klimadatensätze (eigene Abbildung)	61
Abbildung 40: Überlagerung der Entfeuchtungsgrammstunden mit den Kühlgradtagen (eigene Abbildung)	61
Abbildung 41: Spezifischer Energiebedarf der Entfeuchtung in Abhängigkeit der Kühlgradtage (eigene Abbildung)	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte für operative Innenraumtemperatur für die stündliche Berechnung der Kühl- und Heizenergie in vier Kategorien der Innenraumumgebung [1]	8
Tabelle 2: Mittelwertbildung der U-Werte für die Bauteile Außenwand, oberste Geschoßdecke und Kellerdecke [3]	18
Tabelle 3: Variantenübersicht der U-Werte der verschiedenen Bauteile	18
Tabelle 4: Bauteilaufbau Außenwand ohne Dämmung (Innen nach Außen)	19
Tabelle 5: Bauteilaufbau Außenwand mit geringer Dämmstärke (Innen nach Außen)	19
Tabelle 6: Bauteilaufbau Außenwand mit OIB-RL 6 konformer Dämmstärke (Innen nach Außen)	20
Tabelle 7: Bauteilaufbau Außenwand bei ambitioniertem Neubau oder Sanierung (Innen nach Außen)	20
Tabelle 8: Bauteilaufbau Innenwand	21
Tabelle 9: Bauteilaufbau Flachdach im Bestand (Innen nach Außen)	21
Tabelle 10: Bauteilaufbau des zusatzgedämmten Flachdaches (Innen nach Außen)	22
Tabelle 11: Bauteilaufbau der Zwischendecke (oben nach unten)	22
Tabelle 12: Bauteilaufbau unterste Geschoßdecke (oben nach unten)	23
Tabelle 13: Bauteilaufbau zusatzgedämmte unterste Geschoßdecke (oben nach unten)	23

Tabelle 14: Fensterflächen- und Glasflächenanteile nach OIB-Kostenoptimalität [5].....	28
Tabelle 15: Verglasungskonfigurationen zur Testung des Planungskennwerts $g_{total,Fassade}$	28
Tabelle 16: Einteilung bei verschiedenen Verglasungskonfigurationen in $g_{total,Fassade}$ Kategorien	30
Tabelle 17: Übersicht des Kältebedarfs in Wien 2030 und Wien 2050 UHI bei verschiedenen Verglasungskonfigurationen und $g_{total,Fassade}$ Werten.....	31
Tabelle 18: Übersicht der entzogenen Energiemenge durch Abstrahlung in den Nachthimmel	32
Tabelle 19: Gebäudegeometrie nach OIB-Kostenoptimalität [5].....	34
Tabelle 20: Variantenbeschreibung der detaillierten Analyse des Kältebedarfs von EFHs	40
Tabelle 21: Physikalische Eigenschaften der beiden Punkte (P1 und P2) zur Berechnung des Entfeuchtungsenergiebedarf.....	58

Literaturverzeichnis

- [1] Austrian Standards International, „ÖNORM EN 16798-1: 2019-11-01 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings“. 1. November 2019.
- [2] F. Nicol, M. Humphreys, und S. Roaf, *Adaptive Thermal Comfort - Principles and Practice*. Oxon: Routledge, 2012.
- [3] M. Amtmann und N. Altmann-Mavaddat, „Eine Typologie österreichischer Wohngebäude“, Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency, Wien, 1. Auflage, Juni 2014. Zugegriffen: 8. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/AT_TABULA_TypologyBrochure_AEA.pdf
- [4] Austrian Standards International, „ÖNORM B 8110-7 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte“. 15. März 2013.
- [5] Österreichisches Institut für Bautechnik, „OIB-Dokument zum Nachweis der Kostenoptimalität der Anforderung der OIB-RL6 bzw. des Nationalen Plans gemäß 2010/31/EU“. 28. März 2014.
- [6] Loxone Electronics GmbH, „Jalousie, Raffstore oder Rollladen - 5 Antworten zum Thema Sonnenschutz“, loxone.com. Zugegriffen: 31. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.loxone.com/dede/blog/alles-zum-thema-sonnenschutz/>
- [7] G. Münster, „Vom Kutschkermarkt zum Resselpark“. Zugegriffen: 8. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wienzufuss.at/route/vom-kutschkermarkt-zum-resselpark/>
- [8] Google Street View, „Eichendorffgasse 4-6“. Zugegriffen: 31. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.google.com/maps/@48.2380428,16.3442394,3a,75y,200.84h,104.55t/data=!3m6!1e1!3m4!1sIJ5CunDAF_AMw0x8sIEIYA!2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu
- [9] W. Sobek, „DC Tower 1“. Zugegriffen: 31. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wernersobek.com/de/projekte/dc-tower-1/>
- [10] HAGA AG Naturbaustoffe, „Für Wärmeschutz und Denkmalschutz“. Zugegriffen: 19. März 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.haganatur.ch/fuer-waermeschutz-und-denkmalschutz/>
- [11] Google Street View, „Wenzgasse 7“. Zugegriffen: 8. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.google.com/maps/@48.1839145,16.2921686,3a,75y,309.59h,85.94t/data=!3m6!1e1!3m4!1scUsbN24Y9XDgnJ-XiAH1ew!2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu>
- [12] Wiener Stadt- und Landesarchiv, *Das Internationales Pressezentrum (1970)*. Zugegriffen: 8. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Datei:Internationalespressezentrum.jpg>
- [13] Bauhelden Media GmbH & Co. KG, „Häuser mit viel Glasfläche“. Zugegriffen: 8. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hausbauhelden.de/ratgeber-fenster-tueren/haeuser-mit-viel-glasflaeche/>
- [14] Statistik Austria, „STATcube - Statistische Datenbank“.
- [15] Stadt Wien, „Flächenwidmungs- und Bebauungsplan“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Abkürzung	Ausformulierter Begriff	Zusätzliche Erläuterungen
	Adaptives Komfortniveau	Siehe Kapitel 2.2.
AStVO	Arbeitsstättenverordnung	-
BGF	Brutto-Grundfläche	Die Brutto-Grundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Die Brutto-Grundfläche ist in Netto-Grundfläche und Konstruktions-Grundfläche gegliedert.
DG	Dachgeschoß	-
EFH	Einfamilienhaus	-
EGH	Entfeuchtungsgrammstunden	Planungskennwert zur Bestimmung des Entfeuchtungsenergiebedarf einer Lüftungsanlage.
EG	Erdgeschoß	-
XPS	Expandiertes Polystyrol	-
FLWBPL	Flächenwidmungs- und Bebauungsplan	-
	Generelles Komfortniveau	Siehe Kapitel 2.1.
GWB	Geschoßwohnbau	-
GSS	Globalstrahlungssumme	Summe der Direktstrahlung und Diffusstrahlung auf eine horizontale Empfangsfläche.
	$g_{\text{total, Fassade}}$	Planungskennwert zur Bestimmung des Energiedurchlassgrades einer, an Außenluft grenzenden, Fassade.
	gtot-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad der Kombination aus transparenten Bauteilen und Sonnenschutzeinrichtungen.
	g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad eines transparenten Bauteils.
KGt	Kühlgradtage	Temperatursumme von Tagen an denen die Tagesmitteltemperatur einen bestimmten Grenzwert übersteigt.
MFH	Mehrfamilienhaus	-
MET	metabolische Äquivalent	Das MET wird verwendet, um den Energieverbrauch bei unterschiedlichen Aktivitäten zu vergleichen.
NF	Nutzfläche	Die Nutzfläche dient der Nutzung des Bauwerkes aufgrund seiner Zweckbestimmung.

	Operative Temperatur	Umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen. Wird auch als „gefühlte Temperatur“ bezeichnet.
RG	Regelgeschoß	Jenes Geschoß mit wiederkehrenden Grundrissen.
RCP	repräsentativer Konzentrationspfad	Vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) definierte Pfade der zukünftigen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre. Die Zahl in der Bezeichnung, z.B. RCP8.5, beschreibt den zusätzlichen Strahlungsantrieb, in W/m^2 , gegen Ende des 21. Jahrhunderts.
TMY	Typical Meteorological Year	Siehe Kapitel 7.1.
	Verschattung	Reduktion der Solarstrahlung durch technische oder natürliche Maßnahmen.
UHI	Urban Heat Island	Städtische Wärmeinsel.
WRG	Wärmerückgewinnung	Rückgewinnung von thermischer Energie mithilfe von technischen Geräten.
	Kälteenergiebedarf	Dem Raum entzogene Wärmemenge. Ist gleichgestellt mit der Nutzenergie zur Raumkühlung. Wird bei spezifischer Betrachtung auf den m^2 BGF bezogen.
	Kälteleistung	Maximale im Jahr auftretende zu entziehende Wärmemenge. Wird bei spezifischer Betrachtung auf den m^2 NF bezogen.