



FH Salzburg
Smart Building

Universität für
Weiterbildung
Krems



bau.energie.umwelt cluster
niederösterreich



Cool*Buildings

Kühlstrategien in Wohngebäuden – Ein Technologievergleich

Zukunftsagentur Bau GmbH (ZAB)

W. Konrad, M. Rehbogen, G. Graupner

Fachhochschule Salzburg (FHS)

L. Dorsch, S. Kindelbacher

Universität für Weiterbildung Krems (UWK)

M. Winkler, K. Winiwarer, R. Passawa



Kofinanziert von der
Europäischen Union



Das Forschungsprojekt Cool*Buildings wurde im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert von der Technologieförderung Salzburg WISS 2025; dem Land Niederösterreich im Wirtschafts- und Tourismusfonds sowie durch die Bundesinnung Bau und dem Fachverband Steine Keramik

INHALT

KURZFASSUNG	4
1. AUSGANGSLAGE UND PROJEKTMOTIVATION (ZAB).....	5
1.1. Klimawandel und die damit verbundenen Herausforderungen	5
1.2. Nachweisverfahren	7
1.3. Forschungsansatz	8
2. ZIELSETZUNG DES PROJEKTS UND INHALT DES ENDBERICHTES (ALLE)	10
3. EINBINDUNG VON STAKEHOLDERN ZUR VORBEREITUNG DES SIMULATIONSDESIGNS (ZAB).....	11
3.1. Expert:innen Interviews	11
3.2. Baurägerworkshops.....	18
3.2.1. Online-Workshop – „Sommertauglichkeit – Wohngebäude zukunftsfähig machen“ am 24.03.2022	18
3.2.2. Online-Workshop – „Sommertauglichkeit – Wohngebäude zukunftsfähig machen“ – Vorstellung der Ergebnisse am 08.03.2023.....	25
3.3. Online-Umfrage	25
4. UNTERSUCHUNG DES SOMMERLICHEN VERHALTENS VON WOHNRÄUMEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN MITTELS EINZONENMODELLE (FHS).....	26
4.1. Motivation	26
4.2. Grundlagen	26
4.2.1. Untersuchungsgegenstand	26
4.2.2. Stand der Technik	27
4.2.2.1. <i>Normen und Nachweisverfahren</i>	27
4.2.2.2. <i>Passive Maßnahmen</i>	29
4.2.2.3. <i>Flächenkühlsysteme</i>	30
4.2.3. Methodik	30
4.2.3.1. <i>Simulationsmodell</i>	30
4.2.3.2. <i>Klimarandbedingungen</i>	31
4.2.3.3. <i>Parametervariation und Priorisierung</i>	37
4.2.3.4. <i>Kaskadierung passiver Maßnahmen</i>	40
4.2.3.5. <i>Entwicklung einer Bewertungsmethodik</i>	43
4.2.3.6. <i>Gegenüberstellung der Bewertungsmethodik mit gängigen Nachweisverfahren</i>	46
4.2.4. Innovationsgehalt	48
4.2.4.1. <i>Differenzierung von Raumnutzungen</i>	48
4.2.4.2. <i>Betrachtung Kurzzeit- und Gesamtperiode</i>	48
4.2.4.3. <i>Bewertungskriterien für den Kühlfall</i>	49
4.2.4.4. <i>Ergebnisdarstellung mit kaskadierender Maßnahmenbewertung</i>	49
4.3. Einzonenmodell	50
4.3.1. Modellraum.....	50

4.3.2.	Nutzungsprofile und Wärmeeinträge.....	51
4.3.2.1.	<i>Wohnküche</i>	57
4.3.2.2.	<i>Schlafzimmer</i>	57
4.3.2.3.	<i>Kinderzimmer</i>	58
4.3.3.	Lüftungsprofile	58
4.3.4.	Profil zur Aktivierung von Sonnenschutzvorrichtungen	62
4.3.5.	Ergebnisse.....	65
4.3.5.1.	<i>Vergleich Parametervarianten</i>	65
4.3.5.2.	<i>Vergleich der Basisvarianten</i>	67
4.4.	Technologienvergleich marktüblicher Kühltechnologien	85
4.4.0.	Kühlbedarf in Wohngebäuden.....	85
4.4.1.	Kühltechnologien für Wohngebäude	85
4.4.1.1.	<i>Passive Kühlung</i>	85
4.4.1.2.	<i>Kompressionskältemaschinen</i>	86
4.4.1.3.	<i>Absorptionskältemaschinen</i>	87
4.4.1.4.	<i>Adsorptionskältemaschinen</i>	87
4.4.1.5.	<i>Solare Kühlung</i>	88
4.4.1.6.	<i>Fernkälte</i>	88
4.4.2.	Bewertung ausgewählter Kühltechnologien	89
4.4.2.1.	<i>Kompressionskältemaschinen</i>	96
4.4.2.2.	<i>Fernkälte</i>	101
5.	METHODIK MEHRZONENMODELL (UWK).....	102
5.1.	Thermisch dynamische Gebäudesimulation.....	102
5.1.1.	Klimarandbedingungen Salzburg und St. Pölten	103
5.1.2.	Sommerlicher Wärmeschutz	105
5.1.3.	Bewertung der Sommertauglichkeit nach adaptivem Komfortmodell	106
5.1.4.	Gegenüberstellung ÖNORM B 8110-3 und ÖNORM EN 16798-1	109
5.1.5.	Festlegung der Auswertungskennzahlen	109
5.2.	Projektergebnisse Mehrzonen Wohnungsmodell (UWK).....	110
5.2.1.	Simulationsrandbedingungen und Nutzungsprofile.....	112
5.2.1.1.	<i>Lüftungsprofile</i>	112
5.2.1.2.	<i>Sonnenschutzprofile</i>	113
5.2.1.3.	<i>Verschattungsregelungen</i>	115
5.2.2.	Variantensimulation Mehrzonenmodell und Auswertung	115
5.2.2.1.	<i>Einfluss des Standorts</i>	117
5.2.2.2.	<i>Einfluss des Fensterflächenanteils</i>	118
5.2.2.3.	<i>Einfluss der Bauschwere</i>	119
5.2.2.4.	<i>Potential der Nachtlüftung (Kippstellung vs. Fenster ganz geöffnet)</i>	120
5.2.2.5.	<i>Lage und Art der Steuerung der Verschattungseinrichtungen</i>	121
5.2.2.6.	<i>Potentialvergleich zwischen automatisierter Verschattung und Nachtlüftung bei unterschiedlichen Fenstergrößen</i>	122
5.2.2.7.	<i>Einfluss von Raumnutzungsprofilen</i>	124
5.2.2.8.	<i>Kaskadierung passiver Maßnahmen zur Gebäudekühlung</i>	126
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT (ALLE).....	128

TABELLENVERZEICHNIS	130
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	131
LITERATURVERZEICHNIS.....	137
ANHANG.....	138

HINWEIS: Die vom jeweiligen Projektpartner erstellten Kapitel werden mit dem jeweiligen Kürzel markiert

- Ecoplus Bau Energie.Umweltcluster Niederösterreich (ECO)
- Fachhochschule Salzburg (FHS)
- Universität für Weiterbildung Krems (UWK)
- Zukunftsagentur Bau GmbH (ZAB)

Kurzfassung

Das Projekt und dessen Ergebnisse wurden in einer eigenen 16-seitigen Broschüre kurz zusammengefasst. Diese Kurzfassung kann auf der Homepage der Zukunftsagentur Bau GmbH heruntergeladen bzw. bei der Zukunftsagentur Bau GmbH auch bestellt werden.

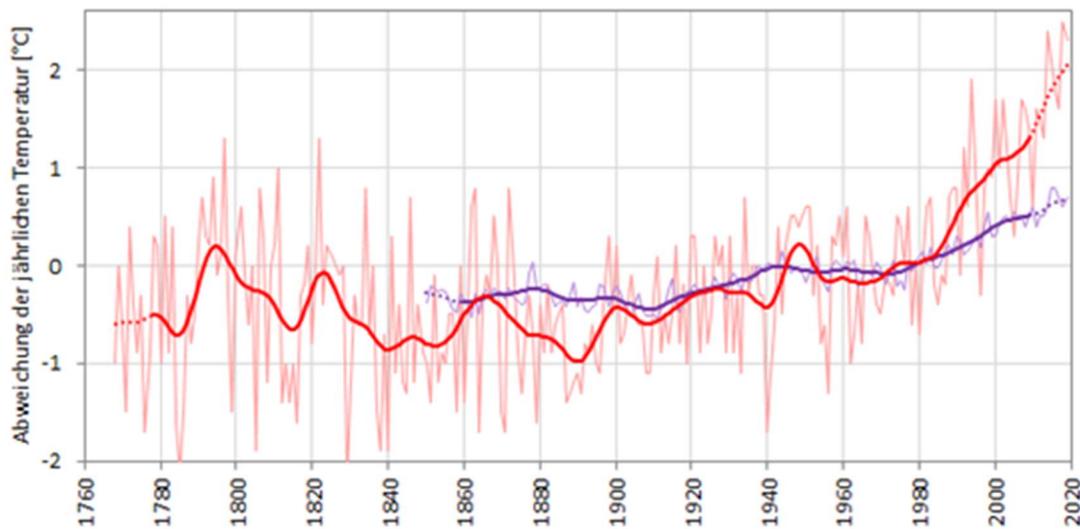
Link: <https://tinyurl.com/ylwj2lly>



1. Ausgangslage und Projektmotivation (ZAB)

1.1. Klimawandel und die damit verbundenen Herausforderungen

Die unterschiedlichsten Klimastudien haben in ihren letzten Prognosen gravierende klimatische Veränderungen für den Alpenraum prognostiziert. Einerseits wird es zu noch stärkeren Extremwetter-Ereignissen kommen, wie z.B. Temperaturschwankungen von 20 Grad und mehr innerhalb von zwei Tagen, andererseits geht die Forschung davon aus, dass die Täler im Alpenraum über der durchschnittlichen globalen Temperaturerhöhung liegen werden (ZAMG - <https://www.zamg.ac.at/histalp/index.php>). In den urbanen Bereichen wird es aufgrund des hohen Versiegelungs- und Verdichtungsgrades, lokal zu noch wärmeren urbanen Hitzeinseln kommen womit auch die Nachtabkühlung zunehmend geringer wird. Damit muss sich einerseits der Blick vom Gebäude mindestens auf das Quartier erweitern und andererseits das klimagerechte Planen und Bauen auch in gemäßigten Klimazonen stärker dem Kühlungsfall und dem damit verbundenem Energieaufwand widmen.



Entwicklung der mittleren Jahrestemperaturen weltweit (violett) und in Österreich (rot).

© ZAMG (2020), URL: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> [04.06.2021]

Bereits bei heutigen nicht klimasensitiv geplanten Gebäuden können je nach Rahmenbedingungen die Kühllasten oftmals die vorhandenen Heizlasten um einiges übersteigen. In der Analogie zur Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte bezogen auf den Heizfall, geht es auch hier zum einen um die Reduzierung des Kühlbedarfs und zum anderen um eine energieeffiziente und nachhaltige Bereitstellung des notwendigen Kühlbedarfs.

Dem daraus zu erwartenden Anstieg des Kühlenergiebedarfs in Wohngebäuden ist vorrangig mit einer klimagerechten Architektur zu begegnen. Die verbleibenden Kühllasten sind damit so weit zu reduzieren, dass sie mit klimaneutralen Kühlstrategien gedeckt werden können.

Die Wichtigkeit dieses Themas ist in Österreich allerdings sowohl im Bewusstsein der Planungsschaffenden als auch in Normen und Bautechnikverordnungen derzeit noch unterrepräsentiert. Das führt dazu, dass die Planungen nicht an die (zukünftigen) Klimaveränderungen angepasst werden und Gebäude zunehmend von einer sommerlichen Überwärmung betroffen sind.

Österreich hat sich gemeinsam mit den anderen Ländern der Europäischen Union klar für die Einhaltung der Paris Ziele ausgesprochen und entsprechende Zielsetzungen vereinbart.

Auch die Bundesländer haben eigene Klima- und Energiestrategien entwickelt, die nun durch konkrete Maßnahmen umgesetzt werden müssen.

Salzburg hat sich bis 2050 das Ziel gesetzt vollständig klimaneutral, energieautonom und nachhaltig zu agieren.

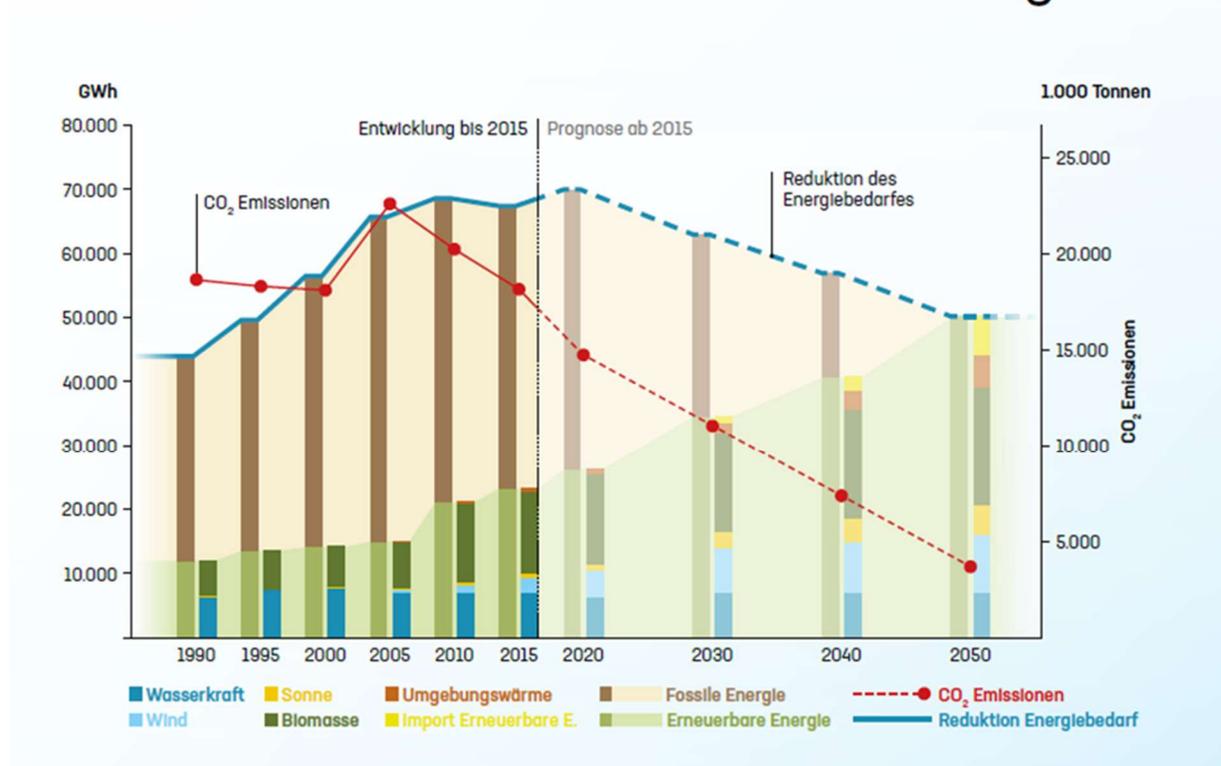


Diese Zielsetzungen verstehen sich bilanziell pro Jahr. Das Bezugsjahr für die Treibhausgasreduktion ist 2005 und entspricht dem Bezugsjahr der EU-2020-Vorgaben. Erneuerbare Energieträger sind wie in der Energieträgerklassifikation der Energiebilanzen (Statistik Austria) nach den EU-Vorgaben definiert. Die Treibhausgase entsprechen jenen der Zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls.

Auch im Niederösterreichischen Klima- und Energieprogramm 2020 sind im Rahmen der Maßnahmen für den Gebäudebereich, eigene Instrumente für zukunftsfähige Neubauten angegeben. Beispielsweise wird zum Thema Kühlen ab 2020 für neu errichtete Nichtwohngebäude die Ausstattung mit Anlagen gefordert, die den für einen außeninduzierten Kühlbedarf nötigen Energiebedarf zur Gänze aus erneuerbaren Quellen abdecken können.

Unser NÖ Zukunftsbild 2050

Effizienz - Ausbau - Dekarbonisierung



Aus NÖ KEP 2030

1.2. Nachweisverfahren

Gemäß OIB Richtlinie 6 gilt der sommerliche Wärmeschutz als eingehalten, wenn der standortabhängige Grenzwert der operativen Raumtemperatur gemäß Berechnung nach ÖNORM B 8110-3 eingehalten wird oder wenn für die kritische Nutzungseinheit kein außeninduzierter Kühlbedarf nach ÖNORM B 8110-6 vorhanden ist. Beide Nachweisverfahren müssen kritisch bewertet werden.

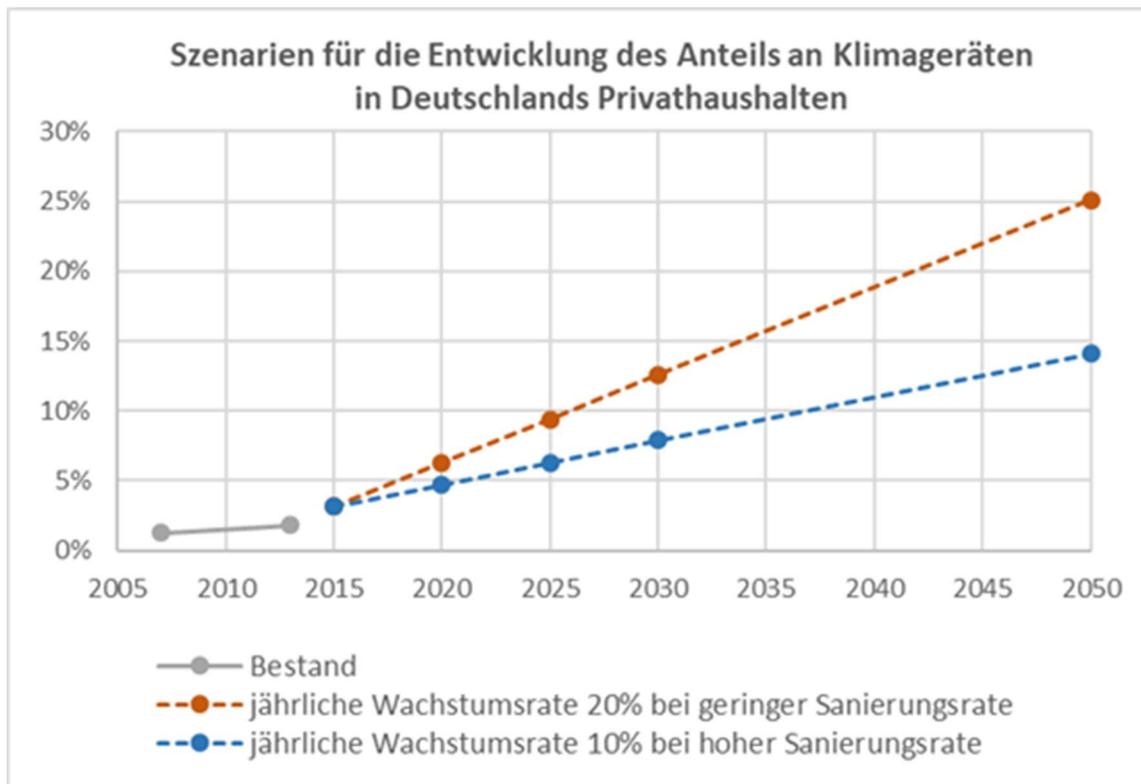
Die Vermeidung des außeninduzierten Kühlbedarfs ist mit hochwertigen Verschattungsvorrichtungen zwar möglich, die Nutzung eben dieses Sonnenschutzes wird durch den Nachweis jedenfalls nicht sichergestellt. Zudem bleiben passive Kühlmaßnahmen wie Nachtlüftung bei dieser vereinfachten Berechnung unberücksichtigt.

Speicherwirksame Massen können jedoch nur dann effektiv zur Kühlung genutzt werden, wenn ein ausreichend kühler Luftstrom in ausreichendem Maße für die Abfuhr, der über den Tag eingebrachten Wärmeenergie sorgt. Damit diese Luft ausreichend kühl ist, spielt auch das vorherrschende Mikroklima eine entscheidende Rolle (z.B. Problematik von Urban Heat Islands). In der Norm werden die temperaturinduzierten Luftvolumenströme über offene Fenster jedoch nur pauschal über die Einbausituationen mit vereinfachten Lösungsansätzen berechnet. Auch erlaubt der Nachweis nach ÖNORM B 8110-3 die Wahl von Fensteröffnungsszenarien, deren Umsetzbarkeit aber sichergestellt werden muss (z.B. Witterungs- und Einbruchsschutz).

Zudem werden im normativen Nachweisverfahren Fensteröffnungsszenarien angenommen, die zwar rein theoretisch möglich sind (Fenster ist nachts offenbar), in der Realität aufgrund von Witterungs- und Einbruchsschutz so aber gegebenenfalls nur eingeschränkt umgesetzt werden können.

Zudem liegen den normativen Nachweisen Klimadaten der Vergangenheit zugrunde. In Anbetracht der prognostizierten klimatischen Veränderung in Richtung Temperaturanstieg kann ein klimaresilientes Gebäude jedenfalls nur mit vorausschauenden und nicht mit vergangenen Klimadaten zukunftsfähig geplant werden.

Wohngebäude werden mit steigender Tendenz im Nachhinein mit Klimageräten ausgestattet. Hierfür gibt es vielschichtige Gründe. Obwohl es eine große Bandbreite an geeigneten technischen Lösungen auch für eine nachträgliche Installation von Kühltechnologien gäbe, werden im Zuge dieser nachträglichen Ausstattungen oftmals sehr ineffiziente Anlagen, teilweise auch in Eigenregie, eingebaut. Zusätzlich zum hohen Energieverbrauch handelt es sich dabei zum größten Teil um Klima-Split Geräte, die mit Ihrer Abwärme das mikroklimatische Problem auch für alle anderen Anrainer nochmals verstärken.



Quelle: Kenkmann, T. et.al (2019): Entwicklung des Energiebedarfs für Wohngebäudeklimatisierung in Deutschland 2030/2050. Internationale Energiewirtschaftstagung TU Wien.

1.3. Forschungsansatz

Wenn der Betrieb von Wohngebäuden im Jahr 2040 klimaneutral und gleichzeitig auch leistbar sein soll, dann muss sich die Baubranche auch in heutigen gemäßigten Klimazonen bereits jetzt verstärkt dem Kühlungsfall widmen.

Aufgrund ihrer langen Nutzungsdauer müssen Gebäude besonders anpassungs- und zukunftsfähig konzipiert werden, womit eine klimaresiliente Planung unter Berücksichtigung valider Klimaprognosen unabdingbar ist.

Das Potential einer derart klimasensitiven Architektur wird im vorliegenden Projekt für Wohngebäude aufgezeigt und mit Beispielen hinterlegt. Der Fokus des Projektes liegt im Bereich der Geschößwohnbauten wobei für die Untersuchungen am Mehrzonenmodell ein realer Wohnungsgrundriss herangezogen wurde.

In diesem Projekt wird untersucht, ob unter Verwendung passiver Kühlmaßnahmen (z.B. Nachtlüftung, Beschattung, etc.) hinreichend behagliche Zustände im Innenraum erreicht werden. Erst wenn die architektonischen und passiven Maßnahmen nicht ausreichen, sollte unter Verwendung energieeffizienter Technologien und der Nutzung von natürlichen Kältesenken aktiv gekühlt werden.

Die Beurteilung erfolgt anhand umfassender thermodynamischer Gebäudesimulationen. Grundlage für die Berechnung stellt eine Status-Quo Erhebung unterschiedlicher vorhandener als auch in Entwicklung befindlicher Lösungsansätze dar.

Auf Basis der Berechnungsergebnisse wird schlussendlich ein Werkzeug für die Planung als auch zur Bewusstseinsbildung und Sensibilisierung entwickelt. Die zu entwickelnde Planungsgrundlage zeigt das Potential geeigneter Kühlstrategien auf und bewertet deren Wirksamkeit und Nachhaltigkeit im Hinblick auf zukünftige Klimaszenarien an unterschiedlichen Standorten.

Das Projekt leistet einen wesentlichen Beitrag zur zukunftsfähigen Gebäudeplanung (Neubau und Bestandssanierung) und soll Unternehmen, Planungsschaffende sowie den öffentlichen Bereich auf die durch den Klimawandel verursachten Veränderungen im Wohnungsbau vorbereiten.

Internationaler Kontext

Der im Sommer 2019 gestartete internationale IEA Annex 80 (resiliente Gebäudekühlung) widmet sich im Subtask A diesem Thema indem Vorteile, Grenzen und Leistungsindikatoren von belastbaren Kühllösungen aufgezeigt werden. Um die Belastbarkeit von Kühlsystemen mit einem ganzheitlichen Ansatz zu bewerten, sollen dabei wichtige Leistungsindikatoren entwickelt werden die sowohl ökonomische, technische und ökologische als auch soziale Aspekte berücksichtigen.

Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes werden dem Annex 80 zur Verfügung gestellt und leisten einen Beitrag zum Subtask A indem eine systematische Bewertung von resilienten passiven und aktiven Maßnahmen unter einer Vielzahl von Anwendungsszenarien und Rahmenbedingungen im Bereich des Wohnbaus für das alpine und mitteleuropäische Klima erstellt wird. Zu diesem Zweck werden auch Szenarien zu unterschiedlichen Klimaverhältnissen in Österreich in NÖ (Voralpenklima) und Salzburg (alpines Klima) überprüft.

2. Zielsetzung des Projekts und Inhalt des Endberichtes (ALLE)

Die Feststellung der drei letzten Jahrzehnte, dass immer mehr überdurchschnittliche Jahre auftreten, die auch bereits jetzt zu einer signifikanten Erhöhung des Gebäude-Kühlbedarfs führen, ergibt eine Reihe von grundlegenden Themenfeldern, die im vorliegenden Forschungsprojekt behandelt werden.

Klima und Standort

Die verschiedenen Klimaszenarien lassen eine deutliche Zunahme der Kühlgradtage und damit eine Verschiebung der Strom-Spitzenlasten in den Sommer erwarten. Dabei ist die Definition noch notwendig, auf welche Sommerklimaszenarien die kühltechnischen Maßnahmen ausgelegt werden sollen, welche Grenzbereiche bzw. Bezugsgrößen für die Bewertung der jeweiligen Kühlstrategien existieren und herangezogen werden sollen, sowie welche Emissionen diese verursachen.

Wohngebäude und Technologien

Das Projekt hat die aktuell verfügbaren energieeffizienten und nachhaltigen Technologien zur passiven bzw. aktiven Kühlung in Wohnbauten erhoben und deren Potential zu unterschiedlichen Parametern zu bewerten und bei Neubauten existierende Grenzbereiche der möglichen Kühlstrategien abzuschätzen.

Simulation von Maßnahmen

Das Projekt erarbeitet Grundlagen zur Bewertung der oben angeführten Themenfelder bzw. zur weiteren Optimierung von zukünftig notwendigen Kühlmaßnahmen bei Wohngebäuden.

Dabei war es auch Ziel des geplanten Projektes eine Entscheidungshilfe zu entwickeln, die darlegt, welche Maßnahmen unter welchen Rahmenbedingungen geeignet erscheinen. Das Projektergebnis stellt dabei eine Arbeitshilfe sowohl für öffentliche Stellen als auch für Vertreter der Bauwirtschaft dar. Im vorliegenden Projekt werden aktuelle Klimabedingungen (bis 2019) jenen prognostizierten für das Jahr 2050 an den Standorten St. Pölten und Salzburg gegenübergestellt und deren Einfluss auf die Maßnahmen in Simulationsberechnung ermittelt.

Hierbei kamen unterschiedliche Ansätze für Simulationsmodelle zur Anwendung: ein Einzonenmodell, das einen beispielhaften Wohnraum ohne Wechselwirkung mit anderen Räumlichkeiten abbildet, sowie ein Mehrzonenmodell, welches eine beispielhafte Wohnung mit mehreren Räumen darstellt.

Das Projekt wurde von 4 Organisationen abgewickelt:

- **Ecoplus** Bau Energie.Umweltcluster Niederösterreich (**ECO**) war für die Durchführung der Experteninterviews und der Stakeholder-Aktivitäten in Niederösterreich und Wien verantwortlich. Weiters wurde auch die Öffentlichkeitsarbeit zum Projekt übernommen.
- Die **Fachhochschule Salzburg (FHS)** entwickelte gemeinsam mit der Universität für Weiterbildung Krems die Rahmenbedingungen für die thermische Simulation und führte die Simulation am Einzonenmodell durch. Weiters wurde von ihr das Beurteilungsmodell sowie der Technologievergleich und die Bewertung der Kühltechnologien federführend erarbeitet.
- Die **Universität für Weiterbildung Krems (UWK)** führte neben der Entwicklung der Rahmenbedingungen für die thermische Simulation, auch die Entwicklung eines Mehrzonenmodells durch und erstellte die Simulationen an diesem Modell. Weiters unterstützte sie bei den Stakeholder Aktivitäten
- Die **Zukunftsagentur Bau GmbH (ZAB)** war für die Koordination des Projektablaufs und für die Durchführung der Experteninterviews sowie der Stakeholder-Aktivitäten in Salzburg zuständig. Weiters betreute sie auch die Öffentlichkeitsarbeit zum Projekt.

HINWEIS: Die vom jeweiligen Projektpartner erstellten Kapitel werden mit dem jeweiligen Kürzel markiert

3. Einbindung von Stakeholdern zur Vorbereitung des Simulationsdesigns (ZAB)

3.1. Expert:innen Interviews

Um das aktuelle Stimmungsbild in der Baubranche rund um das Thema sommerliche Überhitzung und Kühlung zu erheben, wurden eine Reihe von Interviews mit Expert:innen durchgeführt. Sie gaben Inputs zu den größten Herausforderungen klimaresilienter Planung, Potenziale aktiver Kühlsysteme sowie Hemmnisse bei der Umsetzung nachhaltiger Technologien.

Die Ergebnisse unterstützten einerseits die Wahl der zu treffender Randbedingungen der Simulation (Maßnahmen am Gebäude...) hinsichtlich der Möglichkeiten in Geschosswohnbauten, andererseits waren beispielsweise die (zukünftigen) Kühlgrenzbedingungen auszuloten, ab derer einzelne Zonen bzw. das gesamte Gebäude gekühlt werden müssen und weiters sollten generelle Erfahrungen gesammelt werden.

Insgesamt wurden 35 Fachleute aus Unternehmen in mehreren Bundesländern (14 aus Salzburg, 21 aus Wien/Niederösterreich) befragt. Dabei repräsentierten die Befragten folgende Leistungsbereiche aus der Bauwirtschaft:

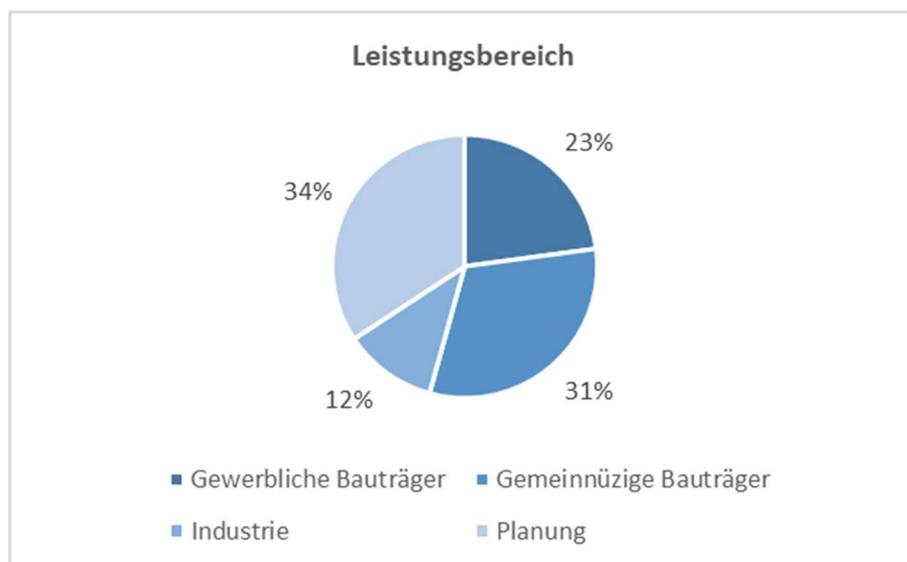


Abbildung 1: Leistungsbereiche der befragten Personen

Zu den unterschiedlichen Fragebereichen wurden folgende wesentliche Punkte angeführt.

Fragenbereich - Klimawandel

Bei der Frage, ob das Thema Kühlung im Wohnbau zukünftig einen höheren Stellenwert haben wird, waren sich die Befragten einig: Die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung begleitet bereits heute jedes Bauprojekt und wird in Zukunft noch wichtiger werden.

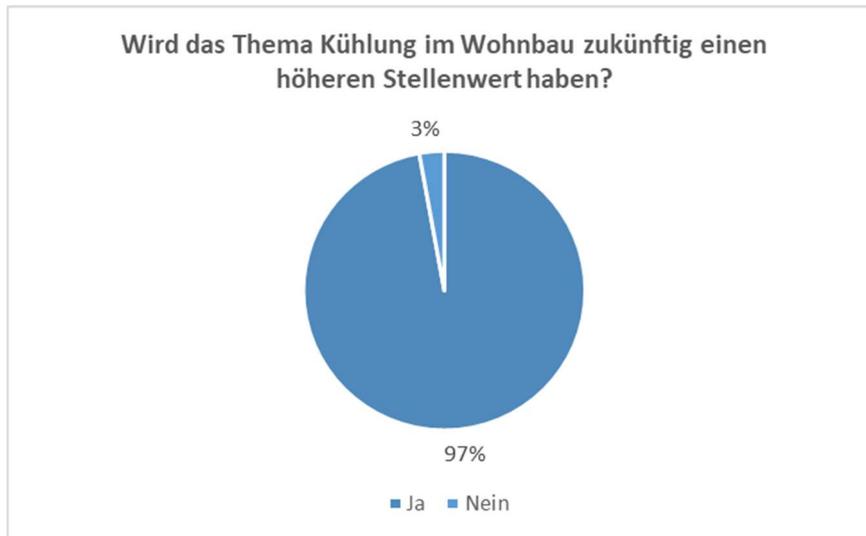


Abbildung 2: Fragenbereich - Klimawandel

Fragenbereich - Klimaresiliente Planung

Die Expert:innen wurden ebenfalls zur Integration von Kühltechnologien in der zukünftigen Planung befragt. Dabei gibt es klare Unterschiede: Im Osten, vor allem im Großraum Wien, werden Projekte vermehrt mit aktiver Kühlung umgesetzt und gefördert. In Salzburg ist das mehrheitlich noch kein Thema, wobei es im höherpreisigen Segment und in exponierten Lagen (z.B. Penthouse) schon erwartet wird.

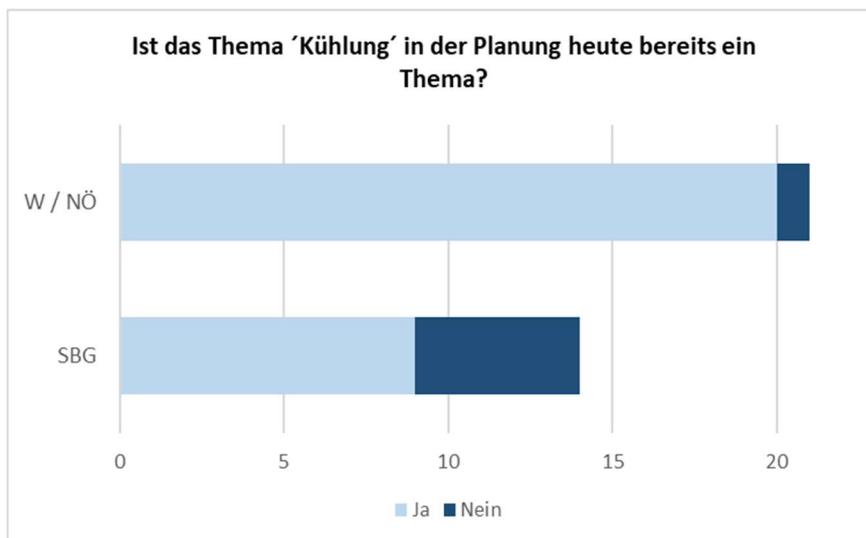


Abbildung 3: Fragenbereich - Klimaresiliente Planung

Fragenbereich - Passive Maßnahmen

Als wesentliche Stellschrauben zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung erachten die Fachleute vor allem Abschattungseinrichtungen, Balkone, Vordächer, Nachtlüftung und Speicherfähigkeit der Gebäudemasse. Aspekte wie die Fenstergröße und die Orientierung von Gebäuden spielen auch eine wesentliche Rolle.

Das Thema Nachtlüftung wird ebenfalls von den meisten Befragten als wichtiger Hebel gegen die sommerliche Überhitzung gesehen. Eine Nachtlüftung kann aber nur von den Bewohner:innen selbst beeinflusst werden und ist aufgrund von Schall- oder Einbruchschutz nicht immer möglich.

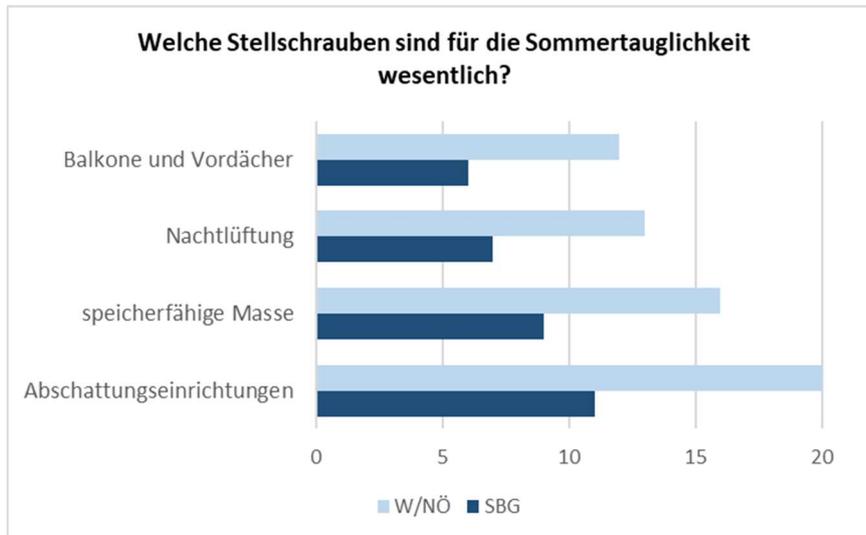


Abbildung 4: Fragenbereich - Passive Maßnahmen

Hemmnisse für die Umsetzung passiver Maßnahmen sehen Planer:innen und Bauträger vorrangig bei den erhöhten Kosten. Sonnenschutzeinrichtungen werden nicht überall in Österreich gefördert oder standardmäßig eingebaut.

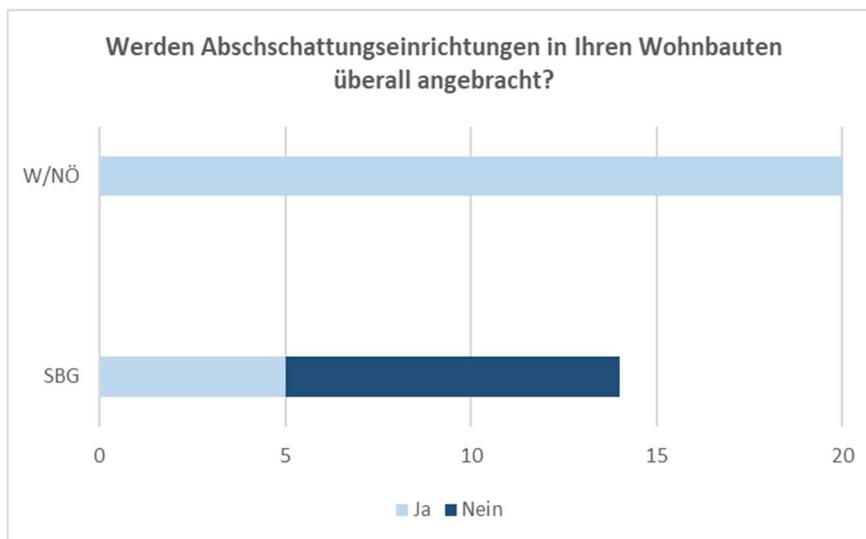


Abbildung 5: Fragenbereich - Passive Maßnahmen nach Bundesländern

Fragenbereich - Aktive Maßnahmen

In allen befragten Bundesländern werden Wohnungen bereits mit Klimageräten nachgerüstet, wobei auch hier ein Ost/West-Gefälle festzustellen ist. Im Hinblick auf Alternativen zu den herkömmlichen Klimageräten sind sich die ExpertInnen einig: es müssen Systeme sein, die vorwiegend mit erneuerbaren Energien arbeiten.

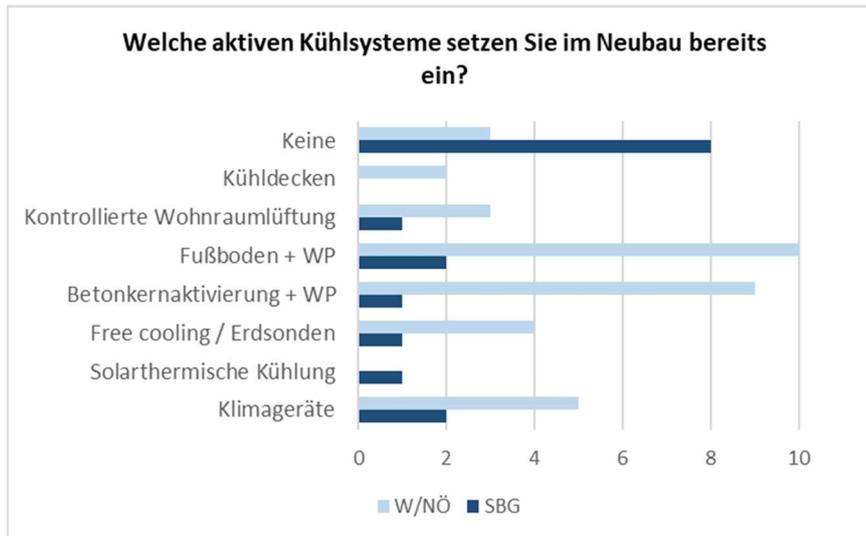


Abbildung 6: Fragenbereich - Aktive Maßnahmen

Fragenbereich - Potenzial aktiver Kühlsysteme

Das größte Potenzial im Zusammenhang mit Kühlmaßnahmen sehen die Befragten hier in der Betonkernaktivierung mit Wärmepumpe, gefolgt von Fußbodenkühlung mit Wärmepumpe. Das besonders energieeffiziente Free cooling wird speziell im Osten mit hohem Potential gesehen.

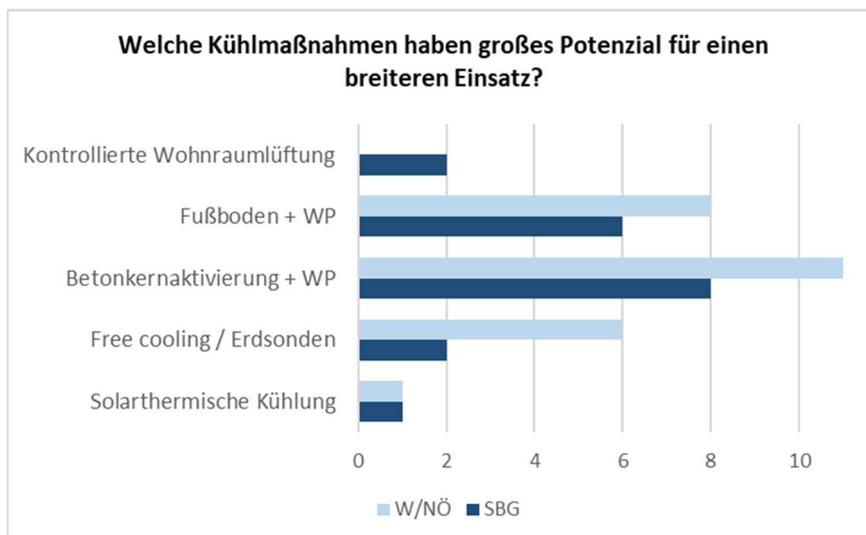


Abbildung 7: Fragenbereich - Potenzial aktiver Kühlsysteme

Fragenbereich – Kühlgrenzbedingungen

Die überwiegende Meinung der Befragten lag hier bei 26 Grad und darüber.

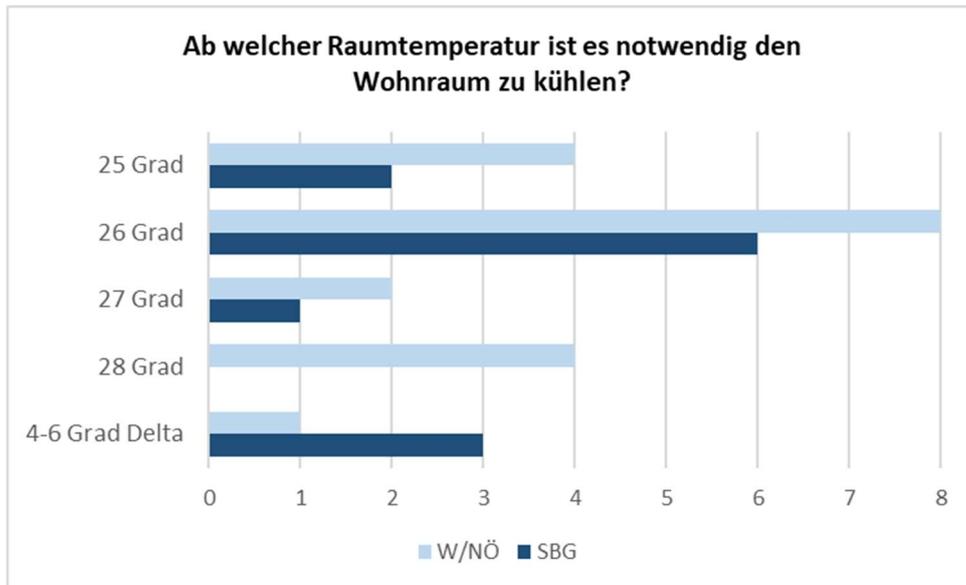


Abbildung 8: Fragenbereich – Kühlgrenzbedingungen (Anm: 4-6 Grad Delta bedeutet 4-6 Grad Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur)

Fragenbereich – Bewertung

Einerseits haben die Umweltauswirkungen und die Energieeffizienz eine hohe Relevanz. Aber auch der kostengünstige Betrieb von passiven bzw. aktiven Kühlmaßnahmen, sowie die Lebensdauer und die geringe Wartungsnotwendigkeit haben für die Befragten eine Bedeutung.

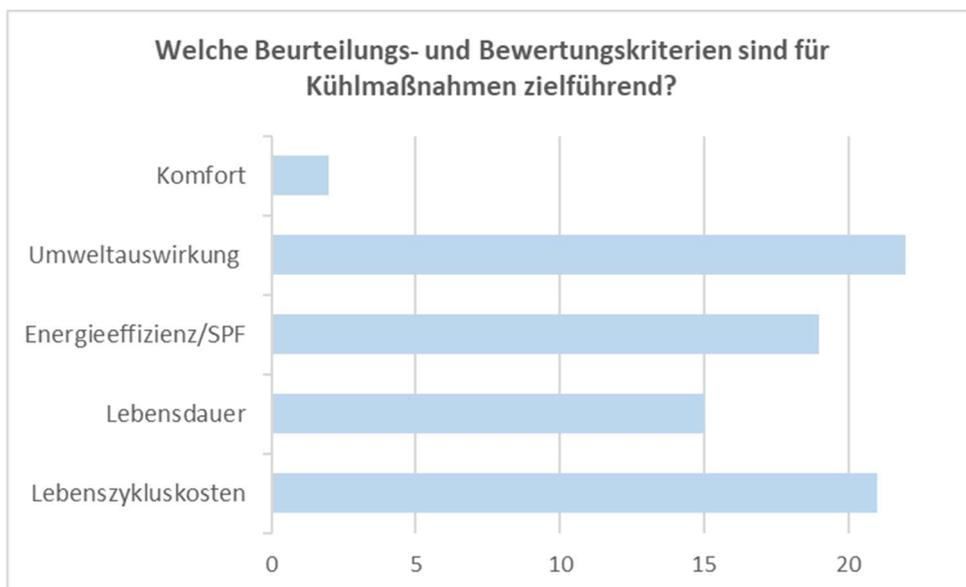


Abbildung 9: Fragenbereich – Bewertung (Anm.: SFP = Seasonal Performance Factor (Jahresarbeitszahl))

Fragenbereich - Feedback Nutzer:innen

Die Befragten sprechen bei diesem Bereich auch die Schwierigkeiten bei einer Nachrüstung von außenliegenden Verschattungsmaßnahmen, sowie dem Einbau von Klimaanlage an.

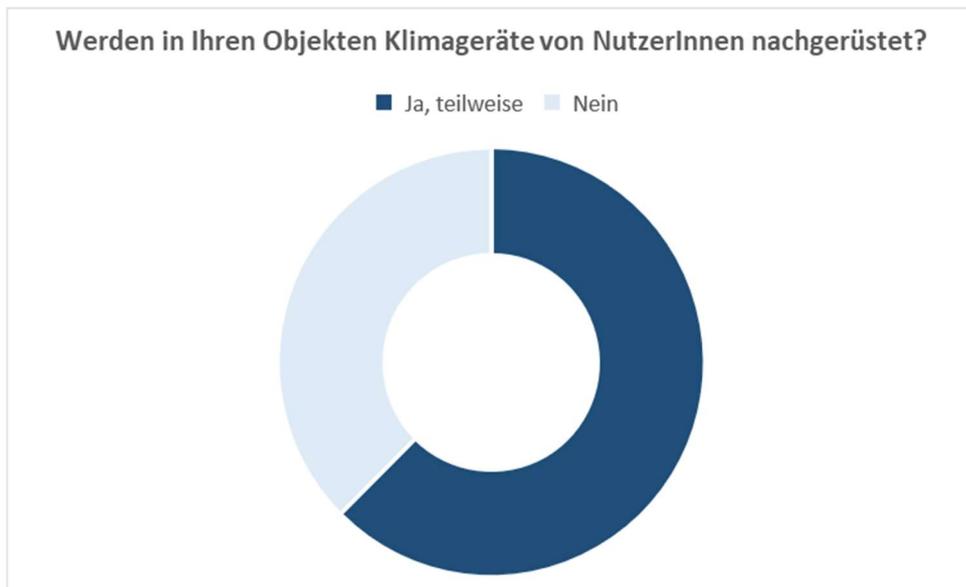


Abbildung 10: Fragenbereich – Feedback Nutzer:innen

Fragenbereich – Hemmnisse

Beim Einbau von passiven Maßnahmen werden hauptsächlich die Kosten als Hemmnis angegeben.

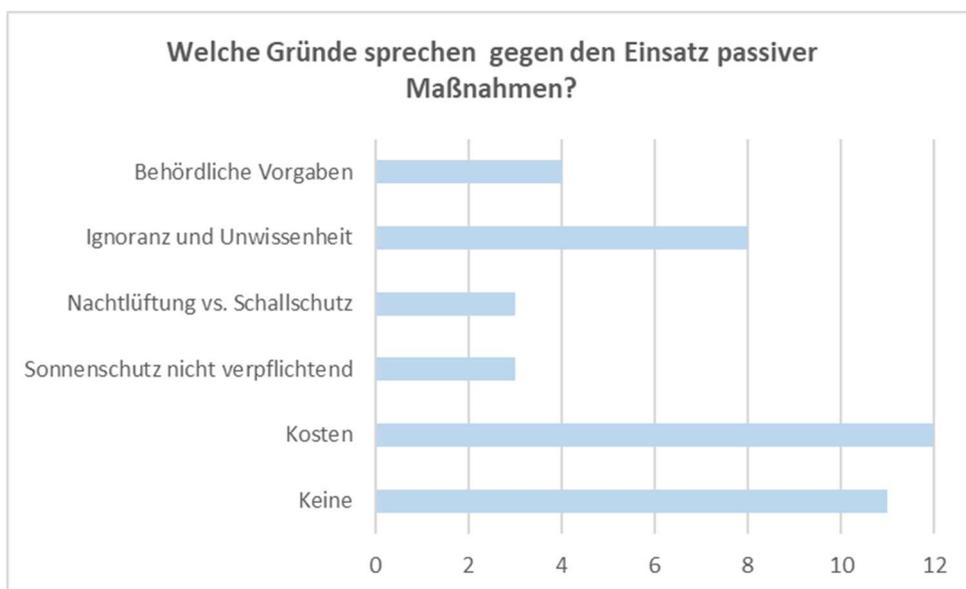


Abbildung 11: Fragenbereich – Hemmnisse

Fragenbereich - Gesetzgebung/Förderung

Die Befragung zeigte auch, dass die Förderung von Systemen mit erneuerbaren Energien eine große Rolle spielt.

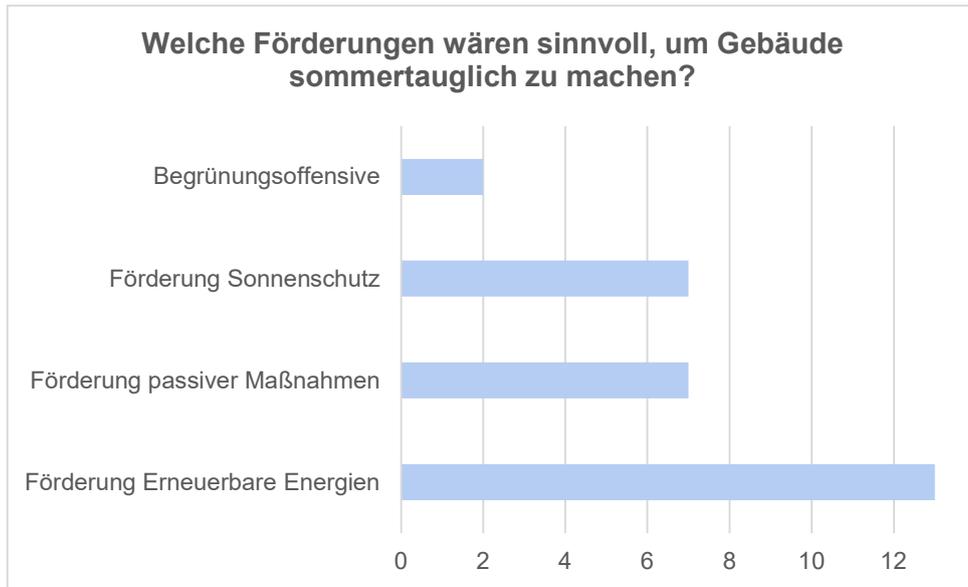


Abbildung 12: Fragenbereich – Gesetzgebung/Förderung

Fragenbereich - Trends/Marktpotenzial

Der überwiegende Anteil sieht in Kühlmaßnahmen eine Wertsteigerung der Immobilie, auch hier wieder mit einem Ost/West Gefälle. Speziell im „Premiumsegment“ sehen viele Befragte bei Fehlen von Maßnahmen Schwierigkeiten beim Verkauf.

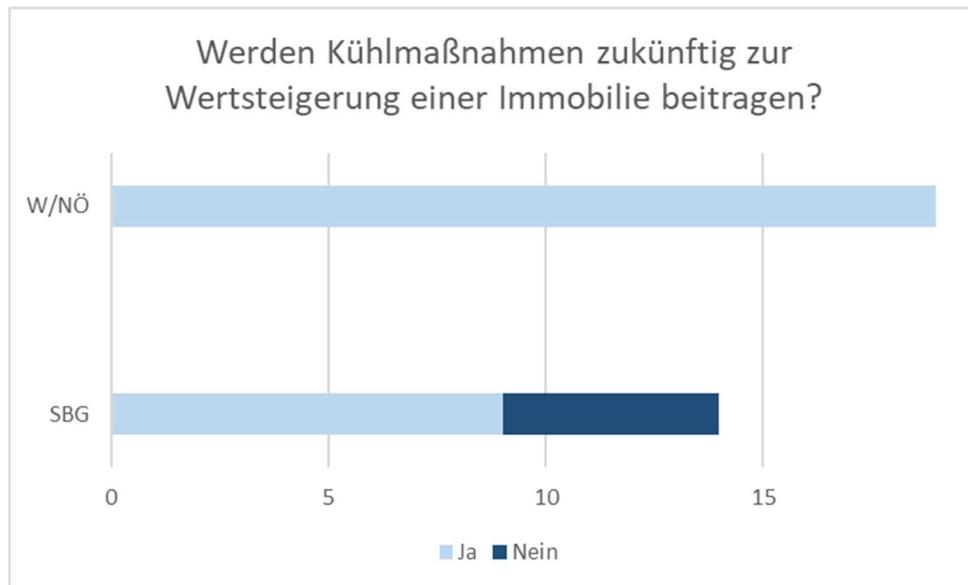


Abbildung 13: Fragenbereich – Trends/Marktpotenzial

Fragenbereich – Forschung

Bezüglich Forschung und Entwicklung herrscht die überwiegende Meinung, dass die notwendigen Technologien vorhanden sind. Wichtig ist die Anwendung bzw. kombinierte Ausführung, die anhand von Beispielprojekten ihre Funktion und Zweckmäßigkeit demonstrieren. Grundregel soll gelten, zuerst passiv optimieren, dann erst aktiv kühlen und dort erneuerbar.

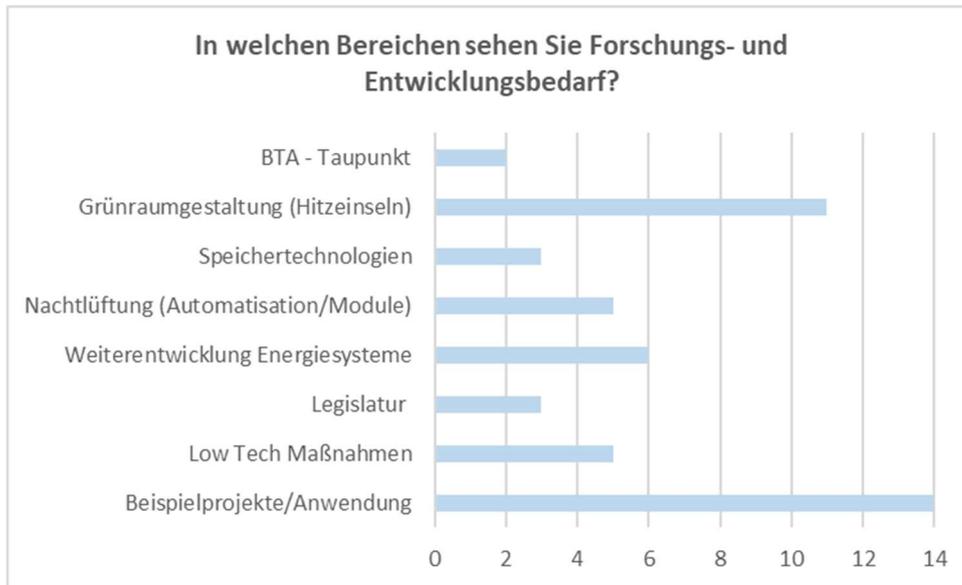


Abbildung 14: Fragenbereich – Forschung

3.2. Bauträgerworkshops

Neben der umfangreichen Befragung der Experten-Stakeholdergruppe wurden pandemiebedingt 2 Onlineworkshops mit Vertretern der Bauträger aus den Bundesländern Salzburg, Niederösterreich und Wien veranstaltet.

3.2.1. Online-Workshop – „Sommertauglichkeit – Wohngebäude zukunftsfähig machen“ am 24.03.2022

Rd. 18 Teilnehmer:innen konnte im ersten Teil der Veranstaltung im Rahmen von interessanten themenbezogenen Experten-Vorträgen neueste Informationen erfahren:

- Planung und Betrieb von energieeffizienten Heiz- und Kühlsystemen, passive Kühlmaßnahmen - DI Dr. Peter Holzer (Institute of Building Research & Innovation)
- Best-practice Beispiel: Viertel hoch 2 (Erkenntnisse aus Umsetzung und Wohnbauforschung) - Dipl.-Ing. Gerald Batelka (Wien Süd), Dr. Wolfgang Amann (Institut für Immobilien Bauen und Wohnen)

Im Anschluss der Referate bestand die Möglichkeit zur Diskussion.

Im zweiten Teil der Veranstaltung wurde den Teilnehmer:innen von den Projektpartnern die Ergebnisse der Cool*Buildings - Experten Interviews vorgestellt und Information zu den ersten Überlegungen der Gebäudesimulationen im Projekt Cool*Buildings gegeben.

Dies diente zur Vorbereitung der anschließend geplanten Kleingruppenarbeit (4-5 Personen) in Break out Sessions, in denen unterschiedliche Themenfelder zur Diskussion standen. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe eines Online – Whiteboards für die weitere Projektarbeit gesammelt.

- Themenfeld – Nutzer:innenverhalten:

In dieser Arbeitsgruppe wurden im Wesentlichen die Erfahrungen der Anwesenden zum Lüftungsverhalten der Nutzer:innen und den notwendigen Informationen bzw. Einrichtungen dazu abgefragt und diskutiert. Die Ergebnisse daraus sind in die Simulationen eingeflossen.

Themenfeld 1 – Nutzer / Betreiber - konkrete Fragen:

Frage 1: Welches Lüftungsverhalten kann erwartet werden bzw. wie lüften die Nutzer*innen ihre Wohnung? welche Lösungen werden angenommen?

- Öffnen der Fenster mehrmals täglich / gelegentlich / nie / morgens / abends?
- Stoßlüften / gekippte Fenster?
- Akzeptanz für automatische Fensteröffnung?

Frage 2: Nutzungsprofile – Sozialer Wohnbau vs. Komfortwohnung?

- Welche Wohngewohnheiten haben Nutzer*innen im sozialen Wohnbau und solche in gehobenen Wohnstandards?
- Sind (soziale) Nutzungsprofile für die Integration spezifischer Kühlmaßnahmen in der Planung von Bedeutung? (auch für Simulationsberechnungen?)



Abbildung 15: - Themenfeld – Nutzer:innenverhalten – Ergebnisse am Whiteboard

- Themenfeld – Passive Maßnahmen

In dieser Arbeitsgruppe wurde die Bedeutung von passiven Maßnahmen diskutiert. Neben wichtigen architektonischen Planungsanforderungen wurde besonders die Anforderung von geringer Technikeinsatz bei passiven Maßnahmen herausgestrichen. Weiters wurde von den Teilnehmer:innen auch die Einschätzungen der Wirksamkeit und der Finanzierbarkeit diskutiert.

Speziell für die Simulation lag das Interesse an einer vergleichenden und schrittweisen Untersuchung der unterschiedlichen Maßnahmen.

Passive Maßnahmen

Welche Maßnahmen sehen Sie, unter Berücksichtigung des sommerlichen Wärmekomforts, am geeignetsten, um im (urbanen) sozialen Wohnbau umgesetzt zu werden? Welche setzen Sie um/welche nicht und was sind die Gründe dafür?

Aspekte dazu:

- **Wirksamkeit**
- **Beeinflussbarkeit**
- **Finanzierbarkeit**

Ziel:

Inputs für Planungsleitfaden/Flussdiagramm
Priorisierung/Auswahl für die Simulation

Passive Massnahmen



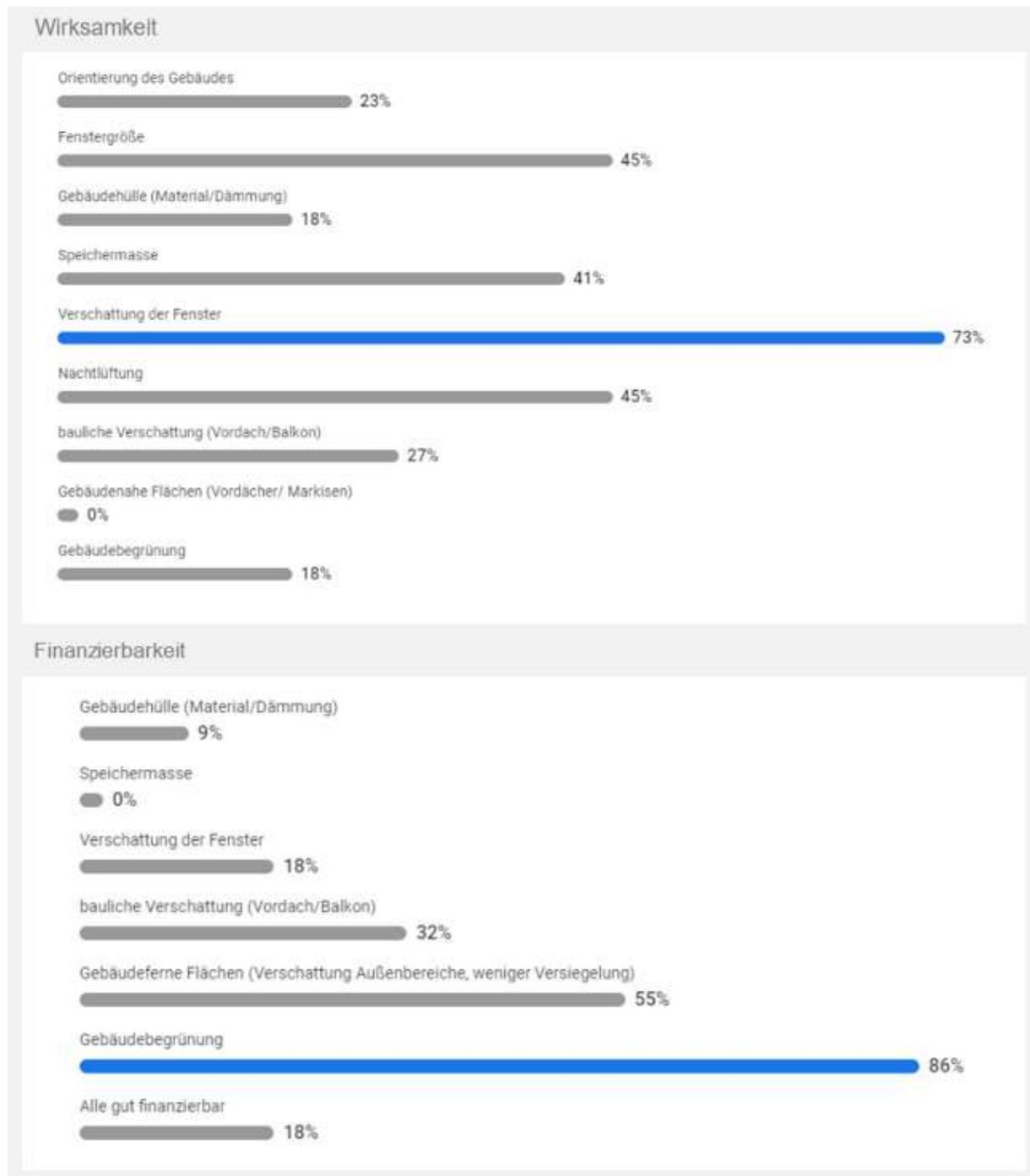


Abbildung 16: - Themenfeld – Passive Maßnahmen – Ergebnisse am Whiteboard

- Themenbereich – Aktive Maßnahmen

In dieser Arbeitsgruppe wurden die Erfahrungen zu den unterschiedlichen aktiven Kühlmaßnahmen und deren Anwendung, sowie Probleme diskutiert und deren jeweilige Wirksamkeit und Finanzierbarkeit abgeschätzt.

Für die geplante Simulation wurde in diesem Fall auch der zeitliche Verlauf der Außentemperaturen, als wichtiger Aspekt erkannt.

Aktive Maßnahmen

Welche Systeme sehen Sie unter Berücksichtigung des sommerlichen Wärmekomforts am geeignetsten, um im (urbanen) sozialen Wohnbau umgesetzt zu werden?
Aspekte dazu: 2030/2050, Energiebereitstellung, Wirksamkeit, Finanzierbarkeit ...

Aktiv? Ab wann?

- Erdwärmepumpe/free cooling Betrieb
- Bauteilaktivierung
- > abhängig vom Umweltpumpenstromanteil
- reversible WP nur in Verbindung mit Erdsondenfeld

zentral/dezentrale Anlage?

- eher zentral
- eher dezentral

alle Räume in Wohnung aktiv kühlen?

- alle Räume, Temperaturunterschiede vermeiden
- Achtung beide Badezimmer wenn (Fußboden/BTA)Kühlung

Umschaltzeitpunkt/MSR (Grenzparameter)?

- delta T zw. Innen u. außen
- 1 Mo. Zwischenraum zw. Heiz- u. Kühlperiode, dann durchlaufen lassen, z.B. bei 21 Grad VL-Temp.

SIM



Finanzierbarkeit

Kühlung über Erdsonden oder Grundwasser



Kühlung über reversible Wärmepumpen



Solare Kühlung in Verbindung mit Ad-/Absorptionskältemaschinen



Fernkälte



Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Erdreichwärmetauscher



Separate Klimageräte (Kompakt- oder Splitgeräte) mit Konvektoren für raumweise Kühlung



Alle gut finanzierbar



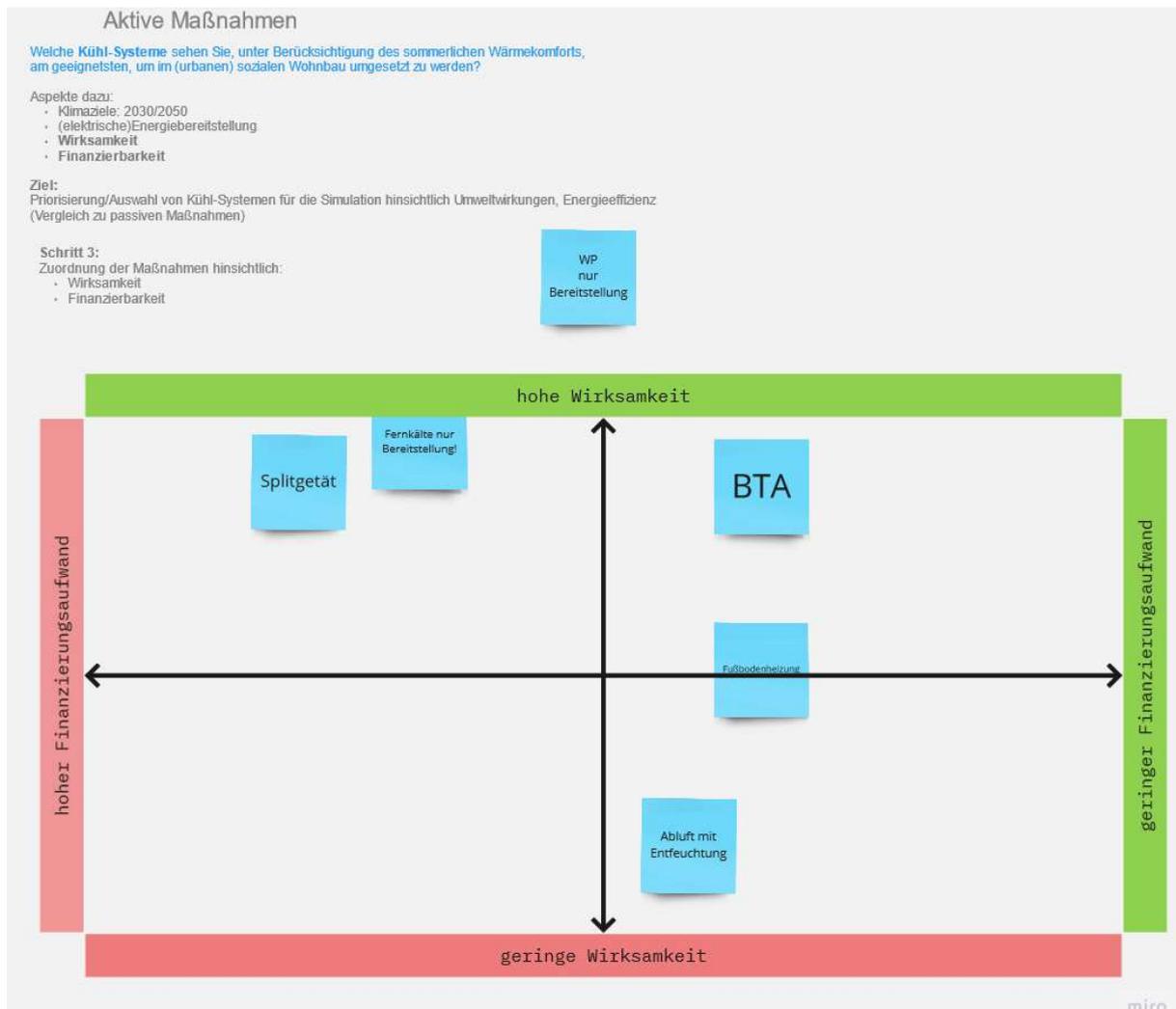


Abbildung 17: - Themenfeld – Aktive Maßnahmen -- Ergebnisse am Whiteboard

- Themenbereich – Thermische Gebäudesimulation

In dieser Arbeitsgruppe wurden die Kennwerte und Simulationsrandbedingungen für die geplante thermische Gebäudesimulation diskutiert und erarbeitet. Dabei wurde speziell der Kennwert „Übertemperaturhäufigkeit (%)“ als wichtig und am besten kommunizierbar erkannt.



Thermische Gebäudesimulation

1. Mit welchen Kennwerten lassen sich Ergebnisse von Simulationsberechnungen aussagekräftig an Laien/Experten kommunizieren?
2. Was ist ein typisches Lüftungsverhalten, dass als Grundlage für Simulationsberechnungen verwendet werden sollte?

- Übertemperaturhäufigkeiten
- maßgebende Größe Lufttemperatur
- delta T zwischen innen und außen - Möglichkeit der maximalen Kühlung
- Tropennächte
- keine Mehrkosten für den Nutzer in Hinblick auf den Lebenszyklus

Sommertauglichkeit - Wohngebäude zukunftstauglich machen



Thermische Gebäudesimulation

1. Mit welchen Kennwerten lassen sich Ergebnisse aus Simulationsrechnungen aussagekräftig an Laien / Experten kommunizieren?
 - Operative Temperatur [°C]
 - Lufttemperatur [°C]
 - Predicted Mean Vote (PMV)
 - Predicted Percentage of Unsatisfied (PPD)
 - Übertemperaturhäufigkeit [%]
 - Übertemperaturgradstunden [Kh]
 - Kühllast [kW]
 - Kühlbedarf [kWh]
 - ...

Abbildung 18: - Themenfeld – Thermische Gebäudesimulation – Ergebnisse am Whiteboard

In einer abschließenden Runde wurden dann die Ergebnisse der Arbeitsgruppen allen Teilnehmer:innen vorgestellt und kurz zur Diskussion gestellt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass dieses Stakeholder-Workshop einen wichtigen Betrag zur Entwicklung der Simulation und der Erstellung des Bewertungsschemas leisten konnte.

3.2.2. Online-Workshop – „Sommertauglichkeit – Wohngebäude zukunftsfähig machen“ – Vorstellung der Ergebnisse am 08.03.2023

In einem zweiten Workshop wurden, wieder rd. 15 Teilnehmer:innen, von den Projektpartnern die vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse des Forschungsprojektes „Cool*Buildings“ vorgestellt und zur Diskussion gestellt.

Wesentliche Themenbereiche waren dabei die Erläuterung der entwickelten Einzonen- und Mehrzonenmodelle, die Parameterauswahl und die hergeleitete Bewertungsmethode.

In der anschließenden Diskussion wurden Details zur Bewertungsmethode besprochen und geringfügige Optimierungen vorgeschlagen.

3.3. Online-Umfrage

Um eine bessere Übersicht über das derzeit vorhandene Nutzerverhalten zu gewinnen, wurde im Rahmen des Projektes auch ein Onlinefragebogen erstellt. Der Fragebogen umfasste eine Anzahl von 39 Fragen, die vom Wohnort, den Wohnbedingungen (Räume, Miete oder Eigentum, Zustand, Lüftungsbedingungen, Sonnenschutz und Lage), den Lebensbedingungen (Anwesenheit in der Wohnung, Temperaturverhältnisse in der Wohnung, Bildung) Informationen abfragten (siehe Anhang).

Der Fragebogen wurde in Zeitungen, Homepages und Newsletter der Projektpartner sowie eine direkte Bewerbung in sozialen Medien wie Facebook und LinkedIn mehrmals beworben. Leider war der Rücklauf bzw. die Beantwortung des Fragebogens mit ca. 150 auswertbaren Antworten außerordentlich gering. Ziel war zumindest ein Datensatz von zumindest 600 auswertbaren Antworten, um eine repräsentative Aussage zu erhalten.

Eine Auswertung der vorhandenen Daten zeigte folgende wesentlichste Ergebnisse:

- Die Gebäude stehen mehrheitlich im ländlichen Kontext; Aufenthaltsräume zumeist süd-orientiert und in 85% der Fälle Sonnenschutzvorrichtungen, v.a. außenliegend; Neubau und Altbau ähnlich stark vertreten
- Hohe Eigentumsquote
- Grundsätzlich bezeichnen weniger als 1/3 aller Befragten die sommerlichen Verhältnisse als „zu warm“
- Sommerliche Überhitzung tendenziell im Dachgeschoss von Mehrfamilienhäusern und innerstädtisch; EFH und ländliche Gegenden für Überhitzung wenig maßgeblich (Bestätigung vermuteter Annahmen)
- Die angegebene Behaglichkeitsgrenze im Sommer zumeist zwischen 24 und 26°C (Lufttemperatur)
- Sonnenschutzvorrichtungen verhindern nicht zwingend eine wahrgenommene sommerliche Überhitzung - auch bei aktiviertem Sonnenschutz
- Baulicher Standard (un-/teil-/kernsanierter Altbau oder Neubau) ohne merklichen Einfluss auf Überhitzungsgrad
- Kaum ältere Befragte sowie hoher Akademikeranteil unter den Befragten (>70% Hochschulabschluss).

Die Online-Umfrage konnte unter anderem aufgrund des hohen Anteils an freistehenden Bestandsgebäuden leider keine validen Anhaltspunkte für die Entwicklung der Simulationsrahmenbedingungen für den Wohnbau liefern.

4. Untersuchung des sommerlichen Verhaltens von Wohnräumen in Mehrfamilienhäusern mittels Einzonenmodelle (FHS)

4.1. Motivation

Die im nachfolgenden detailliert beschriebene Simulationsbetrachtung anhand eines in seiner Komplexität reduzierten Einzelraums dient der Herleitung einer Bewertungsmethodik für das sommerliche Verhalten typischer Wohnräume unter nachvollziehbaren üblichen Rahmenbedingungen.

Hierfür wurden in einem Simulationsprogramm gleichartige Raummodelle als Abbild von Räumen in Wohnungen generiert, die in einigen maßgeblichen Eigenschaften, wie der Bauschwere oder Orientierung und fassadenbezogenen Fensterflächenanteil, variiert werden können. Die verringerte Komplexität der Modellräume, unter anderem ausgedrückt in einem rechteckigen Grundriss mit nur einer Fassadenseite und darin enthalten exakt einer Fassadenöffnung bei ansonsten adiabatisch berücksichtigten Innenbauteilen, dient der Herleitung und Validierung von Simulationsrandbedingungen, da die Auswirkungen geänderter Parameter unmittelbar nachvollziehbar sind. Der Einfluss komplexerer Wechselwirkungen kann dadurch minimiert werden. Weiters soll das Einzonenmodell der Entwicklung einer über die bisherigen normativen Verfahren hinausgehenden Bewertungsmethodik für das sommerliche Verhalten von Wohnbauten dienen. In weiteren Schritten sollen, basierend auf einer Grundkonfiguration von Rahmenbedingungen wie der Fassadenorientierung und Bauschwere, die möglichen Optimierungen durch passive Maßnahmen wie Verschattungseinrichtungen und durch eine passive, auf regenerativen Wärmesenken basierende, Gebäudekühlung untersucht werden. Anhand von Gegenüberstellungen mit bisherigen Nachweis- und Bewertungsverfahren werden die Festlegungen und Entwicklungen in den Einzonenmodellen auf Plausibilität überprüft.

4.2. Grundlagen

In den folgenden Kapiteln erfolgt eine Beschreibung der Rahmenbedingungen, die für die Entwicklung des Simulationsmodells und der zugehörigen Bewertungsmethodik herangezogen beziehungsweise festgelegt wurden.

4.2.1. Untersuchungsgegenstand

Für die Untersuchung des sommerlichen Verhaltens wurden die klimatischen Randbedingungen zweier Standorte gewählt, die unterschiedliche klimatische Gegebenheiten innerhalb Österreichs aufweisen, und deren Simulationsergebnisse in weiterer Folge dann vergleichend gegenübergestellt. Wie im Folgenden noch genauer dargestellt, handelt es sich bei diesen Standorten um die Städte Salzburg und St. Pölten. Während erstere für ein eher sommerkühles, alpin beeinflusstes Klima steht, kann St. Pölten repräsentativ für ein im österreichischen Vergleich eher sommerheißes Klima gesehen werden.

Die untersuchten Konfigurationen betrachten in der vorliegenden Untersuchung grundsätzlich den Neubau von Mehrfamilienhäusern. Vor dem Hintergrund, dass Wohngebäude für einen langfristigen Betrachtungshorizont errichtet werden und somit auch veränderten klimatischen Rahmenbedingungen unterliegen, bewertet die Untersuchung die aus den heutigen Klimarandbedingungen abgeleiteten notwendigen Maßnahmen auch vor dem Hintergrund zukünftig erwartbarer klimatischer Entwicklungen. Die Herleitung des hierfür in der Untersuchung maßgeblichen Szenarios wird in einem nachfolgenden Abschnitt erläutert.

Die Modellräume werden sowohl ohne als auch mit der Ausstattung einer aktiven Gebäudekühlung untersucht, um u.a. den Einfluss von passiven, vorrangig nicht-technische Maßnahmen zur Verringerung von Überhitzung auf den Kühlbedarf darstellen zu können.

Die untersuchten Modellräume wurden als Abbild von Räumen in Mehrfamilienhäusern mit mehr als drei Wohneinheiten konfiguriert. In Anlehnung an die durchschnittliche österreichische Haushaltsgröße von 2,2 Personen (Statistik Austria, 2022, S.31) wird eine Belegung der Wohnung mit 2,5 Personen angenommen, um eine Zusammenstellung aus zwei erwachsenen Personen und einem Kind abzubilden. Als Grundlage für die Betrachtung dient eine Wohnungsgröße von 70 m², was in etwa dem Durchschnitt bei Mehrfamilienhäusern in den untersuchten Bundesländern Salzburg und Niederösterreich entspricht (Abbildung 19). Da die untersuchten Einzelräume unabhängig von der Raumnutzung eine einheitliche Grundfläche von ca. 20 m² aufweisen, resultiert daraus abzüglich der Nebenflächen wie Flur und Bad eine zugrunde gelegte Wohnung mit drei Haupträumen.

Tabelle 1.5: Durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung nach wohnspezifischen und soziodemographischen Merkmalen

Rechtsverhältnis	Österreich	Burgenland	Kärnten	Niederösterreich	Oberösterreich	Salzburg	Steiermark	Tirol	Vorarlberg	Wien
	Durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung in m ²									
Insgesamt	101,5	126,5	108,8	118,1	109,9	97,3	108,3	99,6	99,6	75,0
Hauseigentum	144,7	144,7	141,5	146,7	150,0	141,0	148,0	133,3	132,2	141,4
Wohnungseigentum	84,4	80,6	88,6	83,8	84,0	79,7	82,6	88,3	82,9	85,4
Gemeindewohnung	61,4	(x)	63,5	61,1	(65,6)	66,3	57,7	70,6	68,1	60,7
Genossenschaftswohnung	70,8	78,6	71,0	71,3	67,2	64,4	67,6	72,2	69,3	74,4
andere Hauptmiete	70,1	83,9	72,3	76,3	74,6	64,5	66,5	71,7	70,9	68,3
sonstige	98,0	116,7	101,3	107,8	101,8	87,4	100,6	92,1	95,3	77,4

72,1 Mittelwert 70,1

Abbildung 19: Durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung mit Hervorhebung von Wohnformen, die dem Wohnbau zuzuordnen sind, und der in der Untersuchung behandelten Standorte; Quelle: nach Statistik Austria (2021)

Sowohl aus der Belegung mit Personen als auch aus der Nutzung elektrischer Gerätschaften und deren Abwärme resultieren Wärmelasten im Inneren der Räumlichkeiten, die zu einer Überhitzung beitragen können. Für den aktiven Zustand wird je erwachsener Person eine wärmewirksame Leistung von 75 W in Anlehnung angenommen. Diese Annahme resultiert aus einer Mittelwertbildung von Werten einschlägiger Quellen, wie EN 16798-1, DIN V 18599-10 und dem Passivhaus-Projektierungspaket. Im Schlafzustand wird eine Wärmeleistung von 60 W zugrunde gelegt, was 80 % des Wertes im Aktivzustand entspricht. Dieser Prozentsatz entspricht dem Verhältnis des Energieumsatzes bei einer angelehnten zu einer entspannt sitzenden Aktivität nach EN ISO 7730:2006 Tabelle B.1. Für den Schlafzustand wird der Zeitraum von 22H30 bis 06H30 definiert.

Die Wärmeeinträge durch elektrische Verbraucher basiert auf einem durchschnittlichen Haushaltsstromverbrauch von 1 700 kWh pro Jahr. Dieser Wert liegt unter einem durchschnittlichen Haushaltsstrombedarf bei zwei bis drei Personen von ca. 2 200 bis 2 700 kWh/a (ohne Warmwasserbereitung; Schäppi et al., 2019, S. 4). was aus einer detaillierten Aufstellung mit einer im Neubau naheliegenden Ausstattung mit effizienten Haushaltsgeräten resultiert. Diese ist unter Kapitel 4.3.3. dargestellt. Ein Allgemeinstrombedarf für Verbraucher außerhalb der Wohnung wurde nicht berücksichtigt, da dieser nicht wärmewirksam wird.

4.2.2. Stand der Technik

4.2.2.1. Normen und Nachweisverfahren

Operative Temperatur nach ÖNORM EN ISO 7726:2021

Die operative Raumtemperatur beschreibt eine von Nutzer:innen wahrgenommene Kenngröße und „ist definiert als die einheitliche Temperatur einer Umhüllung, in der eine Person die gleiche Wärmemenge

durch Strahlung und Konvektion austauschen würde wie in der bestehenden nicht-einheitlichen Umgebung.“ (ÖNORM EN ISO 7726:2021, Anhang G.1). Vereinfachend lässt sich für den Großteil der Anwendungsfälle die operative Raumtemperatur durch den „Mittelwert aus Luft- und mittlerer Strahlungstemperatur“ (ÖNORM EN ISO 7726:2021, Anhang G.3) der Innenraumbooberflächen bilanzieren.

OIB-Richtlinie 6 in Verbindung mit ÖNORM 8110-3:2020, ÖNORM 8110-5:2019 und ÖNORM B 8110-6-1:2019

Bei Neubau und umfassender Renovierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden gelten aktuell in acht von neun Bundesländern die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz aus Abschnitt 4.9 der OIB-Richtlinie 6 (2019), für die seit 2023 eine neue Fassung vorliegt, welche aber noch in keinem Bundesland eingeführt wurde (Stand: 06/2023). Die Fassungen der OIB-Richtlinien 2023 sind aufgrund des 2021 erfolgten Projektstarts nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Die OIB-Richtlinie 6 (2019) nennt für Wohngebäude zwei Forderungen für die Erfüllung des Nachweises. Diese sind zum einen das Fehlen eines außeninduzierten Kühlbedarfs KB* nach ÖNORM B 8110-6-1 in Verbindung mit ÖNORM B 8110-5 und zum anderen die Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Diese gilt als erfüllt bei Nichtüberschreitung eines standortabhängigen Höchstwerts der operativen Innenraumtemperatur, der aus einem zehnjährigen Betrachtungshorizont der Außenlufttemperatur resultiert. Der Grenzwert variiert österreichweit zwischen 27,1 °C (Galtür, Tirol) und 30,1 °C (Wien - Innere Stadt) Die Ermittlung der operativen Innenraumtemperaturen erfolgt durch Simulation unter den festgesetzten Randbedingungen der ÖNORM B 8110-3. Dazu gehört beispielsweise ein sich periodisch wiederholenden Klima.

Für Nichtwohngebäude genügt für den Nachweis die Erfüllung eines von zwei Kriterien. Diese entsprechen zum Großteil den Anforderungen an Wohngebäude, allerdings darf hierbei ein geringer Kühlbedarf rechnerisch nachgewiesen werden und die Simulationsrandbedingungen für die Vermeidung sommerlicher Überwärmung variieren leicht.

Im Gegensatz zu allen anderen Bundesländern gilt in Salzburg seit dem 1. Juli 2016 unverändert die OIB-Richtlinie 6 (2015), das heißt die Nachweisverfahren basierend auf ÖNORM B 8110-3:2012 sind anzuwenden. Die ÖNORM unterscheidet ein standardmäßiges und ein sogenanntes vereinfachtes Verfahren. Während bei ersterem die unter normativen Berechnungen ermittelte operative Temperatur des Tagesverlaufs 27 °C nicht überschreiten darf (beziehungsweise die Nachttemperatur 25 °C bei Schlafräumen), bewertet das vereinfachte Verfahren die Sommertauglichkeit eines Raums über die immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse.

Gebäudeenergiegesetz (GEG) in Verbindung mit DIN 4108-2:2013

Das Gebäudeenergiegesetz bildet die Grundlage für den öffentlich-rechtlichen Wärmeschutznachweis von beheizten und/oder gekühlten Gebäuden (Neu-, Zu- und Ausbau) in Deutschland und behandelt in diesem Zusammenhang in § 14 auch den sommerlichen Wärmeschutz. Zur Nachweisführung wird auf die Berechnungsmethodik der DIN 4108-2: 2013, Abschnitt 8, verwiesen. Die Norm verfolgt das Ziel, für Aufenthaltsräume eine thermische Behaglichkeit im Sommer sicherzustellen und eine übermäßige Erwärmung der Räume sowie hohen Energieeinsatz bei einer optionalen Gebäudekühlung zu verhindern.

Sofern für ein zu errichtendes Gebäude oder einen Zubau keine Ausnahmeregelung aufgrund besonders geringer Fensterflächenanteile geltend wird und dadurch die Nachweispflicht entfällt, eröffnet die DIN 4108-2 zwei Möglichkeiten der Nachweisführung. In Abschnitt 8.3 sind die Rahmenbedingungen für die Anwendung des Sonneneintragskennwertverfahrens beschrieben. Dieses ist zumindest auf

den aus sommerlicher Sicht als am kritischsten einzustufenden Raum anzuwenden, das heißt ein maximal zulässiger Sonneneintragskennwert darf nicht überschritten werden. Dieser Wert ergibt sich aus den baulichen Gegebenheiten und dem Einsatz passiver Maßnahmen zur Reduktion von Überhitzung (Nachtlüftung, passive Kühlung). Liegt der aus den Fensterflächen und dem Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutz g_{tot} bilanzierte, grundflächenbezogene Kennwert des Sonneneintrags unter dem maximal zulässigen Wert, gelten die Anforderungen der DIN 4108-2: 2013 und somit des GEG an den sommerlichen Wärmeschutz als erfüllt.

Für eine alternative thermische Simulation unter vorgegebenen Randbedingungen (u.a. interne Wärmegewinne, Luftwechsel) wird die geografische Lage in einer der Sommerklimaregionen A, B und C („sommerkühl“, „gemäßigt“, „sommerheiß“) innerhalb Deutschlands berücksichtigt. Diese wirken sich auf den Bezugswert für die operative Innenraumtemperatur aus, welcher für Region A bei 25 °C, für Region B bei 26 °C und für Region C bei 27 °C liegt. Dem jeweiligen Bezugswert wird der stündliche Wert der operativen Innenraumtemperatur aus der thermischen Simulation gegenübergestellt. Die stündlich ermittelten Differenzen im Falle einer Überschreitung der Bezugstemperatur während der Aufenthaltszeit ergeben kumuliert über ein Jahr das Maß an Übertemperaturgradstunden (Einheit: Kelvinstunden [Kh/a]). Während für Wohngebäude eine durchgängige Anwesenheit angenommen wird, gilt für Nichtwohngebäude nur der Zeitraum einer vorgegebenen Anwesenheit von Montag bis Freitag, jeweils 7 Uhr bis 18 Uhr. Daraus resultieren Anforderungswerte für Wohngebäude von 1 200 Kh und für Nichtwohngebäude von 500 Kh (DIN 4108-2:2013).

Gebäudesimulation in Verbindung mit ÖNORM EN 16798-1:2019

Die europäische Norm EN 16798-1 dient der Komfortbewertung von Innenräumen anhand verschiedener Qualitätsparameter wie der operativen Innenraumtemperatur, Luftgeschwindigkeit und -feuchtigkeit oder der Beleuchtungssituation. Auch wenn die Norm derzeit weder in Österreich noch in Deutschland im öffentlich-rechtlichen Nachweis- oder Bewertungsverfahren als Methodik angewendet wird, so kommt sie jedoch im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeitszertifizierung (z.B. ÖGNI, DGNB) zur Anwendung.

Bezogen auf die operativen Innenraumtemperaturen berücksichtigt die Norm eine nutzer:innen-basierte Erwartungshaltung anhand von Komfortbänder, die ein unterschiedlich hohes Maß an Erwartungen abbilden. Für ungekühlte Gebäude wird ein sogenanntes adaptives Komfortmodell (Abschnitt 6.2.2) berücksichtigt. Dieses beschreibt eine Adaption der Erwartungshaltung an das Außenklima aufgrund des Umstands, dass das Innenraumklima durch das Öffnen und Schließen von Öffnungen in der Gebäudehülle (wie Fenster und Lüftungskappen) mit dem Außenklima im Austausch steht und die Nutzer:innen basierend auf der Erfahrung des Außenklimas eine gewisse Toleranz in ihren Erwartungen zeigen. So geht das Komfortmodell beispielsweise davon aus, dass Nutzer:innen nach einer längeren Phase hoher Außenlufttemperaturen auch höhere Temperaturen im Innenraum tolerieren (ÖNORM EN 16798-1:2019).

4.2.2.2. Passive Maßnahmen

Passive Maßnahmen zur Verhinderung oder Reduzierung von Überhitzung beschreiben bauliche Mittel und Wege, bei denen maximal geringe Hilfsenergiemengen für technische Anwendungen zum Einsatz kommen, z.B. zum Antrieb eines Stellmotors. Aktive Kühlungen wie Klimaanlage unterscheiden sich hiervon, indem sie Wärme unter Technologie- und Energieeinsatz aus dem Raum abführen (Hutter, C. et al., 2023, S. 60).

4.2.2.3. Flächenkühlsysteme

Flächenkühlsysteme beschreiben die raumseitige Übergabe eines Kühlsystems über große Oberflächen wie Boden und Decke. In der Regel wird für die Wärmeabfuhr aus einem Raum über flächige Systeme gekühltes Wasser als Wärmeträgermedium verwendet, welches Wärme aus der Raumluft aufnimmt und abführt. Die (Rück-)Kühlung des Wassers auf die Vorlauftemperatur (Kälteerzeugung) kann auf verschiedene Wege erfolgen, die in einem späteren Technologievergleich beschrieben werden.

Flächenkühlsysteme gelten im Vergleich zu anderen Kühltechnologien aufgrund der Möglichkeit einer vergleichsweise hohen Vorlauftemperatur als besonders effizient und eignen sich für den Einsatz erneuerbarer Energien (Zhang et al., 2021, S. 11). Jedoch sind sie andererseits in ihrer maximalen Kühlleistung begrenzt, da die Kühlflächen aus Behaglichkeitsgründen nicht auf beliebig niedrige Oberflächentemperaturen heruntergekühlt werden können.

Strahlungskühlsysteme, die als Wärmeträger Wasser verwenden, sind beispielsweise thermisch aktivierte Bauteilsysteme, die über eingebrachte Rohrregister in massereichen Bauteilen wie Estrichen und Stahlbetondecken einen Kühleffekt erzeugen (Friembichler et al., 2016, S. 9f). Im Gegensatz hierzu bilden zum Beispiel abgehängte Kühldecken selbständige Bausysteme, deren Kühlwirkung entkoppelt von den weiteren Bauteilmassen erfolgt. Da diese Systeme über große Flächen in Innenräumen (Böden, Decken und Wände) kühlen, werden geringe Temperaturunterschiede zwischen den konditionierten Flächen und dem Raum ermöglicht. Aus diesem Grund kann die Temperatur des Wärmeübertragungsmediums nahe der Raumtemperatur liegen, was zu Vorlauftemperaturen von üblicherweise 16 °C bis 23°C führt. Die Wärmeübertragung aus den Innenräumen erfolgt durch eine Kombination aus Strahlung und Konvektion über die gekühlten Oberflächen (Zhang et al., 2021, S. 11), während andere Kühltechnologien wie Umluftkonvektoren, die der Raumluft über einen Wärmetauscher Wärme entziehen und diese somit kühlen.

4.2.3. Methodik

Nachfolgend werden die Festsetzungen beschrieben, unter denen die Abbildung von Untersuchungsfällen in einem Simulationsmodell und die anschließende Bewertung der Simulationsergebnisse mittels eigens entwickelter Methodik erfolgt.

4.2.3.1. Simulationsmodell

Der Nachweis der Sommertauglichkeit für die OIB-gerechte Nachweisführung berücksichtigt die normativen Nutzungsprofile nach ÖNORM B 8110-5, die je nach Gebäudenutzung Randbedingungen für die Bilanzierung des Heizwärme- und Kühlbedarfs beschreiben. Diese umfassen maßgebliche Angaben zu Nutzungszeiten, Raumsolltemperaturen im Sommer und im Winter, Luftwechselraten und interne Wärmegewinne. Differenzierte Gebäudenutzungen sind beispielsweise Wohn- und Bürogebäude, Krankenhäuser, Gast- und Verkaufsstätten.

Wie aus der Nennung der Gebäudenutzungen hervorgeht, wird hierbei nur die Hauptnutzungsweise einer Gebäudeeinheit differenziert, die unterschiedliche Nutzung verschiedener Räumlichkeiten innerhalb der Einheit bleibt unberücksichtigt. Um in der vorliegenden Untersuchung spezifischere Handlungs- und Planungsempfehlungen abzuleiten, wird ein eigener Ansatz entwickelt, der die untersuchte Wohnnutzung mit nutzungsspezifischen Raumprofilen stärker differenziert und ein realitätsnäheres Abbild ermöglichen soll.

Die Herausforderung hierbei ist es, die Profile so zu beschreiben, dass sie sowohl ausreichend differenziert sind, aber auch eine möglichst repräsentative Nutzung widerspiegeln. Dementsprechend sind Annahmen nachvollziehbaren und belastbaren Quellen zu entnehmen oder in vergleichbarer Weise

herzuleiten. Es gilt zu beachten, dass die in dieser Untersuchung getroffenen Festlegung einen methodischen Ansatz beschreiben, der plausible Ergebnisse liefert, für andere Randbedingungen (wie Wohnungsgröße, Belegung, Nutzer:innenverhalten) jedoch erforderlichenfalls adaptiert werden muss. Die Ergebnisse der Untersuchungen gelten ausschließlich unter den gewählten Annahmen und Festlegungen und erlauben keine grundsätzliche Übertragung auf andere Rahmenbedingungen.

4.2.3.2. Klimarandbedingungen

Auswahl und Validierung von Quellen für Klimadaten

Die Klimarandbedingungen für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach OIB-Richtlinie 6 sind gemäß ÖNORM B 8110-5 zu verwenden und beziehen sich im Falle der der Außenlufttemperatur auf korrigierte Messdaten von 1961 bis 1990. Um die Monatsmitteltemperaturen für einen Standort zu ermitteln, stehen Berechnungsformeln zur Verfügung, die die Temperaturregion und Höhenlage des Standorts berücksichtigen. Ein analoges Vorgehen steht für die Monatssummen der Globalstrahlung zur Verfügung, die Datengrundlagen werden hier nicht explizit genannt.

Als weitere Datenquelle für Klimarandbedingungen steht für die Untersuchung die Datenbank des Programms Meteororm (Version 8) zur Verfügung, die neben gegenwärtigen Klimadaten sowohl eine Rückschau auf historische Messreihen und verschiedene Zukunftsprojektionen bieten. Die für eine Betrachtung unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen angesetzten Klimadaten beruhen auf Wetterbeobachtungen aus den Jahren 2000 bis 2019, respektive 1996 bis 2015 für Strahlungsdaten (Quelle: Meteororm). Die als historisch bezeichneten Klimadaten umfassen wie in dem Vorgehen nach ÖNORM B 8110-5 hauptsächlich Werte aus den Jahren 1961 bis 1990. Aufgrund der größten Datenverfügbarkeit und der zentralen Lage wurde für den Standort Salzburg die Wetterstation Flughafen gewählt, wohingegen die Werte für St. Pölten aus mehreren Wetterstationen interpoliert werden. Die Standortrahmenbedingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt:

Tabelle 1: Standortrandbedingungen der untersuchten Standorte

STANDORTDATEN	SALZBURG	ST. PÖLTEN
Wetterstation	Flughafen	interpoliert
Längengrad in Grad	47,8	48,2
Breitengrad in Grad	13,0	15,6
Seehöhe in m ü. NN	435	282
Temperaturregion nach ÖNORM 8110-5	NF	N

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen eine Gegenüberstellung der für die Standorte unter obigen Randbedingungen ermittelten Monatsmitteltemperaturen und der monatlichen Globalstrahlungssummen nach ÖNORM B 8110-5 mit den Werten der historischen und gegenwärtigen Klimadaten aus der verwendeten Datenquelle. Es zeigt sich, dass die historischen Daten und die auf Basis der ÖNORM ermittelten Werte, die auf den gleichen Messzeiträumen basieren, nur in einem der 24 verglichenen Monate um mehr als ein Kelvin voneinander abweichen, was eine Validität der Datenquelle nahelegt. Bezogen auf die jährliche Globalstrahlungssumme liegt der Wert der Datenquelle für den Standort St. Pölten etwa 5,5 % über dem nach ÖNORM ermittelten Wert. Da der leicht höhere Wert der Datenquelle für den vorgesehenen Untersuchungszweck der sommerlichen Überhitzung einen kritischeren Ausgangsfall abbildet, wird dies als vertretbare Abweichung angesehen. Insgesamt legt der Vergleich der Datensätze eine Eignung der ausgewählten Datenquelle nahe. Um innerhalb der Untersuchungen konsistent

zu bleiben, wird sowohl für die Betrachtung der gegenwärtigen klimatischen Situation als auch für zukünftige Klimaprojektionen auf die Messreihen der Datenquelle zurückgegriffen.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Monatsmitteltemperaturen basierend auf ÖNORM B 8110-5 und der Werte aus den Klimadatensätzen nach Meteonorm Version 8

Monatsmitteltemperaturen θ_e :

ÖNORM B 8110-5

Salzburg Region NF; h [m]: 435

Meteonorm Klimadatensätze

1961 - 1990 2000 - 2019

SALZBURG	θ_e
Jänner	-0,8 °C
Februar	1,1 °C
März	5,1 °C
April	9,7 °C
Mai	14,0 °C
Juni	17,4 °C
Juli	19,2 °C
August	18,6 °C
September	15,3 °C
Oktober	10,0 °C
November	4,4 °C
Dezember	0,4 °C
Jahr (Mittel)	9,5 °C

θ_e	θ_e
-1,4 °C	-0,4 °C
0,5 °C	1,1 °C
4,5 °C	5,4 °C
8,6 °C	10,2 °C
13,4 °C	14,3 °C
16,1 °C	18,1 °C
18,3 °C	19,4 °C
17,9 °C	19,1 °C
14,6 °C	14,5 °C
9,7 °C	10,3 °C
4,0 °C	5,0 °C
0,0 °C	1,1 °C
8,9 °C	9,8 °C

St. Pölten Region N; h [m]: 282

ST. PÖLTEN	θ_e
Jänner	-0,8 °C
Februar	0,9 °C
März	5,1 °C
April	10,1 °C
Mai	14,5 °C
Juni	17,9 °C
Juli	19,8 °C
August	19,2 °C
September	15,5 °C
Oktober	9,9 °C
November	4,3 °C
Dezember	0,4 °C
Jahr (Mittel)	9,7 °C

θ_e	θ_e
-2,3 °C	0,2 °C
-0,1 °C	1,9 °C
4,3 °C	5,9 °C
9,4 °C	11,4 °C
14,2 °C	15,7 °C
17,0 °C	19,5 °C
19,3 °C	21,1 °C
18,9 °C	20,6 °C
14,9 °C	15,6 °C
9,6 °C	10,4 °C
3,7 °C	5,8 °C
-0,3 °C	1,3 °C
9,1 °C	10,8 °C

Tabelle 3: Gegenüberstellung der monatlichen Globalstrahlungssummen basierend auf ÖNORM B 8110-5 und der Werte aus den Klimadatensätzen nach Meteororm Version 8

Mittlere Monatssummen der Globlastrahlung I_s / G_h :

ÖNORM B 8110-5

Salzburg Region NF; h [m]: 435

SALZBURG	I_s
Jänner	30 kWh/m ²
Februar	50 kWh/m ²
März	83 kWh/m ²
April	111 kWh/m ²
Mai	148 kWh/m ²
Juni	144 kWh/m ²
Juli	153 kWh/m ²
August	136 kWh/m ²
September	99 kWh/m ²
Oktober	65 kWh/m ²
November	33 kWh/m ²
Dezember	23 kWh/m ²
Jahr (Summe)	1075 kWh/m²

Meteororm Klimadatenätze

1961 - 1990 1996 - 2015

G_h	G_h
32 kWh/m ²	33 kWh/m ²
48 kWh/m ²	48 kWh/m ²
84 kWh/m ²	84 kWh/m ²
109 kWh/m ²	111 kWh/m ²
140 kWh/m ²	145 kWh/m ²
142 kWh/m ²	144 kWh/m ²
150 kWh/m ²	150 kWh/m ²
129 kWh/m ²	132 kWh/m ²
96 kWh/m ²	95 kWh/m ²
65 kWh/m ²	65 kWh/m ²
33 kWh/m ²	32 kWh/m ²
25 kWh/m ²	24 kWh/m ²
1052 kWh/m²	1063 kWh/m²

St. Pölten Region N; h [m]: 282

ST. PÖLTEN	I_s
Jänner	26 kWh/m ²
Februar	47 kWh/m ²
März	80 kWh/m ²
April	115 kWh/m ²
Mai	156 kWh/m ²
Juni	157 kWh/m ²
Juli	159 kWh/m ²
August	140 kWh/m ²
September	98 kWh/m ²
Oktober	62 kWh/m ²
November	29 kWh/m ²
Dezember	20 kWh/m ²
Jahr (Summe)	1090 kWh/m²

G_h	G_h
29 kWh/m ²	28 kWh/m ²
50 kWh/m ²	50 kWh/m ²
93 kWh/m ²	93 kWh/m ²
127 kWh/m ²	127 kWh/m ²
152 kWh/m ²	152 kWh/m ²
166 kWh/m ²	166 kWh/m ²
167 kWh/m ²	167 kWh/m ²
147 kWh/m ²	147 kWh/m ²
99 kWh/m ²	99 kWh/m ²
63 kWh/m ²	63 kWh/m ²
33 kWh/m ²	32 kWh/m ²
24 kWh/m ²	24 kWh/m ²
1150 kWh/m²	1149 kWh/m²

Klimaszenarien

Wie bereits beschrieben, ist neben einem Vergleich zwischen zwei Standorten mit unterschiedlichen sommerlichen Klimaverhältnissen, ein Hauptziel der Untersuchung, notwendige oder ausreichende Maßnahmen zur Verhinderung sommerlicher Überhitzung unter heutigen klimatischen Maßstäben mit deren Schutzwirkung unter veränderten Klimarandbedingungen zu vergleichen. Da klimatische Entwicklungen nur aufgrund plausibler Annahmen projiziert, jedoch nicht zuverlässig hervorgesagt werden können, spielt die Auswahl des zugrunde gelegten Klimaszenarios und des zeitlichen Betrachtungshorizonts eine entscheidende Rolle.

Klimaszenarien beschreiben wissenschaftlich entwickelte Projektionen über einen anzunehmenden Verlauf des Klimas unter einem bestimmten Einfluss des Menschen. Die RCP-Szenarien (RCP: Representative Concentration Pathway) entstammen dem 5. Sachstandsberichtes des Weltklimarats und stellen vier denkbare Szenarien für eine zukünftige Entwicklung des weltweiten Klimas dar. Grundlage für diese Szenarien ist der sogenannte Strahlungsantrieb, der die Entwicklung von Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen in der Atmosphäre berücksichtigt (Endbericht. ÖKS 15 – Klimaszenarien für Österreich, S. 6). Für die im Zuge des 2021 veröffentlichten 6. Sachstandsbericht entwickelten SSP-

Szenarien (SSP: Shared Socioeconomic Pathway) standen zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch keine projizierten Klimadaten zur Verfügung.

Für Simulationen unter zukünftigen Rahmenbedingungen bieten sich verschiedene RCP-Szenarien an, die einen unterschiedlich starken Anstieg des Strahlungsantriebs und damit auch der durchschnittlichen Lufttemperaturen darstellen. Im Rahmen der Entscheidung für ein Auslegungsszenario wurden für die Standorte Salzburg und St. Pölten die RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 betrachtet, wobei die Zahl für den zusätzlichen Strahlungsantrieb in W/m^2 im Vergleich zum vorindustriellen Zustand steht. Das Szenario 2.6 stellt hierbei einen Entwicklungspfad dar, der eine Einhaltung des weltweiten Zwei-Grad-Ziels bis 2100 aus den Pariser Klimavereinbarungen impliziert, zu denen sich ein Großteil der Staatengemeinschaft und auch Österreich verpflichtet haben, während das Szenario 8.5 ein auf fossilen Energiequellen basierendes Wirtschaftswachstum ohne jegliche Klimaschutzmaßnahmen beschreibt (Endbericht. ÖKS 15 – Klimaszenarien für Österreich. S. 7f).

Für die Untersuchung wurde als Betrachtungshorizont das Jahr 2050 angenommen. Die Zeitspanne von über 25 Jahren liegt in Anbetracht der Lebensdauer neu errichteter Gebäude von üblicherweise mehr als 50 Jahren in einer zeitlichen Entfernung, in der heutige Neubauten unter üblichen Umständen noch nicht vor einer Sanierung stehen, und bildet zusätzlich einen Mittelweg aus einer sehr kurzfristigen Zukunftsbetrachtung mit nur geringfügigen Änderungen und einer weit in der Zukunft liegenden Betrachtungszeit, die eine gegebenenfalls notwendige Anpassung des Handelns möglicherweise weniger dringlich erscheinen lässt.

Die Klimadaten liegen als stündliche Werte vor und umfassen die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft, die solare Direkt- und Diffusstrahlung und die Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Für eine vergleichende Auswertung dieser Rohdaten bietet sich eine Betrachtung geläufiger Klimaindizes aus der Meteorologie an, wie sie in Tabelle 4 beschrieben sind.

Tabelle 4: Definition von nachfolgend verwendeten Klimaindizes; Quelle: Endbericht. ÖKS 15 – Klimaszenarien für Österreich, S. 15f

Sommertag	Tageshöchsttemperatur von mindestens 25°C
Hitzetag	Tageshöchsttemperatur von mindestens 30°C
Tropennacht	Minimaltemperatur von 18 UTC bis 06 UTC (koordinierte Weltzeit) von mindestens 20°C
(Kern-)Hitzewelle, (Kern-)Hitzewellendauer	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG): Definition anhand sogenannter Kysely-Tage – Hitzewelle ab drei Hitzetagen in Folge; endet, wenn die mittlere Tageshöchsttemperatur unter 30 °C fällt oder eine Tageshöchsttemperatur von 25°C unterschritten wird Projekt Cool*Buildings: Hitzewelle ab drei Hitzetagen in Folge; Anzahl der aufeinanderfolgenden Hitzetage wird hier als Kern-Hitzewelle erfasst
Frosttag	Tagestiefsttemperatur von unter 0°C
Eistag	Tageshöchsttemperatur von unter 0°C
Vegetationstag	Tagesdurchschnittstemperatur von mindestens 5°C
Globalstrahlung, Globalstrahlungssumme	Summe der Direkt- und Diffusstrahlung auf 1 m ² horizontale Fläche

Abbildung 20 zeigt die Auswertung des Klimadatensatzes anhand der in Tabelle 4 aufgeführten Klimaindizes für das RCP-2.6-Szenario am Standort Salzburg. Diese automatisiert aus den Klimadaten generierte Ausgabeform wurde für die Gegenüberstellung verschiedener Klimaentwicklungen sowohl für die historischen und die gegenwärtigen Klimadaten sowie die RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 durchgeführt. Die Dokumentation hierzu ist im Anhang A.2 zu finden.

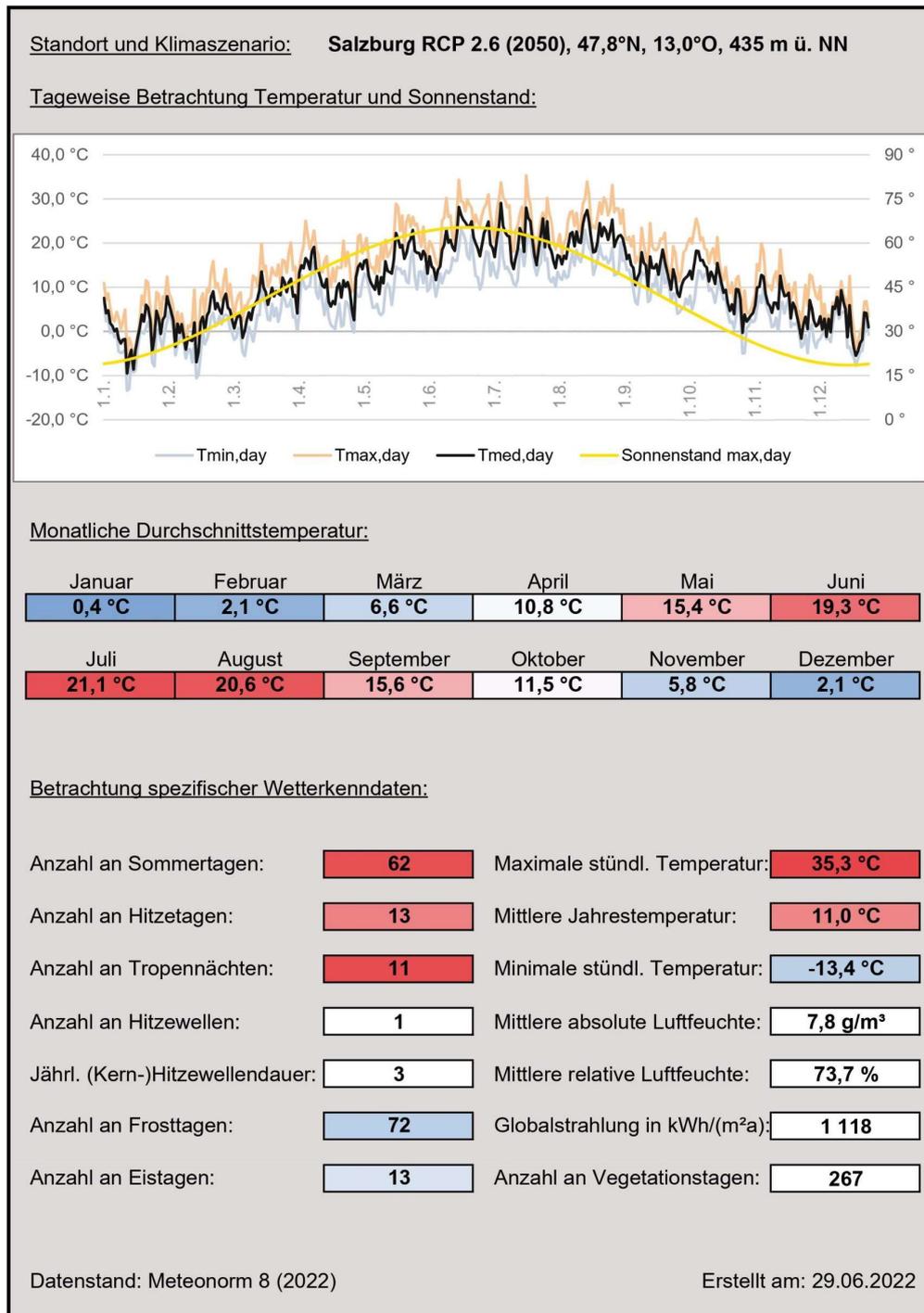


Abbildung 20: Ausgabeform für die Auswertung eines Klimadatensatzes. Weitere Auswertungen im Anhang; Quelle: eigene Darstellung

Eine in *Tabelle 5* dargestellte Auswertung der gegenwärtigen Klimarandbedingungen sowie der Daten für zwei RCP-Szenarien erlaubt sowohl einen Vergleich der Standorte untereinander als auch der Gegenwart mit den projizierten Entwicklungen. Es wird ersichtlich, dass der Standort St. Pölten sowohl gegenwärtig als auch für 2050 projiziert höhere Werte bei der jährlichen Durchschnitts- und Maximaltemperaturen und bei fast allen Klimaindizes wie Sommer- und Hitzetagen oder Tropennächten zeigt. Weiters zeigt sich, dass das RCP-Szenario 8.5 mit einer erheblichen Steigerung derselben Werte einhergeht. So würde in diesem Klimamodell beispielsweise die jährliche Durchschnittstemperatur bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts bei beiden Standorten um mehr als 2 °C ansteigen. Gleichzeitig steigt besonders die Anzahl von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten zum Teil auf das Vierfache an und es ist jährlich mit einem mehrfachen Auftreten von Hitzewellen zu rechnen.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Auswahl eines Extremszenarios wie jenes RCP-Szenario 8.5 bei Nichteintritt zu erheblich überdimensionierten Maßnahmen wie nicht zwingend notwendiger Gebäudekühlungen führt und auch die Realisierung von Wohngebäuden, die unter einem anderen Szenario funktionieren würden, verhindern kann, und sich die Staatengemeinschaft mit der Verabschiedung des Pariser Klimaabkommens auch zur Verhinderung solcher Klimaentwicklungen verpflichtet hat, wird in dieser Untersuchung das RCP-Szenario 2.6 als maßgeblich für die Zukunftsbetrachtung gewählt.

Tabelle 5: Auswertung von Klimaindizes für die Standorte Salzburg und St. Pölten und verschiedene Klimarandbedingungen; oben: Absolutwerte; unten: relative Veränderung zur Gegenwart

KLIMAINDEX	SALZBURG			ST. PÖLTEN		
	Gegenwart (2000-2019)	RCP 2.6 (2050)	RCP 8.5 (2050)	Gegenwart (2000-2019)	RCP 2.6 (2050)	RCP 8.5 (2050)
Maximale stündl. Temperatur	34,3 °C	35,3 °C	36,8 °C	35,4 °C	36,9 °C	38,1 °C
Mittlere jährliche Temperatur	9,8 °C	11,0 °C	11,9 °C	10,8 °C	12,0 °C	13,0 °C
Minimale stündl. Temperatur	-13,6 °C	-13,4 °C	-12,4 °C	-11,9 °C	-11,1 °C	-10,0 °C
Anzahl an Sommertagen	38	62	80	63	80	96
Anzahl an Hitzetagen	6	13	32	10	17	40
Anzahl an Tropennächten	5	11	17	11	17	29
Anzahl an Hitzewellen	0	1	3	0	1	4
Anzahl Kernhitzewellentage	0	3	16	0	5	22
Anzahl an Vegetationstagen	253	267	279	260	276	290
Anzahl an Frosttagen	88	72	61	78	62	52
Anzahl an Eistagen	17	13	10	16	14	8

KLIMAINDEX	SALZBURG		ST. PÖLTEN		
	Gegenwart (2000-2019)	RCP 8.5 (2050)	Gegenwart (2000-2019)	RCP 8.5 (2050)	
Maximale stündl. Temperatur		+ 1,0 °C	+ 2,5 °C	+ 1,5 °C	+ 2,7 °C
Mittlere jährliche Temperatur		+ 1,2 °C	+ 2,1 °C	+ 1,2 °C	+ 2,2 °C
Minimale stündl. Temperatur		+ 0,2 °C	+ 1,2 °C	+ 0,8 °C	+ 1,9 °C
Anzahl an Sommertagen		+ 63 %	+ 111 %	+ 27 %	+ 52 %
Anzahl an Hitzetagen		+ 117 %	+ 433 %	+ 70 %	+ 300 %
Anzahl an Tropennächten		+ 120 %	+ 240 %	+ 55 %	+ 164 %
Anzahl an Hitzewellen		+ 1	+ 3	+ 1	+ 4
Anzahl Kernhitzewellentage		+ 3	+ 16	+ 5	+ 22
Anzahl an Vegetationstagen		+ 6 %	+ 10 %	+ 6 %	+ 12 %
Anzahl an Frosttagen		- 18 %	- 31 %	- 21 %	- 33 %
Anzahl an Eistagen		- 24 %	- 41 %	- 13 %	- 50 %

4.2.3.3. *Parametervariation und Priorisierung*

Bei der Betrachtung verschiedener Nachweis- und Berechnungsverfahren, die sich mit Kühlbedarfsrechnungen befassen, wie der ÖNORM B 8110-6-1 oder der in Deutschland geltenden DIN V 18599-2, zeigen sich eine Vielzahl von Parametern, die die klimatischen Zustände im Innenraum von Gebäuden beeinflussen. Weiters gibt es Einflussfaktoren, die nicht explizit in den technischen Regeln berücksichtigt werden, aber Auswirkungen auf dort genannte Parameter haben. So kann beispielsweise eine Gebäudebegrünung eine Verschattungswirkung bei verglasten Flächen bewirken und gleichzeitig die Wärmespeicherfähigkeit und Aufheizung von Außenbauteilen verändern. Eine Modellierung aller realistischen Parameter im Simulationsmodell würde die innerhalb dieses Projektes zur Verfügung stehenden Ressourcen übersteigen. Dies macht eine Begrenzung der variierbaren Parameter notwendig, wobei aus Effizienzgründen jene, bei denen von einem verhältnismäßig geringen Einfluss auf das sommerliche Verhalten ausgegangen werden kann, vorrangig ausgeschlossen werden.

Tabelle 6 zeigt eine Liste von Parametern, die das Innenraumklima beeinflussen, wobei Maßnahmen der aktiven Kühlung nicht berücksichtigt sind. Die Liste wurde als Auszug aus den genannten gängigen Berechnungsmethoden erstellt und ist nicht abschließend, umfasst aber die allgemein berücksichtigten Einflussfaktoren. Ein weiterer Entscheidungsgrund, ob ein Parameter im Simulationsmodell betrachtet wird, ist die Möglichkeit einer aussagekräftigen Modellierung. Während sich zum Beispiel gängige Sonnenschutzvorrichtungen über den Abminderungsfaktor des Gesamtenergiedurchlassgrades der Verglasung abbilden lassen, müsste eine bauliche Verschattung durch Gebäudevorsprünge oder die Horizontverschattung durch andere Gebäude, Bäume oder Berge im Rahmen einer nicht projekt- bzw. standortspezifischen Untersuchung durch eine nahezu unbegrenzte Anzahl an Variationen modelliert werden.

Die gelisteten Parameter wurden anhand ihres Einflusses auf die sommerliche Überhitzung in Wohngebäuden bewertet. Die Einstufung wurde mittels Educated Guess durch die Projektpartner:innen erstellt.

Tabelle 6: Parameterpriorisierung mittels Educated Guess

Einfluss auf sommerliche Überhitzung in Wohngebäuden?	1 (niedrig)
Parameter	↓ 5 (hoch)
Orientierung (Ost/Süd/West)	3
Wärmespeicherfähigkeit	4
Fenstergröße/Verglasungsfläche	5
Gesamtenergiedurchlassgrad	4
Sonnenschutzvorrichtung	4
Sonnenschutzsteuerung	4
Bauliche Verschattung	4
Raumnutzung - Interne Lasten	3
Raumnutzung - Lüftungsprofil	4
Erhöhte Nachtlüftung	5
Raumgeometrie	3
Temperaturen in angrenzenden Bereichen	2
Baulicher Wärmeschutz (Wärmesenken)	1
Begrünung	1

Es kann festgestellt werden, dass eine Vielzahl hoch gewerteter Faktoren im Zusammenhang mit Fenstern, beziehungsweise Verglasungen stehen, wie die Verglasungsfläche, deren Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) oder etwaige Verschattungseinrichtungen. Auch dem Lüftungsverhalten und der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile wird eine hohe Bedeutung beigemessen. Parameter, die aufgrund einer niedrigeren Bewertung im Weiteren nicht betrachtet werden, sind zum einen Begrünung und der bauliche Wärmeschutz (Wärmesenken- bzw. Wärmequellenwirkung ist vorrangig bei Bestandsgebäuden von Bedeutung), sowie die Temperaturen in angrenzenden Bereichen, die über adiabate Zustände im Simulationsmodell eliminiert werden. Der Raumgeometrie wird eine etwas höhere Bedeutung beigemessen, eine Variation ist im betrachteten Einzonenmodell allerdings nicht vorgesehen. Die bauliche Verschattung kann einen sehr hohen Einfluss auf sommerliche Überhitzung haben, wird aber aufgrund der unbegrenzten Anzahl an möglichen Variationen nicht abgebildet.

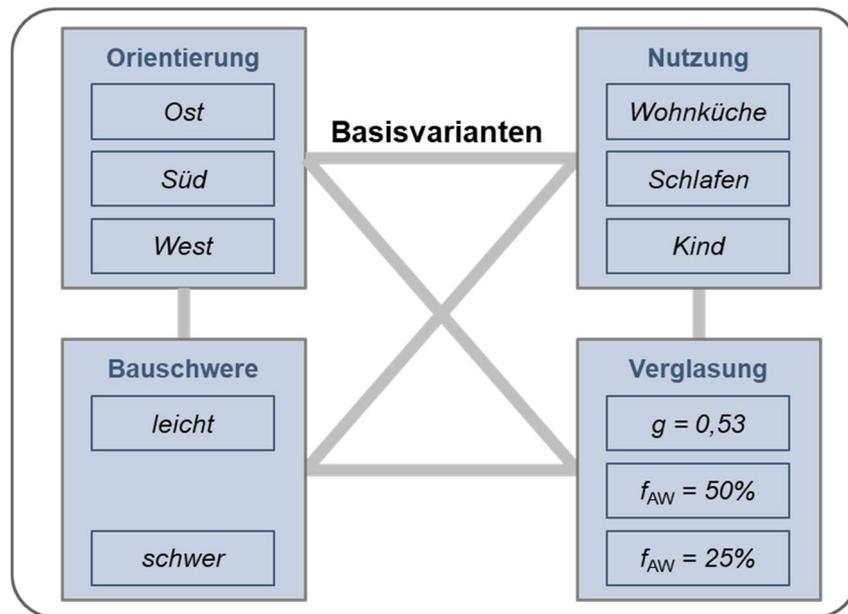


Abbildung 21: Bildung von Basisvarianten für die Simulationsbetrachtung über die identifizierten Hauptparameter; Quelle: eigene Darstellung

In einem weiteren Schritt wurden die vorliegenden Parameter unterschieden in Basisparameter, die eine Grundeigenschaft des Raumes und somit eine Eingangsvariable darstellen, und in Maßnahmen, um die diese Basiskonfigurationen ergänzt werden können. Abbildung 21 zeigt die möglichen Basis-kombinationen, die aus den als Eingangsgrößen eingeordneten Parametern resultiert. Die Orientierungen wurden in einer ersten Vereinfachung auf die drei Himmelsrichtungen reduziert, die im Tagesverlauf am intensivsten bestrahlt werden. Die Bauschwere dient als Abbild der Wärmespeicherfähigkeit und wird in „leicht“ und „schwer“ unterschieden, die für typische Bauweisen im Leichtbau (z.B. Holzständerbau) und Massivbau (z.B. Stahlbetonbauweise) stehen. Die dafür angesetzten Bauteilaufbauten sind im Anhang gelistet. Die Nutzung ist ausschlaggebend für die internen Lasten und das alltägliche Lüftungsprofil. Die Verglasung kombiniert die beiden Faktoren Gesamtenergiedurchlassgrad, wobei für die Untersuchung von einem konstanten g-Wert üblicher Dreischeibenisolierverglasungen von 0,57 ausgegangen wird, und fassadenbezogenen Fensterflächenanteil, der hier mit f_{AW} bezeichnet wird. Die Kombination aus Orientierung, Raumnutzung, Bauschwere, g-Wert und Verglasungsfläche ergibt eine Basisvariante, die im Simulationsmodell um verschiedene Zusatzmaßnahmen erweitert wird.

In Vorschau auf die im späteren Verlauf behandelten Basisvarianten zeigt *Tabelle 7* den ausgewählten Variantenpool. Die Festlegung erfolgt aufgrund von Erkenntnissen aus Vergleichssimulationen, die bei der späteren Interpretation der Ergebnisse noch detaillierter beschrieben werden. Hierbei wurde unter anderem ersichtlich, dass eine Raumnutzung als Kinderzimmer weniger kritische Ergebnisse liefert als die Raumnutzung Wohnküche, woraus die geringere Anzahl an betrachteten Varianten mit dieser

Nutzung resultiert. In der Legende werden die verwendeten Abkürzungen für eine eindeutige Ansprache jedes Szenarios gezeigt.

Tabelle 7: Vorschau auf in der Untersuchung behandelte Varianten

Variantenvergleich Basisvarianten						Legende	Abkürz.	
1	WoKü	L	25%	053	O	Nutzung	Wohnküche	WoKü
2	WoKü	L	50%	053	O		Schlafzimmer	SchZ
3	WoKü	S	25%	053	O		Kinderzimmer	KinZ
4	WoKü	S	50%	053	O	Orientierung	Nord	N
5	WoKü	L	25%	053	S		Ost	O
6	WoKü	L	50%	053	S		Süd	S
7	WoKü	S	25%	053	S		West	W
8	WoKü	S	50%	053	S	Bauschwere	leicht	L
9	WoKü	L	25%	053	W		schwer	S
10	WoKü	L	50%	053	W		Verglasung	g-Wert in %
11	WoKü	S	25%	053	W	Fensterflächenanteil		25% (Fassadenanteil)
12	WoKü	S	50%	053	W		25% (Fassadenanteil)	50%
13	WoKü	L	25%	053	N	Sonnenschutzvorrichtung	Sonnenschutzsteuerung	SSV
14	WoKü	L	50%	053	N			SSSt
15	WoKü	S	25%	053	N			
16	WoKü	S	50%	053	N			
17	KinZ	S	50%	053	W			
18	SchZ	L	50%	053	N			
19	SchZ	L	50%	053	O			
20	SchZ	S	50%	053	O			
21	SchZ	S	50%	053	W			
22	SchZ	L	25%	053	W			
23	SchZ	S	25%	053	W			

4.2.3.4. Kaskadierung passiver Maßnahmen

Jene abzubildenden Parameter aus *Tabelle 6*, die nicht zur Bildung der Basisvarianten dienen, stellen Variablen zur Minderung der Temperatursteigerung im Innenraum dar. Sie werden über die in *Tabelle 8* gelisteten passiven Maßnahmen repräsentiert, deren Funktionsweise und ihre Abbildung im Simulationsmodell nachfolgend erläutert wird. Die Reihung der Maßnahmen beschreibt mit den Zahlen 1 bis 4 deren Reihenfolge in der Kaskadierung, also der Aufeinanderfolge von Maßnahmen.

Tabelle 8: Kaskadierung der abgebildeten passiven Maßnahmen

passive Maßnahmen	1	Nachtlüftung
	2	innenliegende Sonnenschutzvorrichtung
	3	außenliegende Sonnenschutzvorrichtung
	4	automatische Sonnenschutzsteuerung

Für die Modellierung der Maßnahmen 1 bis 3 zur Anwendung in den Simulationsberechnungen wurde ein Nutzer:innenverhalten zugrunde gelegt, dass seitens der Bearbeiter als üblich angesehen werden kann. Dies impliziert u.a., dass kein ideales bauphysikalisches Handeln angenommen werden kann. Es wird jedoch vorausgesetzt, dass ein an die Wetterverhältnisse angepasste Verwendung der vorgesehenen Maßnahmen durch die Nutzer:innen erfolgt.

1. Für den Fall einer Nachtlüftung wird unter definierten innen- und außenklimatischen Voraussetzungen ein nächtliches Kippen oder komplettes Öffnen eines Fensters angenommen.
Nachdem die Möglichkeit zur Nachtlüftung nicht als grundsätzlich gegeben angesehen werden kann, z.B. aufgrund von Einschränkungen durch Emissionen oder Sicherheitsbedenken, werden die Maßnahmen 2 bis 4 sowohl in Kombination mit als auch ohne Nachtlüftung betrachtet.
2. Der innenliegende Sonnenschutz wird mit einem g_{tot} aus Sonnenschutzvorrichtung und Verglasung von 0,30 angenommen. Zur Abbildung einer nutzer:innenabhängigen Regelung wird bei Personenanwesenheit ab einer vorgegebenen Mindestleistung der Direktstrahlung eine Aktivierung des Sonnenschutzes vorgesehen. Dies berücksichtigt die Annahme, dass Nutzer:innen vor allem bei direkter Bestrahlung, beispielsweise auch um Blendungen zu vermeiden, zu einer Aktivierung des Sonnenschutzes animiert werden. Bei Abwesenheit von Personen wird ein nicht-aktivierter Sonnenschutz angenommen, um das Ausmaß eines vorsorglichen Nutzer:innenverhaltens nicht zu überschätzen. Eine mögliche Beeinflussung des Lüftungspotentials untertags oder in der Nacht durch Sonnenschutzvorrichtungen wird nicht berücksichtigt.
3. Die Abbildung des außenliegenden Sonnenschutzes erfolgt analog zu einem innenliegenden, allerdings mit einem g_{tot} aus Sonnenschutzvorrichtung und Verglasung von 0,05. Der außenliegende Sonnenschutz stellt keine Ergänzung des innenliegenden Sonnenschutzes dar, sondern einen Ersatz hierfür.
4. Anstelle der manuellen Bedienung des außenliegenden Sonnenschutzes wird eine automatische, strahlungsbasierte Sonnenschutzsteuerung vorgesehen. Der Sonnenschutz wird ab einer definierten Gesamtstrahlungsleistung (Diffus- und Direktstrahlung) automatisch aktiviert. Die Möglichkeit der Strahlungsmessung wird vorausgesetzt. Bei einem innenliegenden Sonnenschutz sind automatische Steuerungen kein üblicher Anwendungsfall und werden deshalb nicht in Kombination betrachtet.

Jede Basisvariante wird auf den jeweiligen Standort und die gewählten Klimaszenarien angewendet. Trotz der vorgenommenen Einschränkungen ergeben sich daraus aber weiterhin eine Vielzahl von Varianten, wie Abbildung 22 verdeutlichen soll.

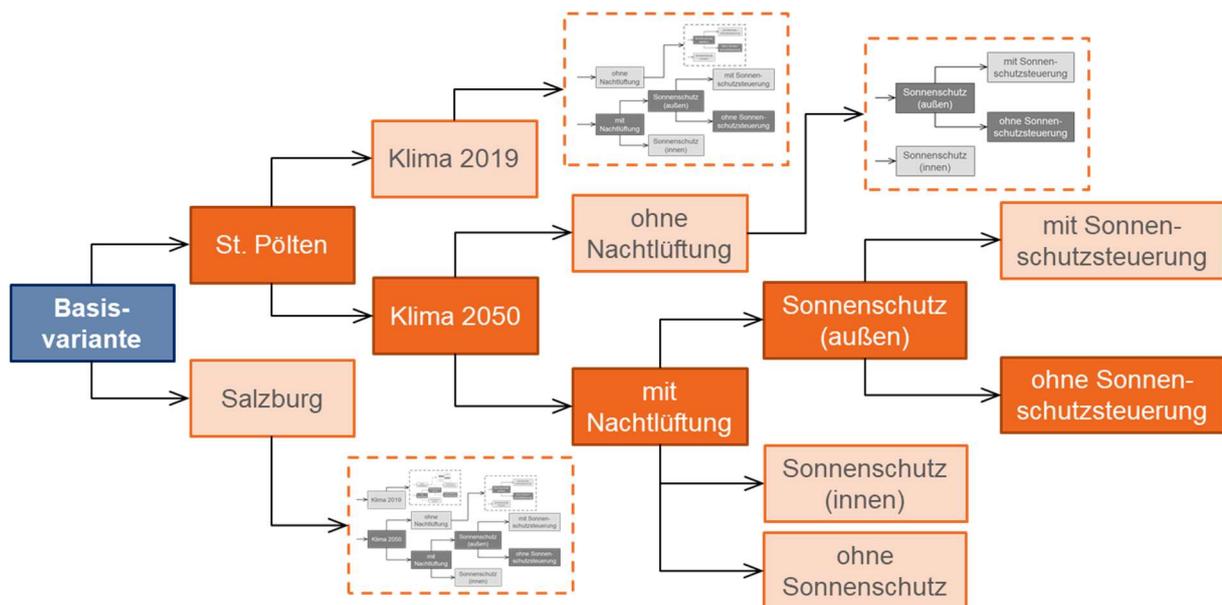


Abbildung 22: Pfad einer Simulationsvariante entlang aller Abfragen; Quelle: eigene Darstellung

Der Fall ohne passive Maßnahmen (Basisvariante) wird um die Möglichkeiten der Nachtlüftung, des Sonnenschutzes und einer entsprechenden Steuerung erweitert werden. Die angedeuteten weiteren Wege des Pfades verdeutlichen die Vielzahl an unterschiedlichen Betrachtungsfällen. Um das Maß der daraus resultierenden Simulationsberechnungen und deren Auswertungen zu minimieren, wurden weiters nur Varianten betrachtet, die für die Bewertung eine Relevanz erwarten lassen (vgl. *Tabelle 7*). Abbildung des Kühlszenarios

Zur Abschätzung des Potentials einer Gebäudekühlung in Bezug auf die Überschreitung der Bezugstemperatur wird das Verhalten eines Raums bzw. einer Variante sowohl ohne als auch mit Kühlung betrachtet. Für eine vergleichende Betrachtung ist jedoch die Festlegung einer möglichen Kühlleistung notwendig. Für die Simulation unter Berücksichtigung einer aktiven Gebäudekühlung wird eine maximale Kühlleistung von 400 W festgelegt. Dies entspricht bei einem flächigen Übergabesystem wie Decken- und Fußbodenkühlung und einer vorgegebenen Nettogrundfläche des betrachteten Einzonenmodells einer spezifischen Leistung von 20 W/m². In der Literatur werden für Flächenkühlsysteme üblicherweise Vorlauftemperaturen zwischen 16 °C und 23 °C angegeben (Zhang et al., 2021, S. 11). Mittels stationärer Simulation wurde überprüft, welche Vorlauftemperaturen bei üblichen Bauformen von Kühlsystemen für die Erreichung einer Kühlleistung von 20 W/m² Bauteilfläche notwendig sind. Wie Abbildung 23 zeigt, liegen die Vorlauftemperaturen bei Fußbodenkühlungssystemen mit verschiedenen Bodenbelägen und einer Stahlbetondecken innerhalb des angegebenen Temperaturbereichs. Lediglich die seltenere Bauform mit thermisch aktivierter Massivholzdecke benötigt niedrigere Vorlauftemperaturen. Die Schwankung der Ergebnisse bei der Massivholzdecke resultiert aus einer Variation der Rohrüberdeckung von 20 mm. Es sei der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass die Sicherstellung der Kühlleistung ein entsprechendes Kühlpotential auf der Erzeugerseite erfordert. Diese sind bei erneuerbaren Energiequellen, die als Wärmesenken das Erdreich oder das Grundwasser nutzen, nicht in jedem Fall gegeben. Auf die Betrachtung anderer Kälteübergabe- und Kälteerzeugungssysteme, wie Raumklimasysteme, wird an dieser Stelle verzichtet.

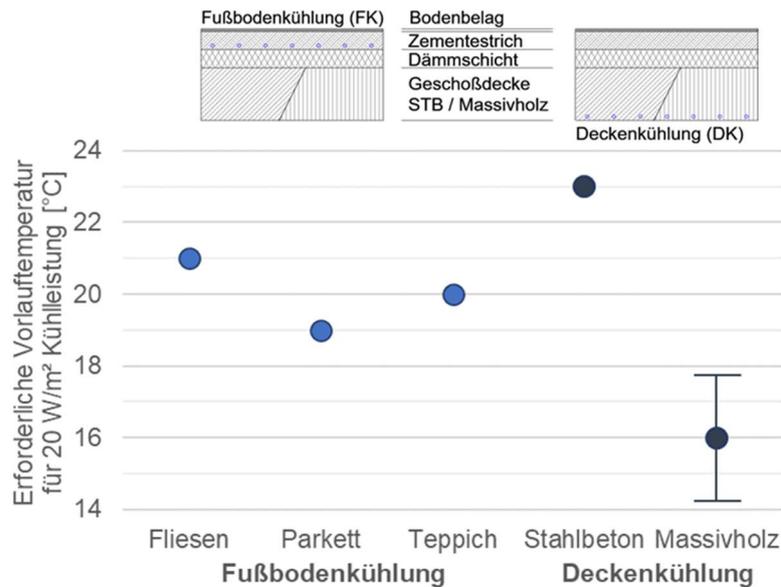


Abbildung 23: Schematischer Aufbau der Geschoßdecke mit Lage der Rohrleitungen und erforderliche Vorlauftemperaturen [°C] bei 20 W/m² Kühlleistung; Baustoffdaten (Schichtdicke, Rohdichte, Wärmeleitung und -kapazität) entsprechend den Bauteilaufbauten im Simulationsmodell (siehe Anhang) bzw. anhand handelsüblicher Produkte für die Bodenbeläge; Quelle: eigene Darstellung

Als Randbedingung im Kühlfall wurde auf beide Seiten der Geschoßdecke eine Innenraumtemperatur von 26°C angenommen. Die Kühlsysteme wurden mit einer Rohrdicke von 16 mm (Wandstärke 2 mm) und einem Rohrabstand von 0,15 m modelliert. Für Kühlsysteme im Estrich wurden drei verschiedene Bodenbeläge (15 mm Parkett, 10 mm Fliesen, 5 mm Teppichboden) und für Kühlsysteme in Massivdecken zwei verschiedene Materialien (Stahlbeton/STB und Massivholz) betrachtet.

4.2.3.5. Entwicklung einer Bewertungsmethodik

Basierend auf der Sichtung verschiedener Nachweis- und Bewertungsverfahren für das sommerliche Verhalten von Innenräumen in Kapitel 4.2.2.1. wurde eine Bewertungsmethodik entwickelt, die den Ansatz einer ganzjährigen Betrachtung mit der einer Kurzzeitperiode (hier: siebentägige Hitzeepisode) kombiniert. Dies erlaubt es, Aussagen über das sommerliche Verhalten eines Raums zu treffen, die sowohl eine generelle sommerliche Tauglichkeit bewertet als auch die Resilienz gegenüber Extremereignissen. Es wird hier der Begriff der Hitzeepisode gewählt, damit keine Verwechslung mit dem üblicherweise verwendeten Begriff der Hitzewelle entsteht. Einerseits ist der Begriff Hitzewelle weder international noch auf europäischer Ebene einheitlich definiert, andererseits beschreibt die Hitzeepisode nach unserer Verwendung einen Zeitraum von zusammenhängend 168 h, die kumuliert die größte Übertemperaturhäufigkeit ergeben. Es werden dabei keine Mindestwerte an das Außenklima gestellt.

Sowohl die kombinierte Betrachtungsweise als auch die isolierte Betrachtung der meteorologischen Erscheinung einer Hitzeepisode ist weder in der synthetischen Ein-Tages-Betrachtung der ÖNORM B 8110-3 noch beim Sonneneintragskennwertverfahren der DIN 4108-2 bzw. bei der damit in Verbindung stehenden thermischen Gebäudesimulation berücksichtigt.

Grundlage der Methodik ist die Bewertung der operativen Innenraumtemperaturen nach EN 16798-1, die den Fall ohne und mit Gebäudekühlung differenziert. Für beide Fälle wurden zulässige Überschreitungstoleranzen der Grenztemperaturen sowohl für das Kalenderjahr als auch für die siebentägige Hitzeepisode definiert (siehe *Tabelle 9* und *Tabelle 10*), wobei sich hierbei die Festlegung der Temperaturgrenzen unterscheidet. Der Kühlfall wurde zudem um das Kriterium der Kühlhäufigkeit erweitert, welches als Bewertungskriterium für ökonomische und ökologische Aspekte dienen kann. Die farbliche Abstufung der Werte wird in einer später beschriebenen Ergebnisdarstellung wieder aufgegriffen.

Tabelle 9: Bewertungskriterien für den Fall, dass keine Gebäudekühlung installiert ist („oK“ = ohne Kühlung)

Bewertung			Skala										
Über- hitzung	Jahr	ÜTH _{365,oK}	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
	Hitzepisode	ÜTH _{7,oK}	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

Die Simulationsberechnungen haben u.a. die operative Innentemperatur für jede Stunde eines Jahres zum Ergebnis. Diesen stündlichen Werten wird eine Grenztemperatur gegenübergestellt, die sich aus der Behaglichkeitsbewertung ergibt. Liegt der ermittelte Wert über der Grenztemperatur, spricht man von einem Überschreitungsereignis (Abbildung 24). Der prozentuale Anteil von Überschreitungsereignissen in einem Betrachtungszeitraum ergibt die Übertemperaturhäufigkeit (ÜTH). Grundlage für die Bewertung von Übertemperaturereignissen für einen Raum ohne maschinelle Kühlung ist das adaptive Komfortmodell nach EN 16798-1. Dieses beschreibt einen Grenzwert in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außenlufttemperatur vorangegangener Tage, was bedeutet, dass ferner zurückliegende Tage weniger stark berücksichtigt werden. Die Rückschau erfolgt im Projekt für sieben Tage. Dieser variable Grenzwert impliziert eine adaptierte Erwartungshaltung der Nutzer:innen durch die Wahrnehmung von Wettererscheinungen. Für die Bewertung wird hier Kategorie III zugrunde gelegt, was eine Erhöhung der als optimal angesehenen Raumtemperatur um vier Kelvin bedeutet (Tabelle 10). Die Einstufung dieser Kategorie kann entsprechend ISO 17772-2:2018 erfolgen, die von EN 16798-1 in Bezug genommen wird. Demnach entspricht Kategorie III einem Anforderungsniveau, das als noch akzeptabel eingeschätzte raumklimatische Bedingungen einhält.

Tabelle 10: Bewertungsgrundlage für die Kategorien I bis III mit θ_o = operative Innentemperatur und θ_{rm} = gleitender Mittelwert der Außentemperatur, beides in ° C; Quelle: EN 16798-1

Kategorie	Zulässige operative Innentemperatur θ_o in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur θ_{rm}	
I	obere Grenze:	$\theta_o = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 + 2$
	untere Grenze:	$\theta_o = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 - 3$
II	obere Grenze:	$\theta_o = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 + 3$
	untere Grenze:	$\theta_o = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 - 4$
III	obere Grenze:	$\theta_o = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 + 4$
	untere Grenze:	$\theta_o = 0,33 \cdot \theta_{rm} + 18,8 - 5$

Dabei wird eine Bewertung für ein Jahr mit 365 Tagen und für die hierin maßgebliche Hitzepisode unterschieden. Für die ganzjährige Betrachtung (ÜTH₃₆₅) wird eine Toleranz von 4 % der Jahresstunden als akzeptabler Wert angenommen. Dieser Wert liegt im Bereich der in ISO 17772-2:2018, Anhang I empfohlenen 3 % bis 6 %. Für eine Bewertung von erwartbaren Extremereignissen wird ein kürzerer Auswertungszeitraum betrachtet, um die Bedeutung von Hitzepisoden zu verdeutlichen. Hierzu werden die aufeinanderfolgenden sieben Tage mit dem höchsten Maß der Übertemperaturhäufigkeit betrachtet. Eine hinreichende Resilienz des Raumes gegenüber Hitzepisoden wird unterstellt, wenn der Wert ÜTH₇ weniger als 30 % beträgt. Dieser Wert liegt wiederum bei der in ISO 17772-2:2018 angegebenen Spanne von 20 % bis 50 % an der unteren Grenze des Wertebereichs.

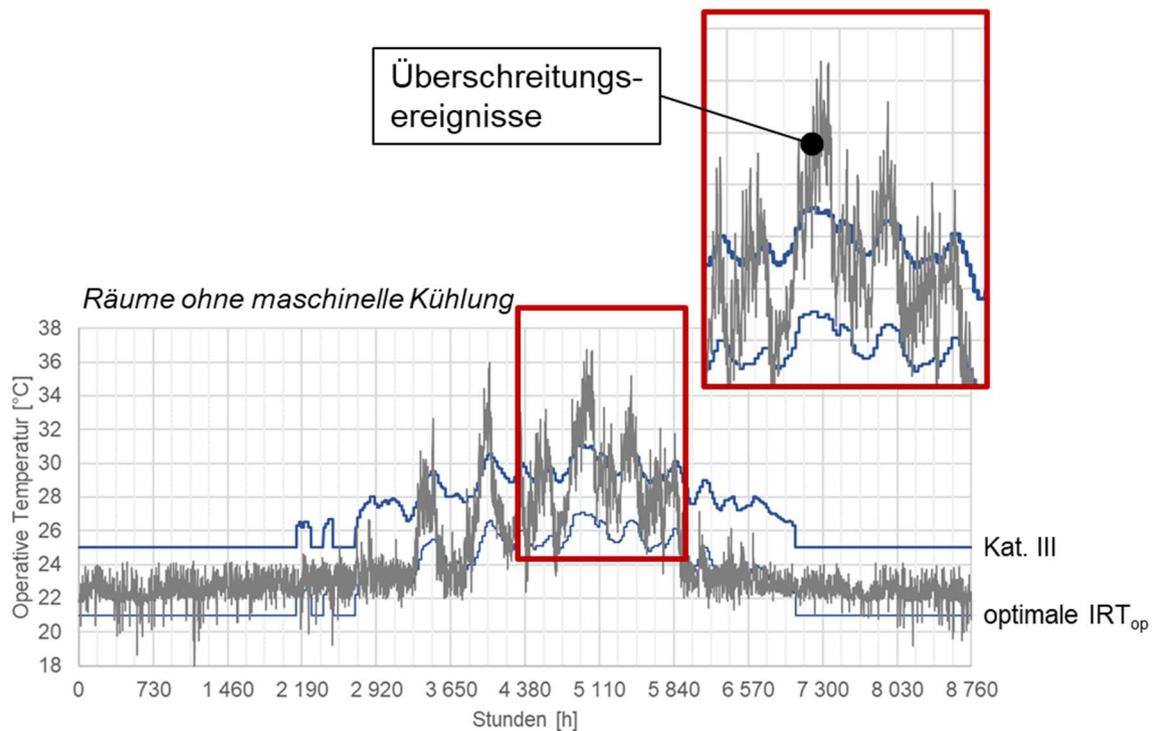


Abbildung 24: Darstellung eines beispielhaften Jahresverlaufs der operativen Raumtemperatur (grau) und der Temperaturgrenze der Kategorie III nach EN 16798-1

Für eine vergleichende Betrachtung soll das Verhalten derselben Raumkonfiguration bei einer vorhandenen Gebäudekühlung untersucht werden. Dabei wird die vorgenannte Kühlleistung von 20 W/m² Nettogrundfläche angesetzt. Als Bewertungskriterien werden hier die Kühltauglichkeit und die Kühlhäufigkeit verwendet. Die beiden Kriterien werden im Weiteren erläutert.

Tabelle 11: Bewertungskriterien für Gebäude mit Gebäudekühlung („mK“ = mit Kühlung)

Bewertung			Skala										
Kühlperiode	Kühltauglichkeit	KT _{214,mK}	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%
	Kühlhäufigkeit	KH _{214,mK}	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Hitzeepisode	Kühltauglichkeit	KT _{7,mK}	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
	Kühlhäufigkeit	KH _{7,mK}	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

Anders als im ungekühlten Fall erfolgt die Bewertung der Behaglichkeitsgrenzen der operative Raumtemperatur nach EN 16798-1 bei vorhandener Gebäudekühlung anhand eines konstanten Grenzwerts. Unter der Voraussetzung einer Gebäudekühlung wird für die Behaglichkeitsbewertung hier als Anforderungsniveau mit höherem Anspruch die Kategorie II gewählt. Damit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass Nutzer:innen in gekühlten Räumen geringere Raumtemperaturen erwarten. Mit der Kategorie II ist ein Grenzwert von 26 °C verbunden, wobei der Ist-Wert auf ganze Zahlen (ab-)gerundet wird. Daraus leitet sich das Kriterium der Kühltauglichkeit eines Raums ab, welche aus der hier gewählten Begrenzung der Kühlleistung (20 W/m²) und des daraus resultierenden begrenzten Vermeidungspotentials von Überhitzung resultiert. Der Wert beschreibt den prozentualen Anteil der

Stunden innerhalb eines Betrachtungszeitraums, in denen die operative Innentemperatur den konstanten Höchstwert nicht überschreitet. Als Kühlperiode wird hier ein Zeitraum von 214 Tagen (KT₂₁₄, 1. April bis 31. Oktober) und als Hitzeepisode wiederum der Zeitraum von 168 aufeinanderfolgenden Stunden mit der häufigsten Grenzwertüberschreitung angenommen. Ein hohes Maß der Kühltauglichkeit wird positiv bewertet. Für die Kühlperiode wird ein Schwellenwert von 97 % (zulässige Überschreitung von 3 %), für die Hitzeepisode von 70 % (zulässige Überschreitung von 30 %) für die farbliche Bewertung zugrunde gelegt (Tabelle 11).

Als Kennwert für den notwendigen Aufwand im Falle einer installierten Gebäudekühlung wird deren potentielle Laufzeit mittels Vollbetriebsstunden, bezogen auf den Betrachtungszeitraum, als Maßzahl für die Kühlhäufigkeit angegeben. Die Kühlung wird ab dem Überschreiten des Sollwerts für die Innentemperatur von 26 °C als aktiviert angenommen. Die Vollbetriebsstunden beziehen sich auf die hier festgelegte maximale Kühlleistung von 400 W. Dies bedeutet, dass eine Stunde mit einer Kühlleistung von 400 W als eine Vollbetriebsstunde gewertet wird, ebenso wie zwei Stunden mit einer durchschnittlichen Kühlleistung von 200 W. Die Anzahl der Vollbetriebsstunden geteilt durch die Stundenanzahl des Auswertzeitraums ergibt das Maß für die Kühlhäufigkeit. Geringe Laufzeiten einer Gebäudekühlung werden als positiv bewertet. Für die Kühlperiode wird ein Schwellenwert von 10 % und für die Hitzeepisode von 40 % für die farbliche Bewertung angesetzt (Tabelle 11).

4.2.3.6. Gegenüberstellung der Bewertungsmethodik mit gängigen Nachweisverfahren

Zur Untersuchung der entwickelten Bewertungsmethodik und der Überschreitungstoleranzen auf Plausibilität wurden die Ergebnisse der Gesamtjahresbetrachtung von sechs Räumen mit deren Abschneiden in gängigen Nachweis- und Bewertungsverfahren verglichen. Im deutschen Nachweisverfahren mittels Simulation werden Übertemperaturgradstunden (ÜTG) ausgewertet. Um die Simulationsergebnisse vergleichbar zu gestalten, werden die stündlichen Übertemperaturereignisse nach EN 16798-1 mit dem Maß ihrer Überschreitung multipliziert, wodurch sich das Maß für ÜTG₃₆₅ ergibt. Die Einheit sind Kelvinstunden (Kh).

Tabelle 12: Gegenüberstellung einer Auswertung der ÜTH(365) mit der Bewertungsmethodik nach EN 16798-1 mit öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahren

Rahmenbedingungen: Klimadaten = aktuell Nutzungsprofil = Wohnküche g-Wert der Verglasung = 0,53 Fc-Wert Sonnenschutz = 1,00 Nachtlüftung			S_N_50%	L_N_50%	S_N_25%	L_N_25%	S_W_25%	L_W_25%
EN 16798-1:2019 * St. Pölten	Berechneter Wert [Kh]		0	75	0	0	50	229
	Anforderungswert [Kh, Kat. III]		350					
	Ausnutzungsgrad	-						
ÖNORM 8110-3:2020 St. Pölten	Berechneter Wert [°C]		24,4	25,6	24,1	24,8	26,6	27,9
	Anforderungswert [°C]		29,3					
	Ausnutzungsgrad	-						
EN 16798-1:2019 * Test Reference Year Mannheim	Berechneter Wert [Kh]		0	93	0	0	31	268
	Anforderungswert [Kh, Kat. III]		350					
	Ausnutzungsgrad	-						
DIN 4108-2:2013 Sommerklimaregion C Tabellenverfahren	Berechneter Wert	-	0,187	0,187	0,093	0,093	0,093	0,093
	Anforderungswert	-	0,183	0,160	0,222	0,199	0,122	0,099
	Ausnutzungsgrad	-						
DIN 4108-2:2013 Sommerklimaregion C Thermische Simulation	Berechneter Wert [Kh]		241	589	3	66	580	1 007
	Anforderungswert [Kh]		1 200					
	Ausnutzungsgrad	-						

* zuvor beschriebene eigene Bewertungsmethodik

In Tabelle 12 sind in den Spalten die Ergebnisse von sechs verschiedenen Modellräumen dargestellt, die sich in ihrer Bauschwere, der Orientierung und ihrem Fensterflächenanteil unterscheiden. Hierbei stehen „L“ und „S“ für leichte und schwere Bauweise, „N“ und „W“ für Nord- oder Westorientierung und die Prozentzahl für den fassadenbezogenen Fensterflächenanteil (Verglasungsfläche ohne Rahmenanteil). Der Anforderungswert für die Betrachtung mit der entwickelten Bewertungsmethodik resultiert aus dem Grenzwert der operativen Innentemperatur nach Kategorie III und einem angenommenen jährlichen Überschreitungsmaß des Grenzwerts von 4 %, was bei jährlichen 8 760 Stunden in einen Wert von 350 Kh/a ergibt. Es wird ersichtlich, dass alle Räume unter den angegebenen Randbedingungen, wie den gegenwärtigen Klimadaten für St. Pölten, einer Nutzung als Wohnküche, keinem Sonnenschutz (was durch einen F_c-Wert von 1,00 impliziert wird) und angesetzter Nachtlüftung, den Grenzwert der Ganzjahresbetrachtung deutlich unterschreiten. Den höchsten Einzelwert weist der westorientierte Raum mit leichter Bauweise auf.

Führt man für die Räume den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach OIB-Richtlinie 6 und betrachtet die Vermeidung sommerlicher Überwärmung, ergibt sich für den Standort St. Pölten ein unter den Simulationsrandbedingungen nicht zu überschreitender Wert der operativen Raumtemperatur von 29,3 °C. Die normgerecht ermittelten Höchstwerte bleiben für alle Raumvarianten wiederum unter dem Grenzwert, wodurch die Anforderung als erfüllt angesehen wird. Die höchste Ausnutzung zeigt derselbe Raum wie im Verfahren nach EN 16798-1. Auch die anderen Varianten schneiden in beiden Verfahren in einem vergleichbaren Verhältnis zueinander ab. Dies erlaubt den Rückschluss, dass das angewandte Verfahren in keinem grundsätzlichen Widerspruch zu den Anforderungen und Grundzügen des öffentlich-rechtlichen Nachweises steht.

Für einen Abgleich mit den deutschen Nachweisverfahren ist eine Einordnung in die dort differenzierten Sommerklimaregionen erforderlich. Eine Simulation und Auswertung derselben

Raumkonfigurationen mit dem Klimadatensatz des Test Reference Year (TRY) Mannheim, welches für die Sommerklimaregion C nach DIN 4108-2 steht und die sommerheißen Gebiete repräsentiert, zeigt eine hohe Korrelation mit den Ergebnissen für St. Pölten. Diese Region wird somit als Referenz für die nicht vorgesehene Abbildung des Standorts St. Pölten im deutschen Nachweisverfahren angewendet. Führt man anschließend für die Varianten den rechnerischen Nachweis mittels des Sonneneintragskennwerteverfahrens, überschreiten die beiden Räume mit 50 % Fensterflächenanteil trotz Nordorientierung und auch bei schwerer Bauweise die spezifischen Anforderungswerte der Räume. Die Räume mit geringerer Fensterfläche erfüllen jeweils die Anforderungen, wobei der westorientierte Raum mit leichter Bauweise wieder die geringsten Reserven hat. Wendet man jedoch das Simulationsverfahren mit den entsprechenden Randbedingungen der DIN 4108-2 an, stehen die Räume in einem vergleichbaren Verhältnis zu den Auswertungen nach EN 16798-1 und dem öffentlich-rechtlichen Nachweis in Österreich. Da ausschließlich das Sonneneintragskennwerteverfahren der DIN 4108-2 ein besonders schlechtes Abschneiden der Räume mit hohem Fensterflächenanteil zeigt, kann hier eine Überschätzung des Einflusses der Fensterfläche unterstellt werden.

Das Verfahren nach EN 16798-1 mit den hier angenommenen Randbedingungen sowie einer unterstellten jährlichen Überschreitungstoleranz von 4 % zeigen in der Gegenüberstellung mit anderen Nachweisverfahren ein hohes Maß an Übereinstimmung. Da das Ziel der entwickelten Bewertungsmethodik keine Verschärfung von Anforderungen, sondern eine um andere Faktoren erweiterte Betrachtung ist, können die Ansätze nach EN 16798-1 weiterverfolgt werden.

4.2.4. Innovationsgehalt

Einige der in den Grundlagen beschriebenen Randbedingungen sowie im Weiteren noch behandelte Themen stellen im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Ansätze dar, die sich von den bisherigen Betrachtungs- und Vorgehensweisen unterscheiden. Dies ist in der Regel auf ein bisheriges Fehlen vergleichbarer Methoden wie eine Betrachtung von Hitzeepisoden oder auf nicht berücksichtigte Aspekte in üblichen Nachweisverfahren, z.B. differenzierte Raumnutzungen, zurückzuführen.

4.2.4.1. Differenzierung von Raumnutzungen

Während sowohl im österreichischen als auch im deutschen Nachweisverfahren für den zu untersuchenden Raum die Randbedingungen einer Wohnnutzung im Allgemeinen, gegebenenfalls differenziert nach Ein- und Mehrfamilienhaus, anzunehmen sind, werden in der vorliegenden Untersuchung basierend auf den nachfolgend dargestellten maßgeblichen Unterschieden bei Wärmeeinträgen und im Nutzer:innenverhalten verschiedene Raumnutzungen differenziert. Diese wurden bereits für die Generierung der Basisvarianten genannt und bilden Raumnutzungen als Wohnküche, Schlaf- und Kinderzimmer ab. Umfang und Grundlagen für die Nutzungsprofile werden detailliert beschrieben und sind auch für weitere Nutzungsweisen adaptierbar. Die Differenzierung der Räume nach Nutzungsweise verdeutlicht den Einfluss des Nutzer:innenverhaltens auf eine mögliche Überhitzung von Räumen. Dieser sollte für eine aussagekräftige Bewertungen von Maßnahmen nicht vernachlässigt werden, wie die Varianz der Ergebnisse zeigt. Aus diesem Grund resultiert auch der Anspruch, ein übliches Nutzer:innenverhalten abzubilden und kein optimiertes oder vorsorglich handelndes.

4.2.4.2. Betrachtung Kurzzeit- und Gesamtperiode

Einen Ansatz, der bislang in keinem gängigen Nachweisverfahren Anwendung findet, stellt die kombinierte Betrachtung der Gesamtperiode und einer darin maßgeblichen Kurzzeitperiode, hier der Hitzeepisode, für die Bewertung einer Raumkonfiguration dar. Da eine Variation der Basisparameter oder der passiven Maßnahmen unterschiedliche Auswirkungen auf die beiden Betrachtungszeiträume haben kann, korreliert deren Reaktion nicht zwingendermaßen. Beide Ansätze sind in ihren Grundsätzen keine neue Betrachtungsweise. So erfolgt der Nachweis der vermiedenen sommerlichen

Überwärmung nach ÖNORM 8110-3:2019 in einer Kurzzeitbetrachtung anhand eines maßgeblichen Sommertags. Das in Deutschland zulässige Simulationsverfahren wiederum betrachtet Überhitzungsereignisse während des Gesamtjahrs.

Die Bewertung der Hitzeepisode dient in der hier entwickelten Bewertungsmethodik als Maß für die Gebrauchstauglichkeit eines Wohnraums in einem erwartbaren sommerlichen Szenario. Bei Überschreitung der angenommenen Schwellenwerte wird eine zweckdienliche Nutzung als Wohnraum in dieser Episode als nicht wahrscheinlich angesehen. Die Betrachtung einer langfristigen Periode, für den ungekühlten Fall das Kalenderjahr und für den gekühlten Fall die festgelegte Kühlperiode, kann als Kennwert für behagliche Zustände im Innenraum angesehen werden. Wird der Grenzwert überschritten, ist mit regel- und gegebenenfalls übermäßigen Komforteinbußen zu rechnen.

4.2.4.3. Bewertungskriterien für den Kühlfall

Um für den Fall einer installierten Gebäudekühlung nicht nur deren Auswirkungen auf den Komfort, sondern auch die ökonomischen und ökologischen Folgen zu betrachten, wurden die Kriterien der Kühltauglichkeit und Kühlhäufigkeit eingeführt und zu einer gemeinsamen Betrachtung kombiniert. Ersterer Wert beschreibt die grundsätzliche Eignung eines Raums, durch eine begrenzte Kühlleistung auf behagliche Zustände konditioniert zu werden, wobei eine adaptierte Erwartungshaltung durch die Gebäudekühlung in der Behaglichkeitsbetrachtung berücksichtigt wird. Die Kühlhäufigkeit ist wiederum ein Indiz für den erwartbaren Aufwand für den Betrieb der Gebäudekühlung, unabhängig davon, ob das Kriterium der Kühltauglichkeit erfüllt wird. Die farbliche Abstufung verdeutlicht den bei einer untersuchten Variante erforderlichen Aufwand und ermöglicht eine Abschätzung des Optimierungspotentials durch weitere passive Maßnahmen oder bei einer anderen Basisvariante. Die Ansätze aus der vorliegenden Untersuchung können jedoch auch für die individuelle Betrachtung einer Gebäudeeinheit adaptiert werden. Hierbei kann in Kombination mit den spezifischen Aufwendungen für Erzeugung, Speicherung und Verteilung im Kühlsystem eine Abschätzung des ökonomischen und ökologischen Einsatzes erfolgen.

4.2.4.4. Ergebnisdarstellung mit kaskadierender Maßnahmenbewertung

Ein maßgebliches Ziel des Projektes ist die Ergebnisdarstellung in einer Übersichtsmatrix (Abbildung 25), die einen unmittelbaren Vergleich verschiedener Randbedingungen (Standort und Klimaszenarien) sowie die Berücksichtigung unterschiedlicher passiver Maßnahmen ermöglicht, um den Einfluss der Parameter auf die gewählten Kriterien sichtbar zu machen.

Die mehrheitlich blau hinterlegten Felder bilden eine Kopfzeile zur Erläuterung der untenstehenden farblichen Bewertungen. In der linken oberen Ecke sind die Basisparameter erläutert, die für die gesamte Übersicht gelten. Die Kopfzeile wird von oben nach unten gelesen, wodurch jede Spalte eine eindeutige Bezeichnung erhält, die die zu den Basisparametern angesetzten passiven Maßnahmen umfasst. Bei den passiven Maßnahmen wird unterschieden, ob zusätzlich eine Nachtlüftung erfolgt oder nicht.

Die eigentliche Ergebnisdarstellung ist in vier Felder unterteilt. Horizontal werden die Ergebnisse aus den Untersuchungen mit den gegenwärtigen und den für 2050 projizierten Klimadaten differenziert. Vertikal findet die Unterscheidung der Standorte Salzburg und St. Pölten statt. Somit steht jedes Viertel der Tabellenübersicht für eine Kombination aus Standort und Klimadaten.

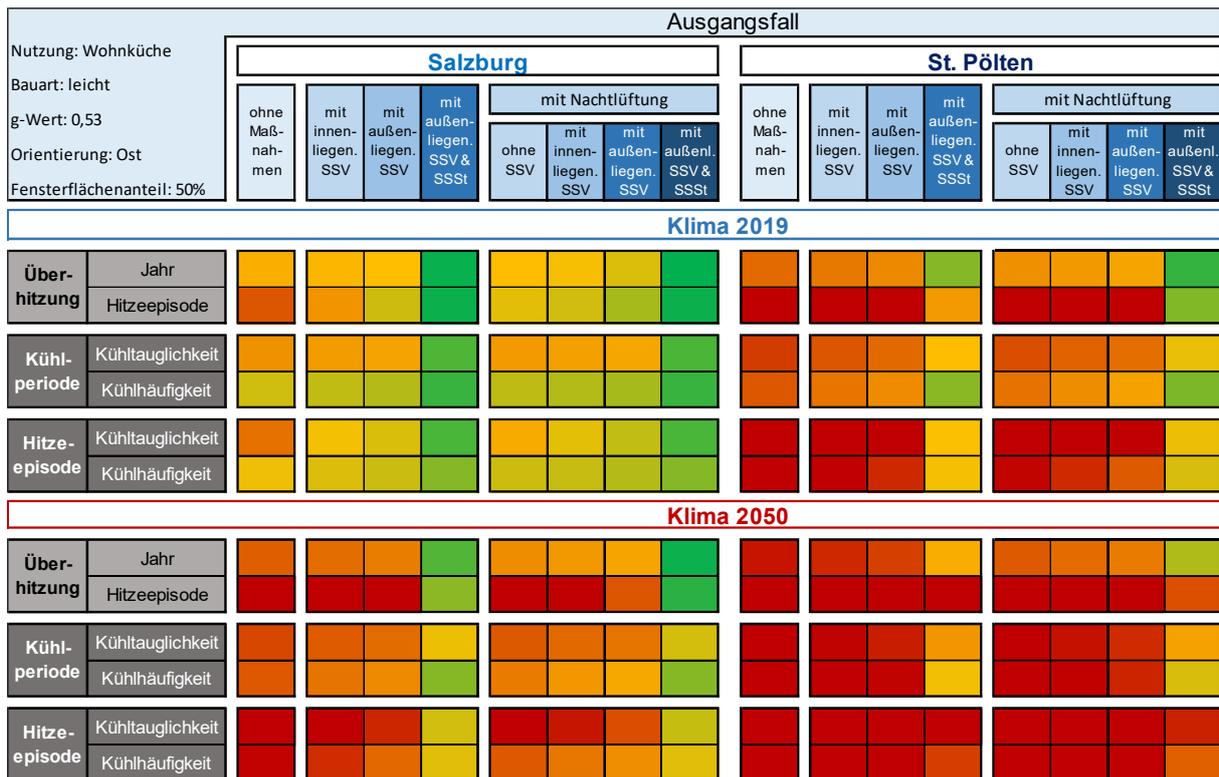


Abbildung 25: Darstellung der Simulationsauswertungen in einer Ergebnisübersicht; Abkürzungen: SSV = Sonnenschutzvorrichtung, SSSt = Sonnenschutzsteuerung; Quelle: eigene Darstellung

Innerhalb jedes Viertels werden die Ergebnisse für den ungekühlten und den gekühlten Fall dargestellt, entsprechend den Erläuterungen und farblichen Abstufungen nach Kapitel 4.2.3.5. Die Kriterien für den Fall ohne Kühlung sind die hellgrau hinterlegten Felder, die für den gekühlten Fall sind dunkelgrau gefärbt. Innerhalb der Gesamtgrafik kann nun zu jeder Konfiguration aus Basisvariante und passiven Maßnahmen das Ergebnis für jedes Kriterium unter zwei Standorten und Klimaradbedingungen anhand des Farbfeldes identifiziert werden. Die Ergebnisübersicht wurde für alle in Anhang A.4 gelisteten Basisvarianten erstellt und zur Ableitung von Erkenntnissen zu sommertauglichen Raumkonfigurationen und über die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen genutzt.

4.3. Einzonenmodell

4.3.1. Modellraum

Zur Herleitung und Plausibilitätsprüfung von Simulationsrandbedingungen wurden Testsimulationen an einem Einzonenmodell (Abbildung 26) mit den Innenabmessungen 5,50 m x 3,60 m x 2,60 m (L x B x H) und somit einer Grundfläche von 19,80 m² durchgeführt. Dies erlaubt eine individuelle Betrachtung von Parametern durch einfache Varianz und Betrachtung der Veränderung in den Ergebnissen. Im Modell adaptiert werden können alle in Abbildung 21 genannten Basisparameter, die die Bauweise, die Orientierung, die Raumnutzung, den g-Wert und den Fensterflächenanteil umfassen.

Das Modell umfasst eine Außenfassade, alle anderen Wände, die Decke und der Boden bilden Innenteile ab, über die entsprechend den hier gewählten Vorgaben kein Wärmetransport stattfindet. Alle Innenwände werden mit derselben Bauweise (leicht/schwer) betrachtet. In der Fassade befindet sich unabhängig vom Fensterflächenanteil jeweils ein Fenster, das ohne Rahmenanteil und außenkantebündig mit der Außenwand modelliert wurde. Weitere Bauteilöffnungen sind nicht vorhanden.

Wärmebrücken wurden nicht berücksichtigt. Eine tabellarische Aufstellung der Rechenrandbedingungen ist in Anhang A.1 und der Bauteilaufbauten sowie der Fensterdaten in Anhang A.3 zu finden.

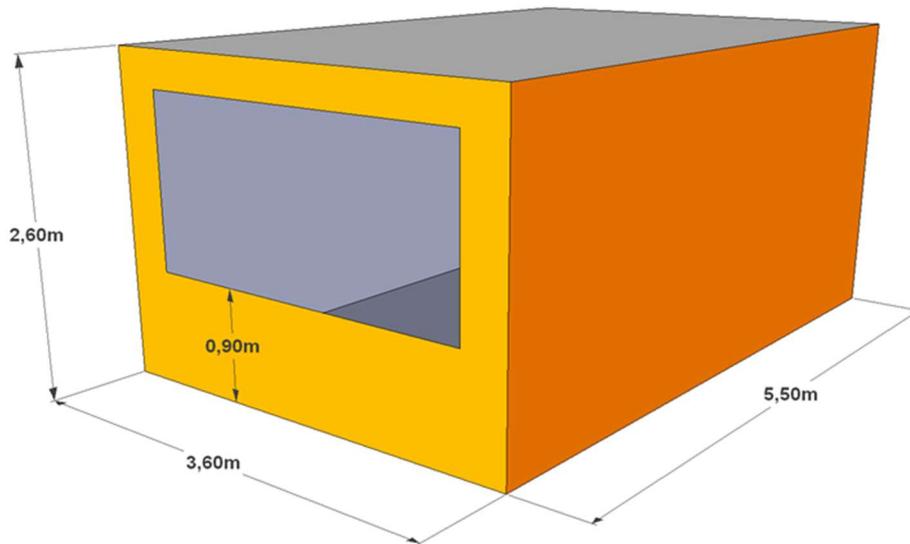


Abbildung 26: Einzonenmodell mit Bemaßung, wobei die Breite des Fensters variieren kann; Quelle: eigene Darstellung

Am Einzonenmodell werden die Auswirkungen der im Projekt entwickelten Raumnutzungsprofile, welche nachfolgend beschrieben sind, auf das sommerliche Verhalten betrachtet. Weiters dient das Einzonenmodell zur Entwicklung eines Lüftungsprofil und eines Profils zur Aktivierung des Sonnenschuttes zur Abbildung eines als üblich angesehenen Nutzer:innenverhaltens.

4.3.2. Nutzungsprofile und Wärmeeinträge

Nutzungsprofile abstrahieren ein für eine Nutzungsweise denkbare Verhalten und dienen damit der Abbildung daraus resultierender Phänomene, wie Wärmeeinträge und Luftwechsel. In verschiedenen Normen werden Nutzungsprofile mit teils unterschiedlichen Zielsetzungen angegeben. Für die weiteren Überlegungen wurden insbesondere Normen aus den Bereichen der energetischen Bewertung und der Bewertung der Behaglichkeit bezüglich verschiedener Parameter vergleichend untersucht. Dazu u.a. folgende Normenwerke:

- EN 16798-1:2019
- ÖNORM B 8110-3:2020
- ÖNORM B 8110-5:2019
- EN ISO 7730:2005
- DIN V 18599-10:2018

Als Grundlage für Wärmegewinne aus der Anwesenheit von Personen sowie für eine manuelle Bedienung von Sonnenschutz und Fensterlüftung und daraus resultierenden Lüftungswärmegewinnen und -verlusten können Belegungspläne dienen, die angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich die Nutzer:innen in einer betrachteten Gebäudeeinheit bei spezifischer Nutzungsweise aufhalten. Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen grafische Auswertungen der zugrunde gelegten Personenanwesenheit in den Nutzungsprofilen für eine Wohnnutzung nach EN 16798-1:2019 und ÖNORM B 8110-3:2020. Der Belegungsplan beschreibt das Maß der prozentualen Anwesenheit der angesetzten Nutzer:innenanzahl und damit auch deren Wärmeeinträge während des Betrachtungszeitraums. Im Falle der ÖNORM wurde die Belegung aus dem Verhältnis der Personenwärmeleistung abgeleitet.

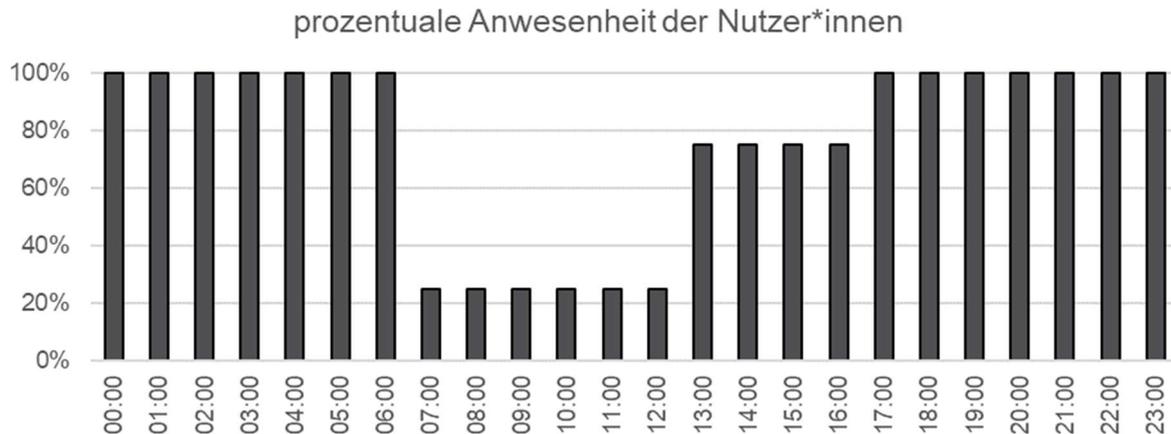


Abbildung 27: Tageszeitabhängige Anwesenheit der Nutzer:innen bei Wohnnutzung nach ÖNORM 8110-3; Quelle: eigene Darstellung

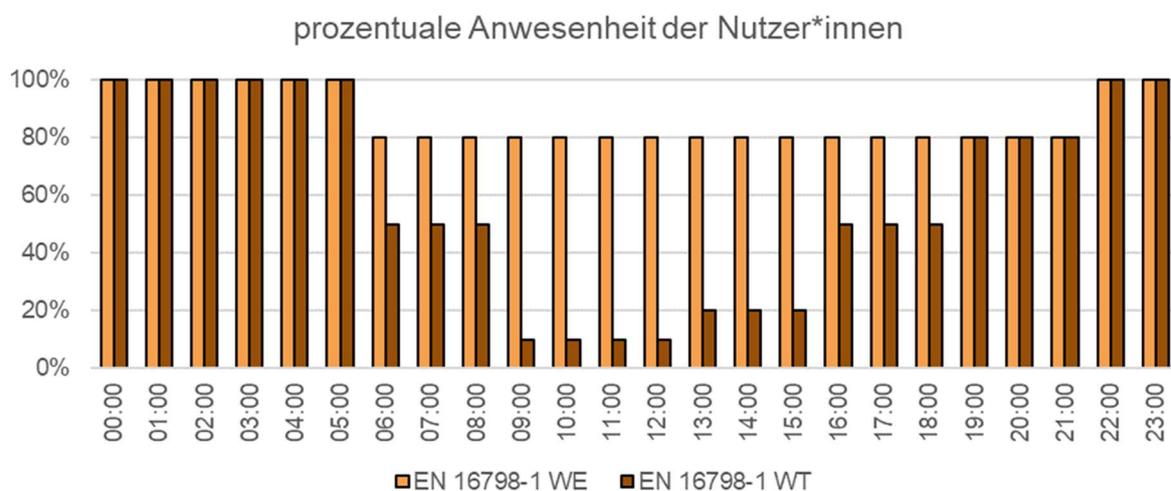


Abbildung 28: Tageszeitabhängige Anwesenheit der Nutzer:innen bei Wohnnutzung nach EN 16798-1; Abkürzungen: WT = Werktag; WE = Wochenende; Quelle: eigene Darstellung

Als grundlegender Unterschied zwischen den beiden Normen werden in EN 16798-1 Werk- und Wochentage differenziert, während ÖNORM B 8110-3 hier keine Unterscheidung trifft und der Tagesverlauf eher dem des Wochentags der EN entspricht, allerdings mit einer horizontalen Verschiebung. Ermittelt man aus den Belegungsplänen die durchschnittliche Personenanwesenheit, ergibt sich auf Basis der ÖNORM ein Wert von 77 % und mit Bezug zur EN 16798-1 werktäglich ein Wert von 60 % und für das Wochenende von 87 %.

Eine noch geringere Übereinstimmung als in der Personenanwesenheit ergibt sich bei den Angaben zur Gerätewärmeleistung. Diese sind in Abbildung 29 und Abbildung 30 dargestellt. In der ÖNORM zeigen sich zeitlich stark divergierende Werte mit deutlichen Spitzen am Vormittag und in den Abendstunden sowie deutlicher Senke gegen Mittag. Gerade die Werte am Vormittag stehen in starkem Kontrast zur dort geringen Personenanwesenheit. EN 16798-1 nennt maximale innere Einträge durch Geräte von 3 W/m^2 , welche wiederum mit einer zeitabhängigen Wichtung verknüpft sind. Hierbei unterscheiden sich die Werte für den Werktag und das Wochenende beim Wohnnutzungsprofil jedoch nicht. Es ergibt sich ein relativ homogener Tagesverlauf mit moderater Steigerung der Lasten am Vormittag und in den Abendstunden. Nachts gleichen sich die ansonsten stark divergierenden Werte von ÖNORM und EN an. Vergleicht man den Verlauf mit dem Standardlastprofil für Haushalte nach VDEW (Verband der Elektrizitätswirtschaft, Deutschland), das regelmäßig Anwendung für Aussagen zum elektrischen Tageslastgang verschiedener Nutzungen findet, bei selber Gesamtenergiemenge, zeigt

sich eine Verschiebung der morgendlichen Spitze in den Nachmittag. Nur am Abend ist eine größere Überlagerung erkennbar.

Insgesamt resultiert aus den Angaben eine durchschnittliche Geräteleast von $4,5 \text{ W/m}^2$ (ÖNORM), beziehungsweise $1,8 \text{ W/m}^2$ (EN). Bezogen auf die Wohnungsgröße von 70 m^2 ergeben sich jährliche Einträge von ca. $2\,760 \text{ kWh}$ und $1\,100 \text{ kWh}$. Nachdem nicht der gesamte Haushaltsstrom als nutzbarer Wärmeeintrag betrachtet werden kann und ein üblicher Jahresstrombedarf für einen 2,5-Personenhaushalt bei $2\,200 \text{ kWh}$ bis $2\,700 \text{ kWh}$ liegt (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), erscheinen die Werte wahlweise als sehr hoch beziehungsweise sehr niedrig.

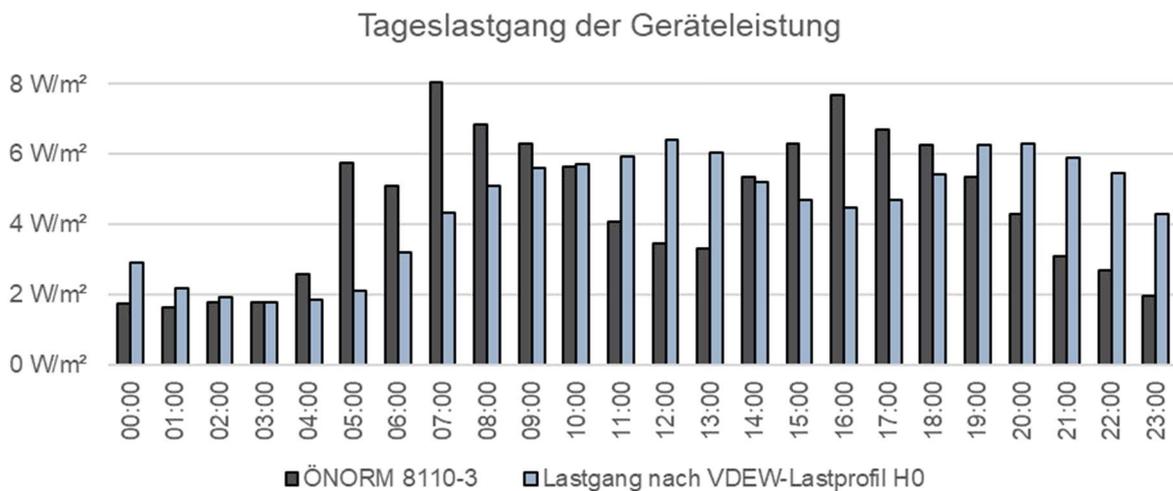


Abbildung 29: Tageszeitabhängig anfallende Wärmelasten aus Geräten bei Wohnnutzung nach ÖNORM 8110-3; Quelle: eigene Darstellung

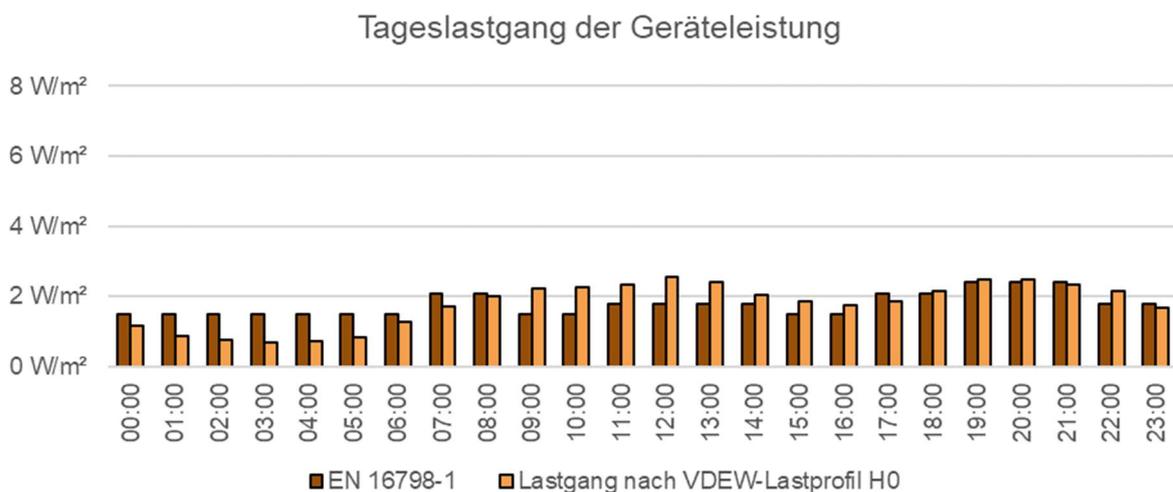


Abbildung 30: Tageszeitabhängig anfallende Wärmelasten aus Geräten bei Wohnnutzung nach EN 16798-1; Quelle: eigene Darstellung

Beide Vergleiche zeigen, dass die normativen Ansätze teils schwer nachvollziehbar sind und sich erhebliche Unterschiede bei Belegungen und Wärmeeinträgen zeigen. Weiters findet keinerlei Differenzierungen nach Raumnutzung statt. Auch zeigt sich nur eine sehr geringe Übereinstimmung der Gerätwärmelasten mit üblichen elektrischen Lastprofilen. Die normativen Ansätze werden deshalb als für die Untersuchung nicht aussagekräftig und zielführend eingeschätzt, woraus die Notwendigkeit einer Herleitung differenziertere Nutzungsprofile für die Anwendung im Rahmen des Projektes resultiert.

Dies erfolgt durch Generierung spezifischer Anwesenheits-, Personenwärmelast- und Gerätewärmelastprofile für verschiedene Raumnutzungen sowie entsprechende Lüftungsprofile und Profile zur Aktivierung des Sonnenschutzes. Diese Raumnutzungsprofile bilden ein erwartbares Anwesenheits- und Ausstattungsprofil ab, wobei auf eine Differenzierung zwischen Werktag und Wochenende verzichtet wird. Behandelt werden wie bereits erwähnt Raumnutzungen als Wohnküche, Schlaf- und Kinderzimmer.

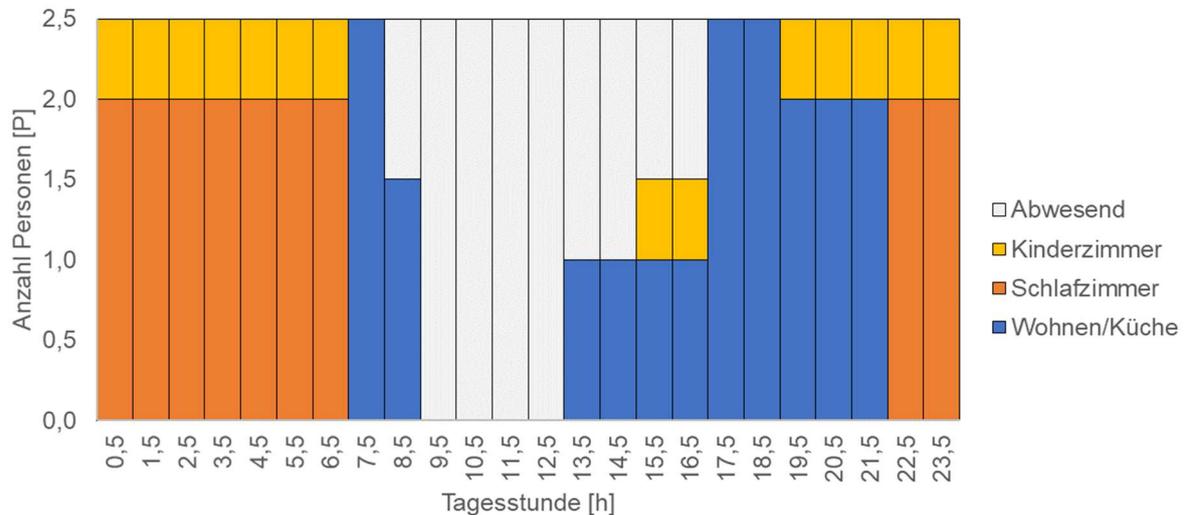


Abbildung 31: Generierter Belegungsplan für die Personenanwesenheit; Quelle: eigene Darstellung

In einem ersten Schritt erfolgt die Erstellung eines Belegungsplans für die Raumnutzungen. Der Belegungsplan ist in Abbildung 31 ersichtlich. Hierbei wird von einem Werktag ausgegangen. Es wird die Annahme hinterlegt, dass beide erwachsenen Nutzer:innen berufstätig sind, eine der beiden Personen jedoch nur in einem Teilzeitverhältnis. Das Kind ist im schulfähigen Alter und dementsprechend vormittags nicht zuhause. In den Abendstunden wird von einer zeitweisen Anwesenheit aller Personen in der Wohnküche ausgegangen, nachts in den jeweiligen Schlafzimmern. Durch die eindeutige zeitliche Zuordnung der Personenanwesenheit zu einem Raum wird ein gleichzeitiges Ansetzen der Personenwärmelastleistung in verschiedenen Räumen ausgeschlossen. Durch Multiplikation der Personenanwesenheit mit einer Wärmelastleistung von 75 W im Wachzustand und 60 W im Schlafzustand ergibt sich die raumweise Personenwärmelastleistung.

Als nächster Schritt werden Profile für die Gerätewärmelasten erstellt (Abbildung 32). Hierfür werden die üblichen elektrischen Verbraucher in einem Haushalt identifiziert und mit Kennzahlen für die jährlich Betriebsdauer oder -häufigkeit aus einschlägigen Quellen (Rouvel (1984), Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)) und dem daraus resultierendem Strombedarf kombiniert. Je nach Wirkweise des elektrischen Verbrauchers wird ein unterschiedlich hoher Prozentsatz hiervon in Abwärme umgewandelt. Abschließend erfolgt eine Zuordnung der Verbraucher zu jener Raumnutzung, in der sie üblicherweise anfällt. Allgemeine Lasten, wie beispielsweise aus der Beleuchtung resultierend, werden gemäß eigener Festlegung auf die Räume verteilt. Eine elektrische Warmwasserbereitung sowie Wärmequellen oder -senken aus Warm- und Kaltwasserleitungen werden nicht berücksichtigt.

Da ein Teil der Wärmeeinträge zur Verdunstung der vorhandenen Feuchte genutzt wird, wird die daraus resultierende Senkenwirkung gleichfalls berücksichtigt. Diese tragen nicht zur Aufheizung der Räume bei, sofern der gelöste Wasserdampf nicht im Raum kondensiert und durch Lüften abgeführt wird.

Eine Bilanzierung aller Quellen und Senken ermöglicht die Ermittlung der jährlichen Einträge pro Raum und eine Umrechnung auf den Einzeltag, wobei keine jahreszeitlichen Schwankungen angenommen wird.

Summiert ergeben die elektrischen Quellen einen Jahresstrombedarf von 1 671 kWh. Dies mag angesichts der vorgenannten erwartbaren Werte von 2 200 kWh/a bis 2 700 kWh/a niedrig erscheinen, ist aber auf das Ansetzen von für den Neubau üblichen effizienten Haushaltsgeräten zurückzuführen.

Eine Vergleichsbilanz mit Verbrauchswerten für ältere Geräte zeigt für den Bestand einen Strombedarf von 2 372 kWh/a, welcher im Bereich des statistischen Durchschnittsverbrauchs liegt.

Der tägliche Wärmeeintrag aus Geräten kann gemäß dem vorbeschriebenen VDEW-Profil H0 (Standard-Tagesgang des elektrischen Verbrauchs im Haushalt) auf die jeweiligen Tagesstunden verteilt werden. Durch die Summenbildung der stündlichen Personen- und Gerätewärmelasten, erhält man einen Überblick über die internen Wärmeeinträge für jeden Raum (Abbildung 32).

NEUBAU		Annahmen nach PHPP V9.7 (2017) für 2,5 Personen												
BESTAND		gehobener Effizienzstandard der Elektrogeräte												
		Werte nach PHPP V7.1 (2012)												
		"Verdunstung" als nicht elektrische Senke; Quelle: PHPP												
		Wärmeeintrag und -entzug durch Warm- und Kaltwasserleitungen nicht berücksichtigt												
		"Wärmewirksam" nach Rouvei, L.: Wärmegewinne in Wohnungen aufgrund innerer Wärmegewinne, Haustechnik-Bauphysik-Umweltechnik-gi, Heft 3, 1984												
NEUBAU	Nutzungsdauer/-häufigkeit	Wärmeeinträge	Zuordnung Wärmeeinträge / -senken					Wärmeeinträge kWh/a						
Wärmequellen - Elektr. Verbraucher	P(el), W	t(Nutz), h/a	P(el), Wh	n(Nutz) n/a	Verbrauch kWh/a	Wärmewirksam	Wohnküche	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Neberräume	Wohnküche	Schlafzimmer	Kinderzimmer	Neberräume
Waschmaschine			950	143	135	10%	0%	0%	0%	100%	0	0	0	14
Elektroherd			250	1 250	313	50%	100%	0%	0%	0%	156	0	0	0
Geschirrspüler			1 100	163	179	25%	100%	0%	0%	0%	45	0	0	0
Elektronik	80	1 375			110	100%	33%	33%	33%	1%	36	36	36	1
Beleuchtung	14	7 250			102	100%	60%	10%	20%	10%	61	10	20	10
Wäschetrockner			2 000	143	285	10%	0%	0%	0%	100%	0	0	0	29
Kleinverbraucher			50 000	3	125	75%	60%	0%	0%	40%	56	0	0	38
Gefrierschrank	23	8 760			201	100%	100%	0%	0%	0%	201	0	0	0
Kühlschrank	12	8 760			102	100%	100%	0%	0%	0%	102	0	0	0
Hilfsenergien			120 000	1	120	75%	0%	0%	0%	100%	0	0	0	90
Strombedarf kWh/a:			1 671											
Wärmesenken			Wärmeeinträge kWh/a:											
Verdunstung	-63	8 760	-548	100%	50%	5%	5%	5%	40%	-274	657	46	57	181
			+ + + + +											
			=											
Bilanz kWh/a:			384											
			=											
Bilanz Wh/d [je Raum]:			1 051											
			=											
			52											
			=											
			80											
			=											
			-105											

Abbildung 32: Jahresgeräteleastprofil für die Gesamtwohnung; Quelle: eigene Darstellung

4.3.2.1. Wohnküche

Die täglichen internen Wärmeeinträge aus Personen- und Gerätwärmeabgabe in der Wohnküche nach Belegungsplan, beziehungsweise VDEW-Profil H, sind Abbildung 33 ersichtlich. Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass die internen Wärmeeinträge in Zeiten, in denen Personen anwesend sind, deutlich höher liegen als außerhalb der Nutzungszeiten. Das Vorliegen eines elektrischen Verbrauchs außerhalb der Nutzungszeiten stellt keinen Widerspruch dar, da Verbraucher wie Gefrier- und Kühlschrank oder Geschirrspüler auch ohne Personenanwesenheit in Betrieb sind oder sein können. Insgesamt zeigen sich maximale Wärmeleistungen von knapp unter 250 W, was bei 19,8 m² Nutzfläche einer maximalen Wärmeleistung von 12 bis 13 W/m² entspricht.

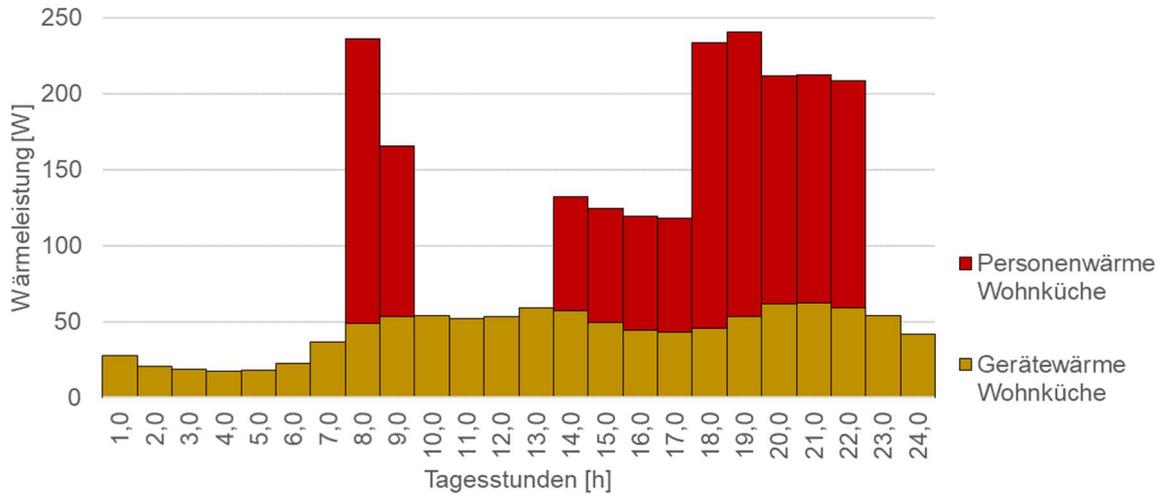


Abbildung 33: Tägliche Wärmeeinträge aus Personen- und Gerätwärmeleistung für die Wohnküche; Quelle: eigene Darstellung

4.3.2.2. Schlafzimmer

Im Gegensatz zur Wohnküche beschränken sich die Personenwärmelasten im Schlafzimmer auf die Nachtstunden mit einer Wärmeleistung von 120 W (Abbildung 34). Die Gerätelasten sind in diesem Fall sehr gering, wodurch sich eine Dauerlast von ca. 120 W nachts und unter 5 W tagsüber ergibt.

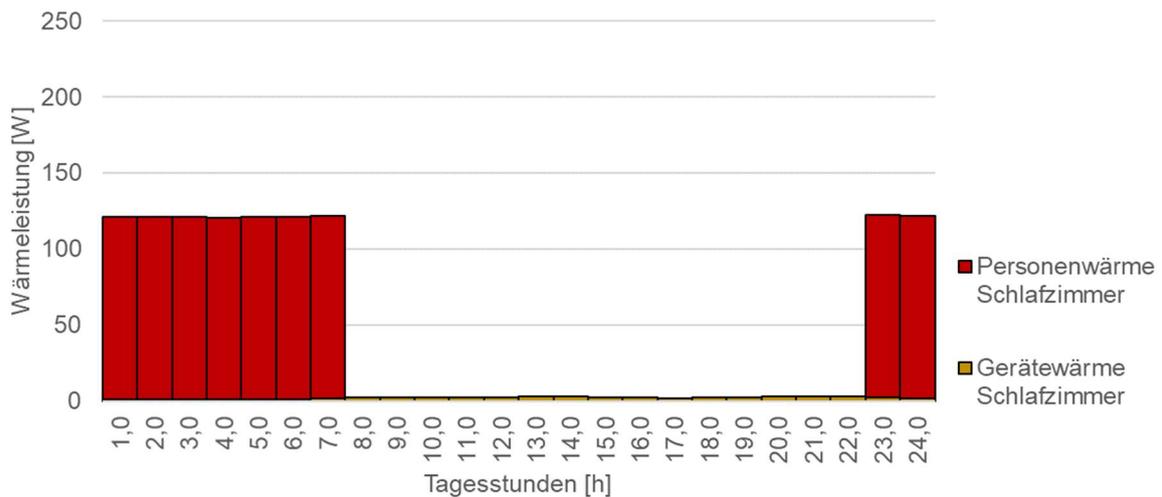


Abbildung 34: Tägliche Wärmeeinträge aus Personen- und Gerätwärmeleistung für das Schlafzimmer; Quelle: eigene Darstellung

4.3.2.3. Kinderzimmer

Analog zum Schlafzimmer zeigt sich im Kinderzimmer (Abbildung 35) nachts auch eine quasi durchgängige Dauerlast, jedoch nur von 30 W. Am Nachmittag und in den Abendstunden zeigen sich zusätzliche Personenwärmelasten. Die Gerätelasten sind wiederum verhältnismäßig gering.

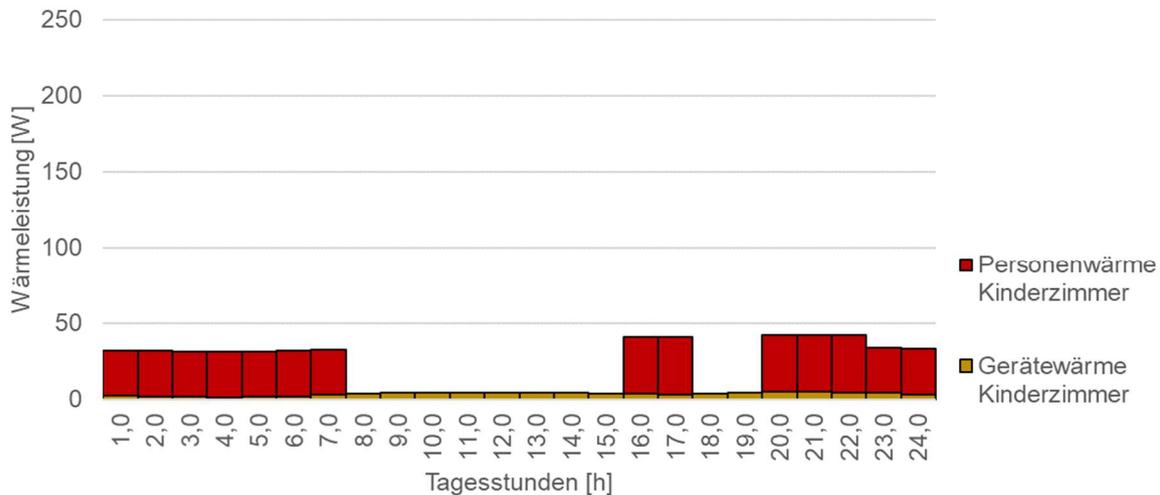


Abbildung 35: Tägliche Wärmeinträge aus Personen- und Gerätewärmeleistung für das Kinderzimmer; Quelle: eigene Darstellung

Die stark abweichenden Tageslastgänge je nach Raumnutzung verdeutlichen die Legitimation einer differenzierten Betrachtung von Raumnutzungsprofilen. Für die Untersuchung wird von geschlossenen Innentüren ausgegangen, wodurch keine Wärmeübertragung durch Luftaustausch mit anderen Räumen stattfindet. Dieser Ansatz wird als begründet angesehen, da insbesondere bei Schlafräumen davon auszugehen ist, dass während der Schlafenszeit aus Schallschutzgründen die Türen geschlossen sind.

4.3.3. Lüftungsprofile

Zur Abbildung des Wärmetransports durch Lüftungsvorgänge werden je nach Raumnutzung spezifische Lüftungsprofile angelegt. Hierfür werden drei Öffnungszustände der Fenster unterschieden:

- geschlossen, was bedeutet, dass Luftaustausch nur über Infiltration stattfindet,
- gekippt und
- ganz geöffnet.

Für jeden Zeit- bzw. Rechenschritt erfolgt eine individuelle Festlegung des Öffnungszustands anhand verschiedener Kriterien, die der schematischen Grundstruktur nach Abbildung 36. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** folgt. Die Kriterien resultieren aus Abfragen nach Anwesenheit, Tageszeit und Grenzwerten für Temperaturwerte und CO₂-Konzentrationen und bilden ein erwartbares Nutzer:innenverhalten ab.

Die Bemessung der Luftvolumenströme erfolgt für alle drei Öffnungszustände durch stündliche Ermittlung, basierend auf einem temperaturinduziertem Luftaustausch durch die Temperaturdifferenz zwischen einer festgelegten Innenraumtemperatur und den Außenlufttemperaturen aus den Klimadaten. Es wird eine maßgebliche Öffnungsgröße für das geöffnete und das gekippte Fenster festgelegt. Zur Ermittlung des Luftaustausches durch Infiltration wird eine im Neubau erwartbare Luftundichtheit mit einem Infiltrationsluftwechsel bei 50 Pascal Druckdifferenz von 1,0 h⁻¹ angenommen.

Für die Erstellung der Lüftungsprofile werden allgemeine Annahmen zum Lüftungsverhalten getroffen, die dann in Abhängigkeit von der Raumnutzung adaptiert werden. Zu den generellen Annahmen zählt eine hygienische Lüftung durch komplettes Öffnen der Fenster bei Anwesenheit von Nutzer:innen und Erreichung einer CO₂-Konzentration von 1 200 ppm, bis die Konzentration auf einen Wert von 500 ppm gesunken ist. Die Außenluftkonzentration an CO₂ wird hierbei mit 400 ppm angenommen.

Weiters wird für alle Nutzungen die Möglichkeit einer Nachtlüftung implementiert, die im Simulationsmodell aktiviert oder deaktiviert werden kann. Als Voraussetzung für die Nachtlüftung gilt das Überschreiten eines Grenzwerts der operativen Innentemperatur um 22:30 Uhr. Die zu diesem Zeitpunkt getroffene Entscheidung gilt dann bis 7:30 Uhr, da nachts von keiner Veränderung des Öffnungszustands der Fenster ausgegangen wird. Weil die Nachtlüftung eine mögliche passive Maßnahme zur Wärmeabfuhr darstellt, wird sie anders als die hygienische CO₂-Lüftung nicht als von einer Personenanwesenheit im Raum abhängig dargestellt.

Als weitere allgemeine Festlegung wird ein komplettes Öffnen der Fenster auch dann angenommen, wenn die operative Innenraumtemperatur untertags einen Grenzwert überschreitet, welcher auf 24 °C festgelegt wird. Dies unterstellt den Nutzer:innen die Absicht zur Wärmeabfuhr, wenn die Innenraumtemperatur ansteigt. Aus diesem Grund wird diese erhöhte Taglüftung bei besonders hohen Außentemperaturen auch nicht angesetzt. Da nicht davon ausgegangen wird, dass Nutzer:innen die Außentemperatur exakt kennen und Fenster bei warmen, aber nicht heißen Außentemperaturen tendenziell auch häufiger offenstehen, liegt die Temperaturgrenze der Außenluft für die erhöhte Taglüftung mit 26 °C über dem Grenzwert für die Innenraumtemperatur.

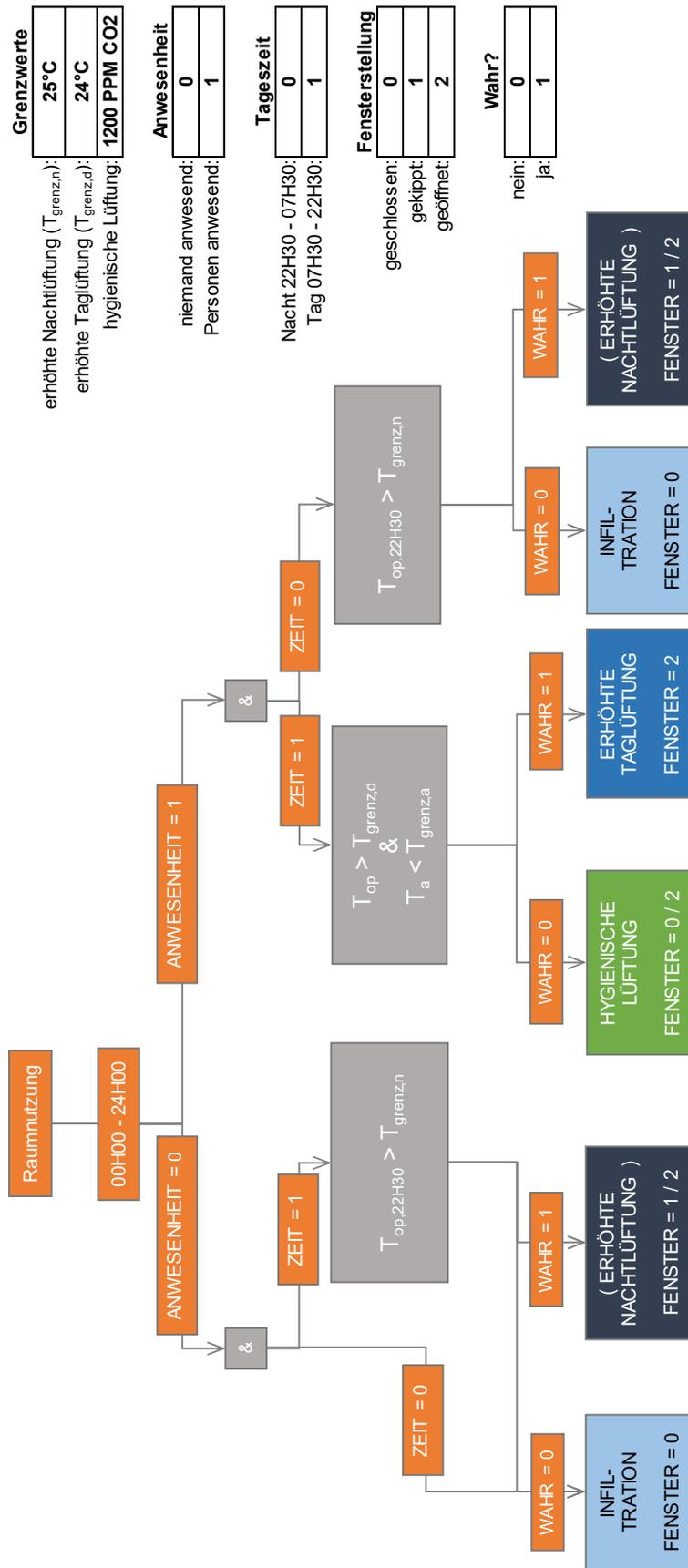


Abbildung 36: Grundstruktur für die Entwicklung von Lüftungsprofilen; Quelle: eigene Darstellung

In der folgenden Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird die Übernahme der schematischen Grundstruktur mit den generellen Annahmen und spezifischen Unterscheidungen nach Raumnutzung in ein Lüftungsregime im Simulationsprogramm, hier am Beispiel der Wohnküche, gezeigt. Mit „1“ gekennzeichnet sind die Abfragen untertags, mit „2“ nachts, die zur Festlegung eines Öffnungszustands des Fensters und dementsprechend des Luftvolumenstroms in „3“ dienen.

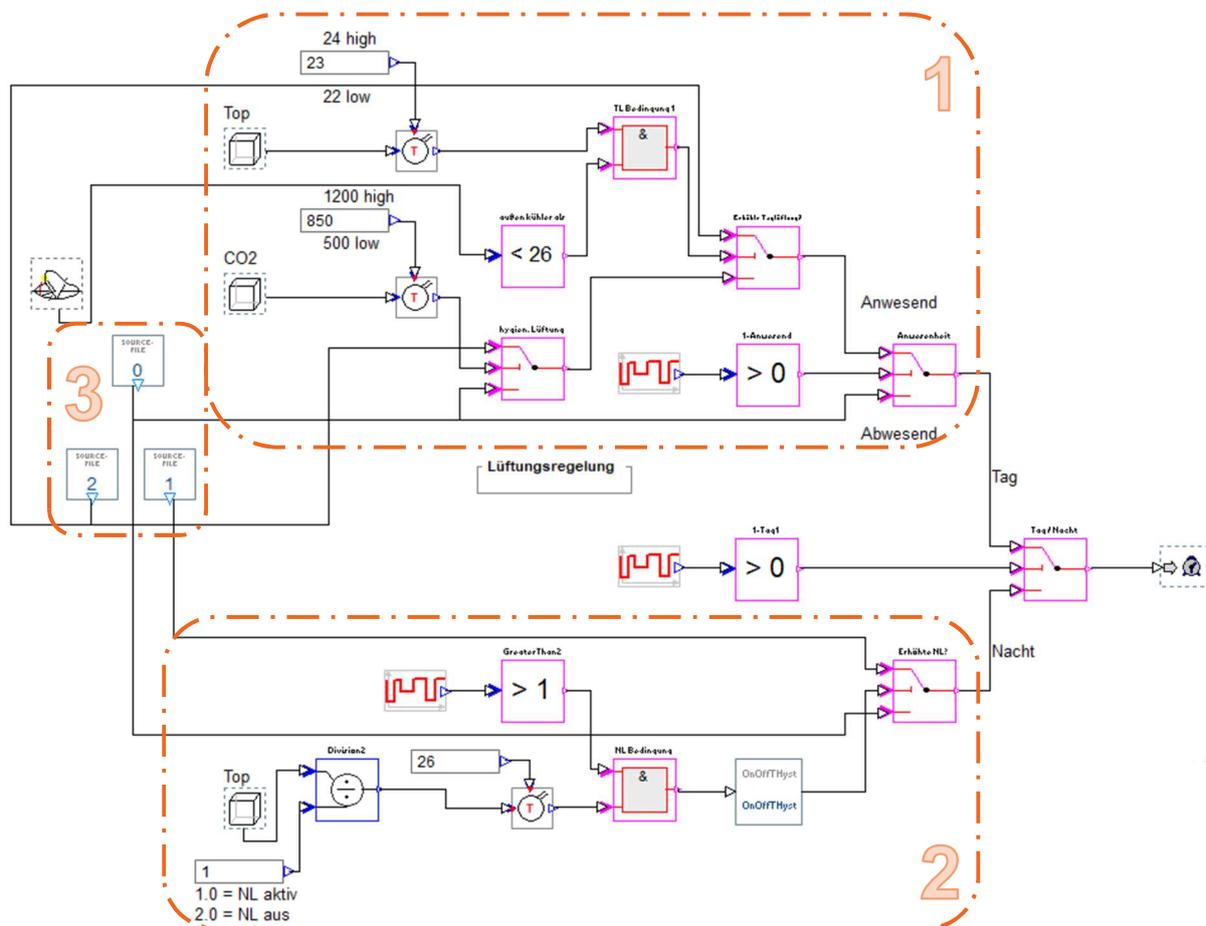


Abbildung 37: Im Simulationsprogramm hinterlegtes Lüftungsregime für die Raumnutzung "Wohnküche"; Quelle: IDA ICE, modifiziert

Die Unterscheidungen in den Nutzungsprofilen betreffen die erhöhte Nacht- und Taglüftung. Da eine erhöhte Taglüftung nur bei Personenanwesenheit im Raum angesetzt wird und im Schlafzimmer tagsüber keine Anwesenheit vorgesehen ist, findet bis auf ein morgendlicher Lüftungsvorgang im Falle des Übersteigens der CO₂-Konzentration von 1 200 ppm keine Taglüftung statt. Diese ist demzufolge auch im Lüftungsregime für das Schlafzimmer nicht modelliert. Für das Schlafzimmer erreichen die CO₂-Konzentration bei nachts geschlossenem Fenster Werte von bis zu ca. 4 000 ppm, was sich mit Messwerten unter vergleichbaren Randbedingungen deckt (Boos et al., 2011, S. 11).

Für die dritte untersuchte Nutzungsweise, das Kinderzimmer, wird auf das Personenanwesenheitsprofil der Wohnküche zurückgegriffen, da von keinem eigenständigen Lüften durch das Kind ausgegangen wird. Es wird angenommen, dass die erwachsenen Nutzer:innen bei in den Wärmeeinträgen nicht berücksichtigten Kurzaufenthalten im Zimmer gegebenenfalls auf zu hohe Innenraumtemperaturen reagieren.

Für den Fall, dass ein Raum die Voraussetzungen für eine erhöhte Nachtlüftung erfüllt, wird hierfür im Falle der Wohnküche und des Kinderzimmers eine Kippstellung des Fensters angenommen. Selbiges wird beim Schlafzimmer vorgesehen, allerdings wird für den Fall, dass tagsüber eine Temperatur von 28 °C überschritten wurde, ein vollständiges Öffnen des Fensters berücksichtigt.

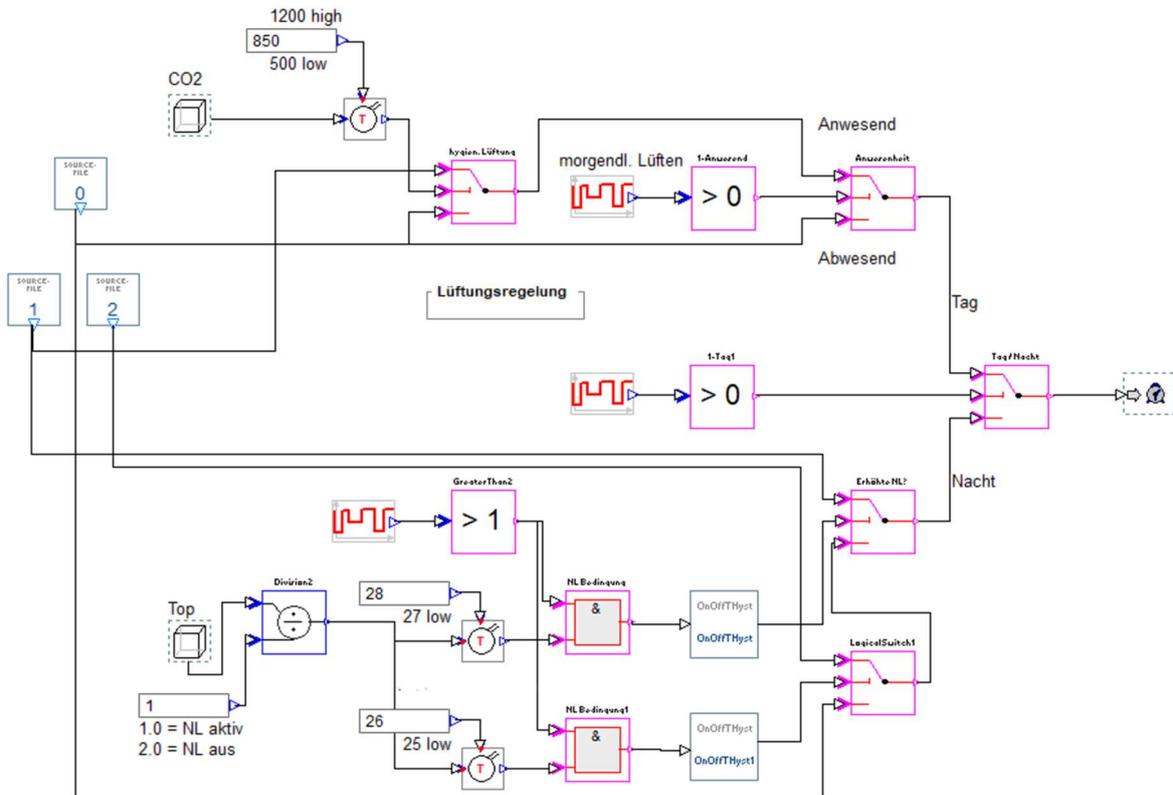


Abbildung 38: Im Simulationsprogramm hinterlegtes Lüftungsregime für die Raumnutzung "Schlafzimmer";
Quelle: IDA ICE, modifiziert

4.3.4. Profil zur Aktivierung von Sonnenschutzvorrichtungen

In ÖNORM 8110-6-1 findet man eine qualitative Beschreibung verschiedener Bedienungs- und Steuerungsarten von Sonnenschutzvorrichtungen, die als Referenz für die Modellierung eines Sonnenschutzprofils in der Untersuchung dienen:

- eine automatische Steuerung nach Messgrößen,
- eine vorsorgliche und eine standardmäßige (bei Unbehaglichkeit) manuelle Bedienung und
- das Fehlen einer Sonnenschutzvorrichtung.

Analog zu 4.2.3.4 werden hier zwei mögliche Bedienarten für den Sonnenschutz betrachtet:

- eine standardmäßige manuelle Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung durch die Nutzer:innen und
- eine automatische Steuerung nach solarer Einstrahlung, wobei keine Möglichkeit zur Übersteuerung durch die Nutzer:innen berücksichtigt wird.

Die zweite Option stellt eine passive Maßnahme zur Reduzierung des solaren Eintrags dar und ist im Gegensatz zur manuellen Bedienung unabhängig von Anwesenheiten und vom persönlichen Befinden der Nutzer:innen. Für die manuelle Bedienung werden keine präventiv handelnden Nutzer:innen angenommen, um den Effekt einer Sonnenschutzvorrichtung nicht zu überschätzen. Allerdings können dadurch die positiven Effekte einer automatischen Steuerung auch überschätzt werden.

Analog zu den Fensterstellungen der Lüftungsprofile werden für den Fall, dass innen- oder außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen vorhanden sind, drei verschiedene Öffnungsgrade differenziert:

- Sonnenschutz maximal aktiviert,
- Sonnenschutz teilweise aktiviert und
- Sonnenschutz nicht aktiviert.

Für eine teilweise Aktivierung wird angenommen, dass die halbe Fensterfläche verschattet wird.

Anders als bei den Lüftungsprofilen erfolgt die Modellierung des Sonnenschutzregimes unabhängig von der Raumnutzung, wodurch der Annahme Rechnung getragen wird, dass Nutzer:innen den Sonnenschutz in der gesamten Wohnung aktivieren, wenn sie es für notwendig erachten. Ebenso wird angenommen, dass der Sonnenschutz nur dann aktiviert sein kann, wenn Personen in der Wohnung anwesend sind. Eine nächtliche Aktivierung des Sonnenschutzes aus Schallschutzgründen oder zur Vermeidung von Tageslichteinfall in den Morgenstunden wird hier nicht betrachtet, um eine Beeinflussung des Nachtlüftungspotentials zu vermeiden.

In Abbildung 39 ist eine vergleichbare Grundstruktur, wie sie auch für die Lüftungsprofile erstellt wurde, dargestellt. Sie beschreibt die Kriterien für den Fall einer manuellen Bedienung und einer automatischen Steuerung des Sonnenschutzes. Für die manuelle Bedienung werden neben Kriterien für standardmäßig handelnde Nutzer:innen weiters solche für präventive handelnde definiert, welche jedoch in der weiteren Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

Generell wird bei der manuellen Bedienung davon ausgegangen, dass für eine Aktivierung des Sonnenschutzes durch die Nutzer:innen eine gewisse Innentemperatur sowie ein Mindestwert der Direktstrahlung auf die Fassade notwendig ist. Bei präventiv handelnden Nutzer:innen findet zudem bei Personenabwesenheit eine Aktivierung statt, wenn der vorherige Tag ein Sommertag war.

Im Gegensatz zur manuellen Bedienung wird für die automatische Steuerung auf den Messwert der Gesamtstrahlungsleistung an der Fassade zurückgegriffen, wodurch neben der Direktstrahlung auch der diffuse Strahlungsanteil berücksichtigt wird.

Bei Anwesenheit von Personen soll auch bei aktiviertem Sonnenschutz eine Sichtverbindung nach außen und eine ausreichende Tageslichtversorgung sichergestellt werden. Daher wird sowohl bei einer manuellen Bedienung als auch bei einer automatischen Steuerung nur eine teilweise Aktivierung des Sonnenschutzes vorgesehen.

Die Übertragung der schematischen Grundstruktur in ein Sonnenschutzregime im Simulationsprogramm ist in Abbildung 40 ersichtlich. Im Schema kann entweder eine manuelle Bedienung („1“) oder eine automatische Steuerung („2“) ausgewählt werden. Als Mindestwert für die operative Innentemperatur im Falle einer manuellen Bedienung werden 25 °C festgelegt, da darunter kein hinreichendes Überhitzungsempfinden der Nutzer:innen angenommen wird, um den Sonnenschutz während der Anwesenheit zu aktivieren. Zudem wird eine Direktstrahlungsleistung von mindestens 250 W/m² an der Fassade vorausgesetzt. Im Gegensatz hierzu wird bei der automatischen Steuerung der Sonnenschutz bei einer Gesamtstrahlungsleistung von über 150 W/m² aktiviert, unabhängig von der Innentemperatur.



Abbildung 39: Grundstruktur für die Entwicklung des Sonnenschutzprofils; Quelle: eigene Darstellung

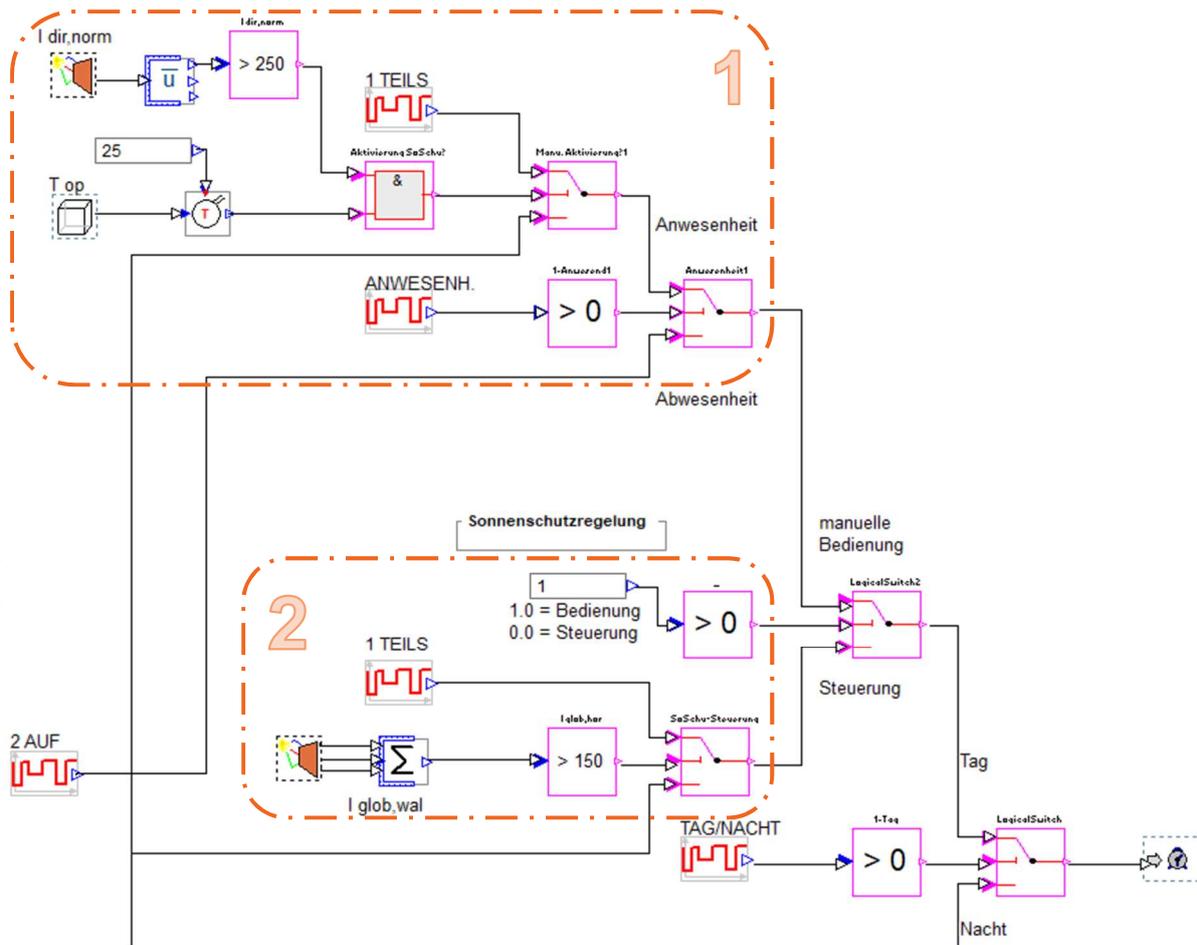


Abbildung 40: Im Simulationsprogramm hinterlegtes Sonnenschutzregime für alle Raumnutzungen; Quelle: IDA ICE, modifiziert

4.3.5. Ergebnisse

4.3.5.1. Vergleich Parametervarianten

Für alle Basisvarianten, die in Anhang A.4 gelistet sind, wurden nach der in Kapitel 4.2.3.5. beschriebenen Methodik Ergebnisübersichten entsprechend *Abbildung 41* erstellt. Das dort abgebildete Beispiel basiert auf folgenden Parametern:

- Wohnküche
- Leichte Bauweise
- Ost-Orientierung
- 25 % fassadenbezogener Fensterflächenanteil
- Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,53$

Eine vollständige Zusammenstellung der Datenblätter findet sich im Anhang.

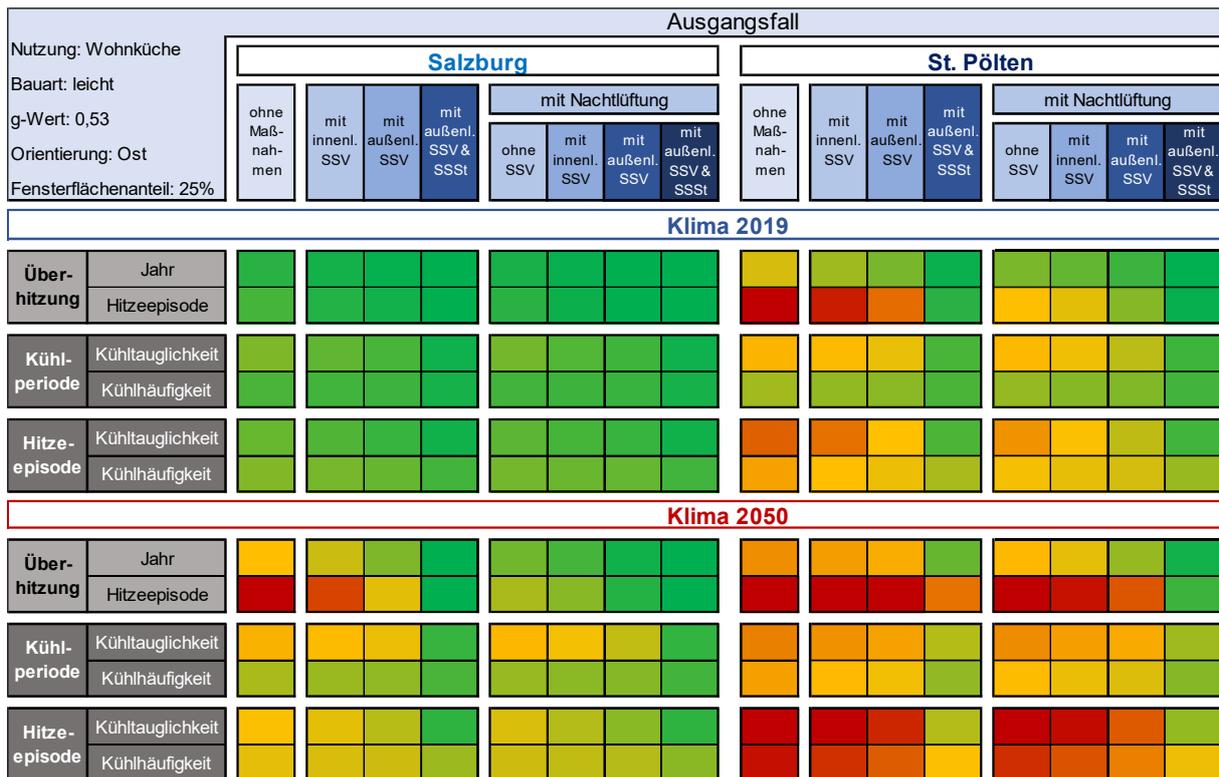


Abbildung 41: Beispielhaftes Ergebnisdatenblatt für einen spezifischen Betrachtungsfall (linke obere Ecke);
Quelle: eigene Darstellung

Die Herleitung und Festlegung der tolerierten Überschreitungshäufigkeit für die operative Innentemperatur des ungekühlten Falls (Abbildung 41), oberste zwei Zeilen unterhalb des jeweiligen Klimaszenarios) ist in Kapitel 4.2.3.5. beschrieben. Dabei gilt es zu beachten, dass die angenommenen Toleranzen als Arbeitsdefinitionen zu verstehen sind. Soll beispielsweise ein Grenzwert im Zuge eines Nachweisverfahrens eingeführt werden, sind weiterführende Untersuchungen der Auswirkungen einer Festlegung erforderlich.

Interpretation Überhitzung

Das Ergebnisdatenblatt (Abbildung 41) kann in Bezug auf die Überhitzung so interpretiert werden, dass für den Standort Salzburg, unabhängig vom Betrachtungszeitraum, die Basisvariante bereits ohne zusätzliche passive Maßnahmen die definierten Schwellenwerte nicht überschreitet. Unter den angenommenen Randbedingungen zeigt sich somit, dass es nicht zu einer unerwünschten Überhitzung kommen wird. Dies gilt für die aktuellen Klimarandbedingungen, für das Klimaszenario 2050 trifft dies dann allerdings nicht mehr zu. Hier ist mit Blick auf die Jahresbewertung entweder eine Nachtlüftung sicherzustellen oder, sofern dies nicht möglich ist, ist ein außenliegender Sonnenschutz vorzusehen. Für das Unterschreiten der Schwellenwerte auch in der Hitzeepisode sollte die Maßnahme Nachtlüftung zumindest um einen innenliegenden Sonnenschutz ergänzt werden. Für die Kompensation der Maßnahme Nachtlüftung müsste für den Betrachtungszeitraum der Hitzeepisode sogar ein außenliegender Sonnenschutz mit automatischer Sonnenschutzregelung vorgesehen werden.

Für einen Gebäudestandort mit den klimatischen Randbedingungen St. Pöltens stellt sich eine deutlich andere Bewertung dar. Insbesondere für die Hitzeepisode ist bereits bei dem heutigen Klimarandbedingungen, sofern eine Nachtlüftung nicht möglich ist, ein außenliegender Sonnenschutz mit automatischer Sonnenschutzregelung empfehlenswert. In Verbindung mit einer Nachtlüftung kann auf die

zusätzliche Regelung verzichtet werden. Unter der Annahme der Klimadaten 2050 eskaliert die Situation während der Hitzeepisode. Dann wird, sofern eine Nachtlüftung nicht möglich ist, für diesen Zeitraum eine zusätzliche Raumkühlung erforderlich. Mit Nachtlüftung bzw. in der Jahresbetrachtung kann mit passiven Maßnahmen eine Unterschreitung der Schwellenwerte erreicht werden.

Im nachfolgenden Abschnitt 4.3.5.2 erfolgt zusätzlich eine Auswertung ausgewählter Parameter über alle 736 durchgeführten Simulationsrechnungen. Diese zeigen indikativ die Bedeutung einzelner Parameter an.

Interpretation Kühltauglichkeit und Kühlhäufigkeit

Am Gebäudestandort Salzburg können unter den heutigen Klimarandbedingungen auch die erhöhten Anforderungen an die operative Innentemperatur entsprechend Kategorie II nach EN 16798-1 mit der hier angenommenen Raumkühlung sowohl innerhalb der Kühlperiode (mit einer angesetzten Dauer von 214 Tagen) als auch während der Hitzeepisode gewährleistet werden. Der Anteil der Vollbetriebsstunden der Raumkühlung an dem jeweiligen Betrachtungszeitraum (Kühlhäufigkeit) ist sehr gering. Unter den zukünftigen Klimarandbedingungen reicht die angenommene Kühlleistung von 20 W/m^2 allerdings nicht mehr bei allen Maßnahmenoptionen aus. In mehr als 250 h während der Kühlperiode (entspricht mehr als 5% der Dauer der Kühlperiode) kommt es zu einer Überschreitung der definierten 26°C -Grenze. Während der Hitzeepisode, die hier mit 168 h angenommen wird, sind es etwa 60 h. Für beide Betrachtungszeiträume zeigt das Ergebnisdatenblatt jedoch, dass mit einer Kombination aus außenliegendem Sonnenschutz und automatischer Sonnenschutzsteuerung die Kühlhäufigkeit und damit der Kühlbedarf auch unter den veränderten Klimarandbedingungen wieder minimal wird.

Unter den Klimarandbedingungen eines Gebäudestandorts St. Pölten führt die bereits zuvor diskutierte Überhitzungsneigung sowohl bei der Kühltauglichkeit wie auch der Kühlhäufigkeit zu einer ungünstigeren Bewertung. Für den Betrachtungszeitraum der Kühlperiode kommt es bereits unter den aktuellen Klimarandbedingungen zu einer Bewertung, die sich für den Klimastandort Salzburg erst unter den zukünftigen Klimarandbedingungen ergibt. Für die prognostizierten klimatischen Verhältnisse am Standort St. Pölten ist während der Hitzeepisode selbst bei einer Ausstattung mit außenliegendem Sonnenschutz und automatischer Sonnenschutzregelung an etwa 35 h mit einem Überschreiten der hier definierten 26°C -Grenze zu rechnen. Die Kühlhäufigkeit steigt während dieser Zeit auf einen Wert von etwa 50%, das heißt die Raumkühlung ist mehr als die Hälfte des Betrachtungszeitraums in Betrieb.

4.3.5.2. Vergleich der Basisvarianten

Die in *Abbildung 42* dargestellten Werte zeigen Ergebnispaaire für ÜTH_7 und ÜTH_{365} aller untersuchten Basisvarianten (siehe *Tabelle 7* bzw. Anhang A.4) inklusive aller möglichen passiven Maßnahmenkombinationen, wobei jeder Punkt eine Variante darstellt. Aus den 23 Basisvarianten und 32 Ergebnispaaire je Basisvariante (acht Maßnahmenpakete für je zwei Standorte und Klimaszenarien) resultieren insgesamt 736 Ergebnispaaire. Die nachfolgenden Diagramme zeigen in Rot die oberen und unteren Grenzwerte des jeweiligen Toleranzbereichs nach ISO 17772-2:2018, die für die Jahresbetrachtung eine Überschreitungshäufigkeit von bis zu 6 % und für die wöchentliche Betrachtung von 50 % vorsieht. Als untere Werte für die Toleranzgrenzen werden 3 % und 20 % angegeben.

Für die Bewertung der in ISO 17772-2:2018 angegebenen tolerierbaren Überschreitungshäufigkeiten der Temperaturgrenzwerte gilt jedoch zu beachten, dass die Ganzjahresbetrachtung auch mögliche Grenzwertunterschreitungen während des Heizfalls umfasst. Dies ist bei der Festlegung von entsprechenden Schwellen- oder Grenzwerten zu beachten. Nachdem in unserer Untersuchung der Neubaustandard mit einem entsprechenden Wärmeschutzniveau zugrunde liegt, wird von keiner

Unterschreitung der unteren Grenzwerte ausgegangen, weshalb grundsätzlich die komplette jährliche Über-/Unterschreitungshäufigkeit der sommerlichen Überschreitung zugewiesen wird.

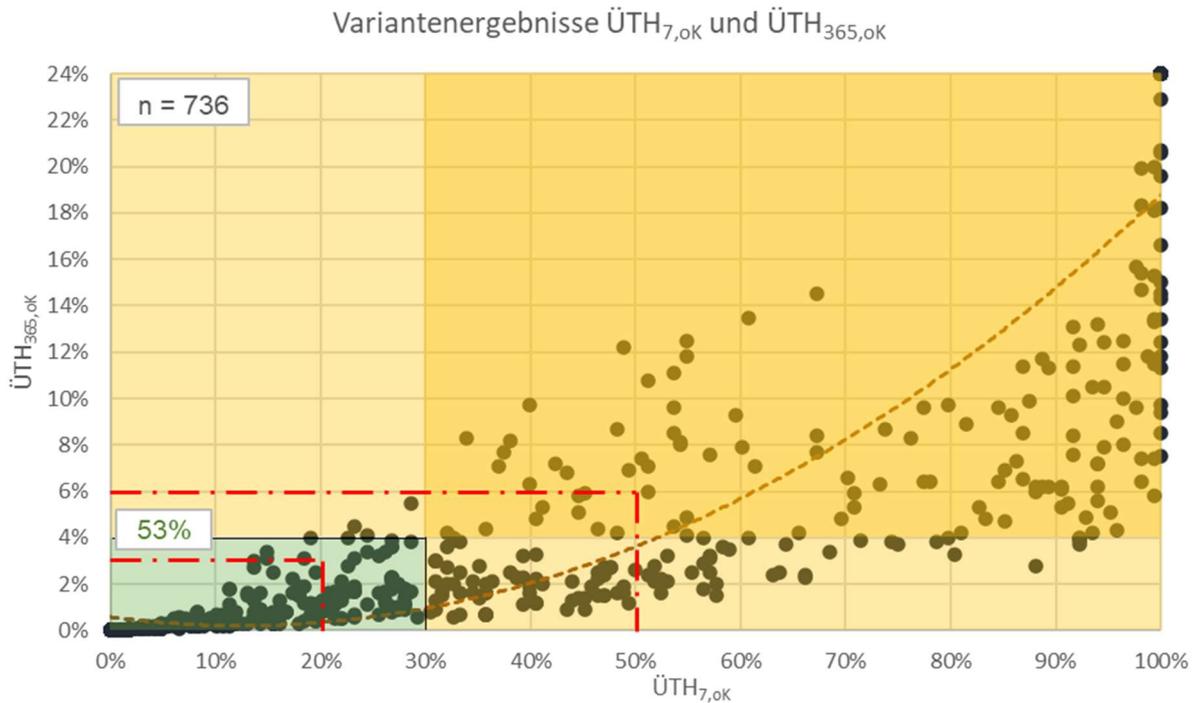


Abbildung 42: Ergebnispaaere der siebentägigen und der ganzjährigen Überschreitungshäufigkeit aller untersuchten Varianten und Darstellung der Toleranzgrenzen nach ISO 17772-2:2018 (rote Linien) sowie der verwendeten (grüne und gelbe Felder) Überschreitungstoleranzen für sieben Tage und für ein Jahr; Quelle: eigene Darstellung

Da als Anforderungslevel für die operative Innentemperatur mit Kategorie III nach EN 16798-1:2019 bereits das niedrigste Niveau gewählt wurde, liegen die gewählten Werte näher an den unteren Vorschlagswerten.

Die Anwendung der unter Kapitel 4.2.3.5. beschriebenen und gewählten Werte von 4 % und 30 %, die im unteren Bereich des Toleranzraums liegen, wird durch unterschiedliche Farbfelder markiert, wobei das grüne Feld eine Einhaltung beider Grenzwerte impliziert. Nachdem es in der bildlichen Darstellung zu Überlagerungen von Werten kommt (gleiche Wertepaare unterschiedlicher Varianten), werden sowohl die Gesamtzahl der abgebildeten Werte (linke obere Ecke des Diagramms) als auch deren prozentualer Anteil (im grünen Feld) angegeben. Die braune, gestichelte Linie stellt hierbei eine Trendlinie dar.

Diese Art der Darstellung wird in weiterer Folge verwendet, um die Gesamtheit der betrachteten Varianten zu filtern (z.B. nach Nutzung oder Standort). Die sich daraus ergebenden Ergebnisse werden dann interpretiert.

In *Abbildung 42* zeigt sich, dass unter den gewählten Toleranzgrenzen ungefähr die Hälfte der Varianten (53 %) die Schwellenwerte für die siebentägige sowie für die ganzjährige Betrachtung unterschreitet (grünes Feld). Dabei ist die Anzahl jener Werte, die Schwellenwert für $\ddot{U}TH_7$ einhalten und für $\ddot{U}TH_{365}$ überschreiten (oberes linkes Feld, unter 1 % der Fälle), deutlich geringer als für den umgekehrten Fall (unteres rechtes Feld, 14 % der Fälle). Viele Varianten überschreiten jedoch auch beide Schwellenwerte (oberes rechtes Feld, 32 % der Fälle). Dies deutet darauf hin, dass bei einer Unterschreitung des Schwellenwertes für $\ddot{U}TH_7$ (Hitzeepisode), es wahrscheinlich ist, dass auch der

Schwellenwert für das Gesamtjahr unterschritten wird. Dies weist darauf hin, dass für die Festlegung der passiven Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überhitzung, die bislang nicht betrachtete Hitzeepisode der maßgebende Auslegungsfall sein kann.

Die nachfolgenden Auswertungen erfolgen grundsätzlich differenziert nach den drei Nutzungsprofilen, wobei zusätzlich teils auch eine detaillierte Betrachtung einzelner Maßnahmen erfolgt.

Die nachfolgenden Gegenüberstellungen in *Abbildung 43* bis *Abbildung 45* betrachten die Simulationsergebnisse differenziert nach den Nutzungsprofilen, um deren Relevanz und Eignung für weitere Vergleiche zu bewerten.

Nutzungsprofil Wohnküche

Die Ergebnisse für das Nutzungsprofil der Wohnküche (*Abbildung 43*) zeigen eine relativ homogene Verteilung in der unteren Diagrammhälfte, wobei keine Werte außerhalb des dargestellten Diagrammbereichs liegen. Eine Mehrheit (61 %) der ausgewerteten Varianten unterschreitet den Schwellenwert für die Überschreitungshäufigkeiten, gleichzeitig liegen viele Werte auch weit außerhalb des tolerierten Bereichs. Da die Ergebnisse der Schlafzimmernutzung durch die starke Divergenz Interpretationen von Parametervariationen nur für den Fall mit Nachtlüftung erlauben, bieten sich die Werte der Wohnküche hierfür besser an. Dies soll im Weiteren erfolgen.

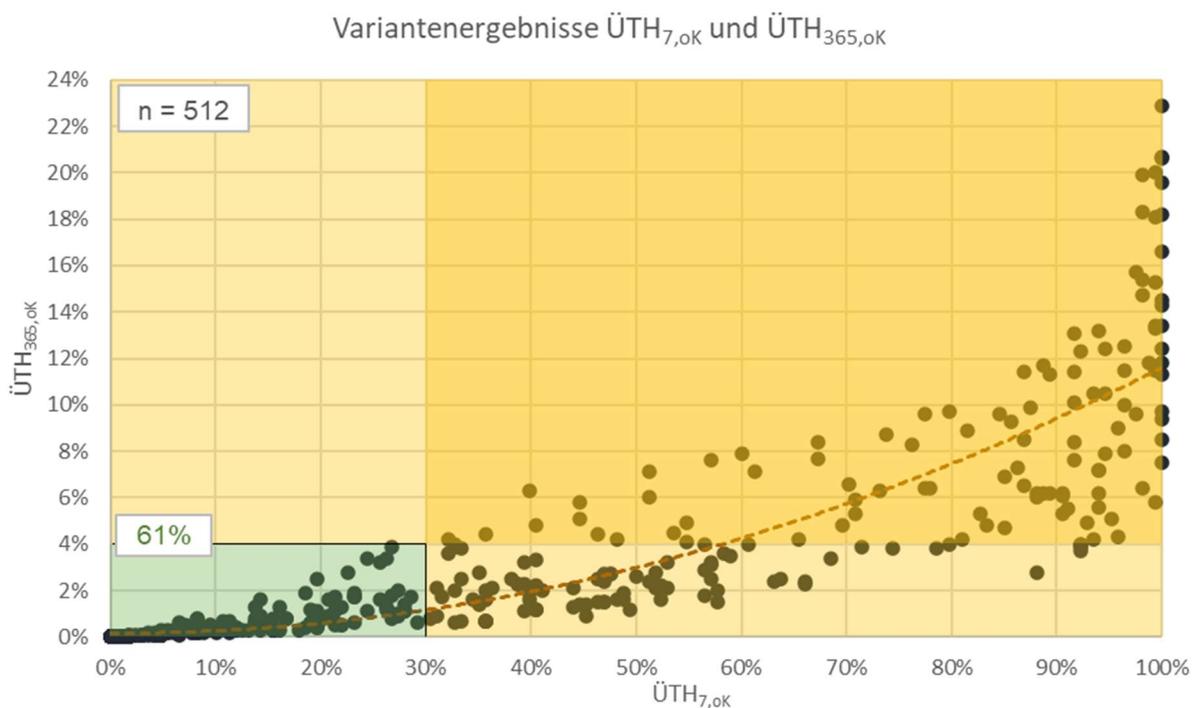


Abbildung 43: Variantenergebnisse für eine Raumnutzung als Wohnküche; Quelle: eigene Darstellung

Nutzungsprofil Schlafzimmer

Bei Betrachtung der Ergebnisse für das Schlafzimmer (*Abbildung 44*) fällt eine stark divergierende Verteilung mit einer Konzentration im tolerierten Bereich und den angrenzenden Feldern sowie einer Markierung in der rechten oberen Ecke auf, der beide Schwellenwerte weit überschreitet. Der mit 29% relativ geringe Anteil an Ergebnispaares im grünen Bereich trotz optisch ähnlicher Verteilung zu Punkten außerhalb des Bereichs resultiert aus einer vielfachen Überlagerung in der rechten oberen Ecke. Hintergrund hierbei ist eine Konzentration aller Punkte außerhalb des maximalen Achsenwerts von 24 %

für $\ddot{U}TH_{365}$ auf ebenjenen Wert, um diese Punkte innerhalb des gewählten Diagrammausschnitts darstellen zu können.

Unter den gegebenen Randbedingungen kommt es für das Schlafzimmer immer zu einer Überschreitung von 24 %, wenn keine Nachtlüftung möglich ist. Da in diesen Fällen die Werte für $\ddot{U}TH_7$ gleichzeitig immer bei 100 % liegen, kommt es an diesem Punkt zur beschriebenen Konzentration. Ursächlich für diesen Effekt ist vor allem, dass nutzungsspezifisch außer einem morgendlichen Lüftungsvorgang zur Abfuhr der CO_2 -Lasten kein Luftaustausch mit dem Außenraum, ausgenommen durch Infiltration, und somit auch keine Abfuhr von Wärmelasten stattfindet. Bei einer durchgängigen Überhitzung ist auch der Umstand unerheblich, dass die Nutzungszeit des Schlafzimmers sich nur auf etwa ein Drittel der Tageszeit beschränkt. Dies zeigt, dass für das Nutzungsprofil Schlafzimmer nicht nur für den sommerlichen Fall eine ausreichende Nachtlüftung gegeben sein sollte. In Fällen, in denen dies nicht möglich ist (z.B. Schutz vor Außenlärm), werden andere Lüftungskonzepte benötigt, die erforderlichenfalls sogar durch aktive Kühlmaßnahmen ergänzt werden müssten.

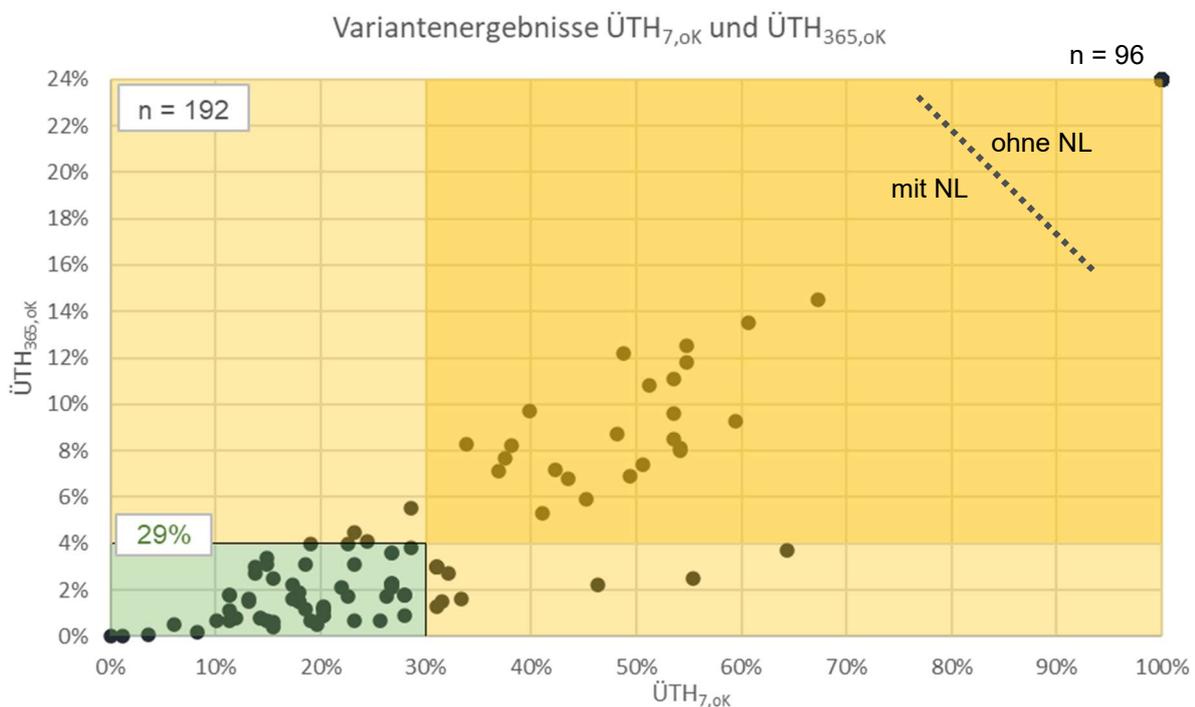


Abbildung 44: Variantenergebnisse für eine Raumnutzung als Schlafzimmer, wobei alle Werte für $\ddot{U}TH_{365,ok}$, die einen Wert von 24 % überschreiten, zur Darstellung auf diesen Wert normiert wurden; Quelle: eigene Darstellung

Nutzungsprofil Kinderzimmer

Aufgrund der Auswahl der untersuchten Basisvarianten stehen für das Kinderzimmer (Abbildung 45) deutlich weniger Ergebnispaare zur Verfügung als für das Schlafzimmer und die Wohnküche (32 zu 192, beziehungsweise 512). In Anbetracht der beschränkten Auswahl wird hier auf die Darstellung einer Trendlinie verzichtet. Es ist jedoch ersichtlich, dass mehr als Zweidrittel der Varianten die Schwellenwerte sowohl für die siebentägige als auch die ganzjährige Betrachtung unterschreiten. Der hohe Erfüllungsgrad trotz einer ausschließlichen Betrachtung von Varianten mit hohem Fensterflächenanteil (vgl. Tabelle 7) legt grundsätzlich nahe, dass das Nutzungsprofil zu den weniger kritischen Anwendungsfällen zählt.

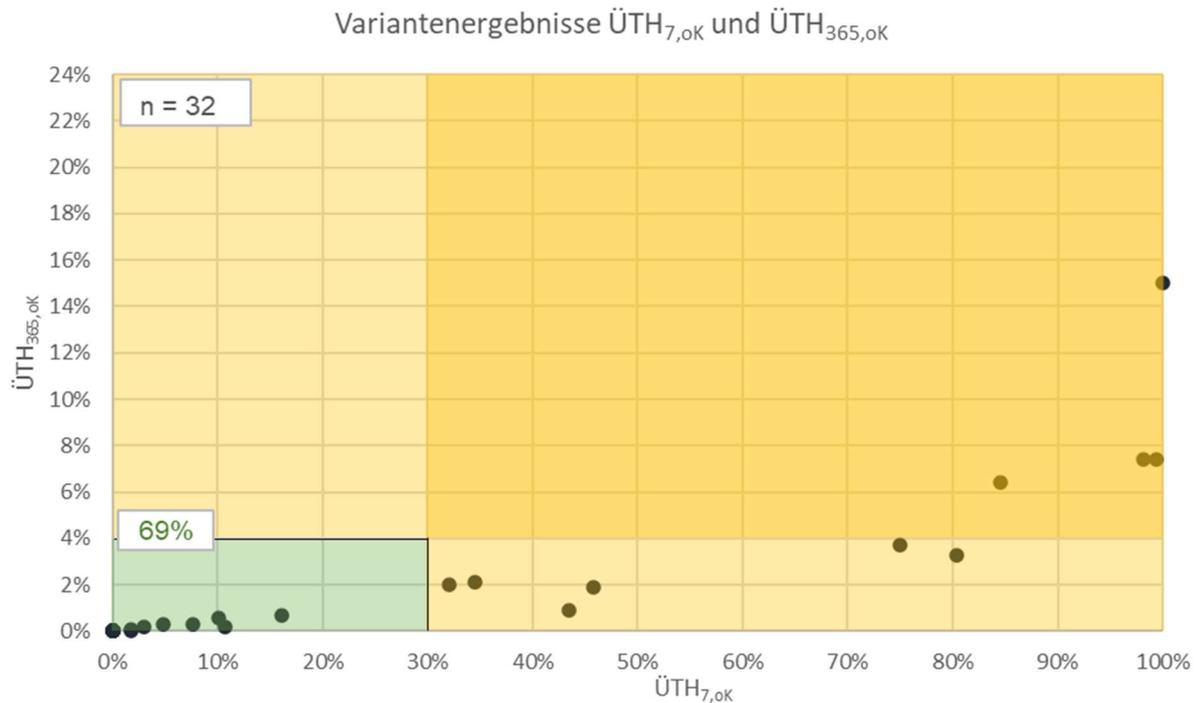


Abbildung 45: Variantenergebnisse für eine Raumnutzung als Kinderzimmer; Quelle: eigene Darstellung

Standorte

Eine weitere Gegenüberstellung erfolgt in Abbildung 46 und Abbildung 47 für die beiden unterschiedlichen Standorte, um die Auswirkungen eines gemäßigten und eines sommerwarmen Klimas zu betrachten (vgl. 4.2.3.2). Für beide Standorte wurden die gleichen Variantenberechnungen durchgeführt, woraus auch die identische Samplegröße resultiert. Die ausgewerteten Daten begrenzen sich jedoch, wie zuvor beschrieben, auf das Raumnutzungsprofil Wohnküche.

Wie die deutlich höheren Klimaindizes in der vorangegangenen Untersuchung der Klimadaten (Tabelle 5) nahelegen, unterschreiten für den Standort St. Pölten deutlich weniger Varianten (43 %, anstelle von 80 % für den Standort Salzburg) beide Schwellenwerte. Deren Anteil beträgt im Vergleich zu Salzburg etwa nur die Hälfte. Weiters zeigen sich für den Standort St. Pölten deutlich höhere jährliche Überschreitungshäufigkeiten bis etwa 23 % sowie eine starke Häufung von Hitzeepisoden, die zu 100 % der Zeit die Temperaturgrenzen überschreiten. Aus diesen Werten lässt sich ein hoher Einfluss der standortbezogenen Klimarandbedingungen und eine entsprechende Berücksichtigung in der Auslegung notwendiger baulicher und technischer Maßnahmen ableiten. Es gilt zu beachten, dass der prozentuale Anteil der Varianten mit beiden erfüllten Anforderungen sich auf die Sampleauswahl bezieht und dem relativen Vergleich im Zusammenhang mit Parametervariationen dienen. Weiters kann sich das Verhältnis durch eine Adaption der Grenzwerte verändern.

Variantenergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

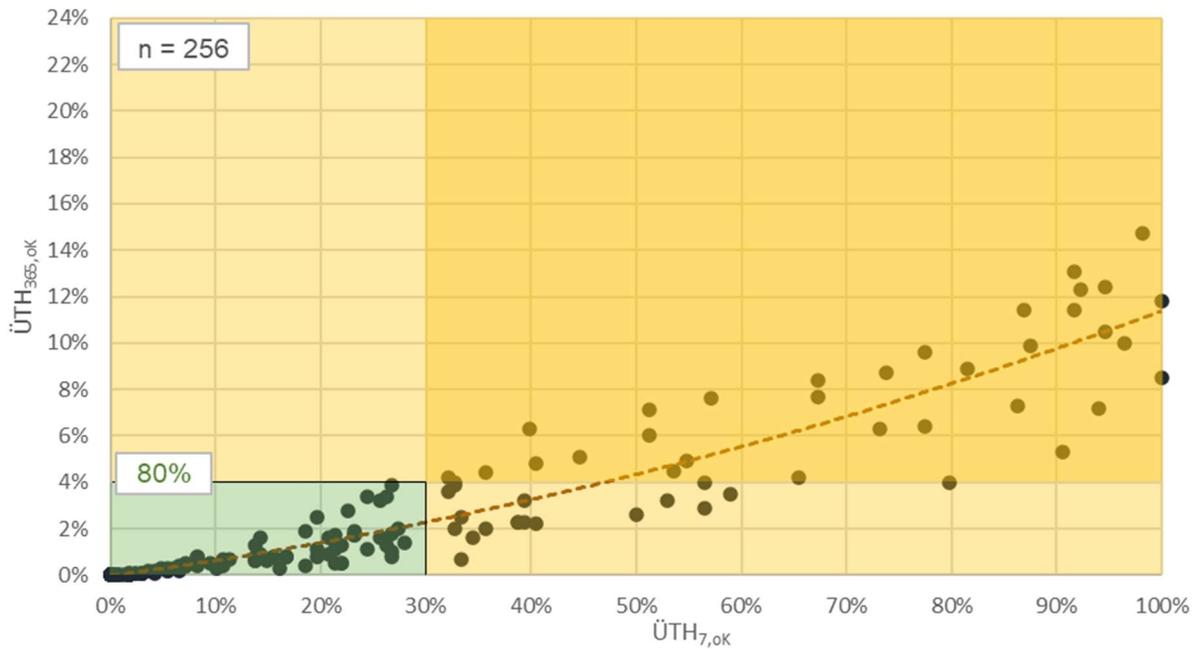


Abbildung 46: Variantenergebnisse für den Standort Salzburg (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Variantenergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

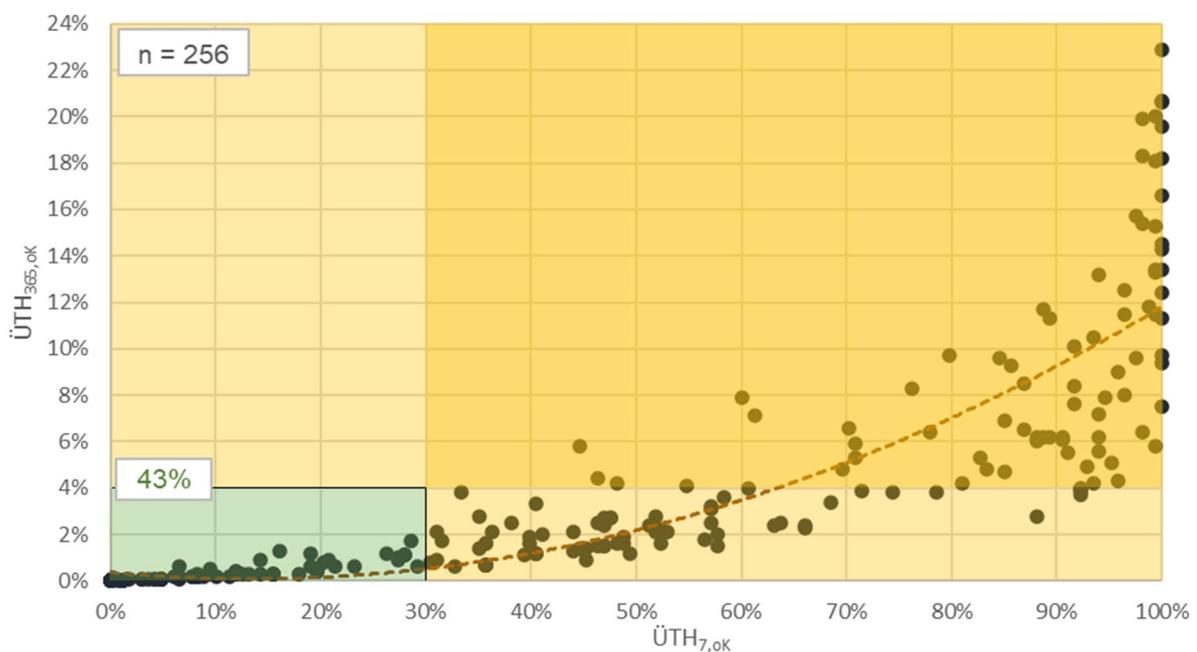


Abbildung 47: Variantenergebnisse für den Standort St. Pölten (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Klimaszenarien

Werden in einem weiteren Vergleich die zugrunde gelegten Klimaszenarien gegenübergestellt (Abbildung 48 und Abbildung 49), zeigt sich zwischen den Ergebnissen unter gegenwärtigen Klimarandbedingungen und jenen für 2050 (RCP-Szenario 2.6) ein ähnliches Verhältnis wie bei den Standorten.

Variantenergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

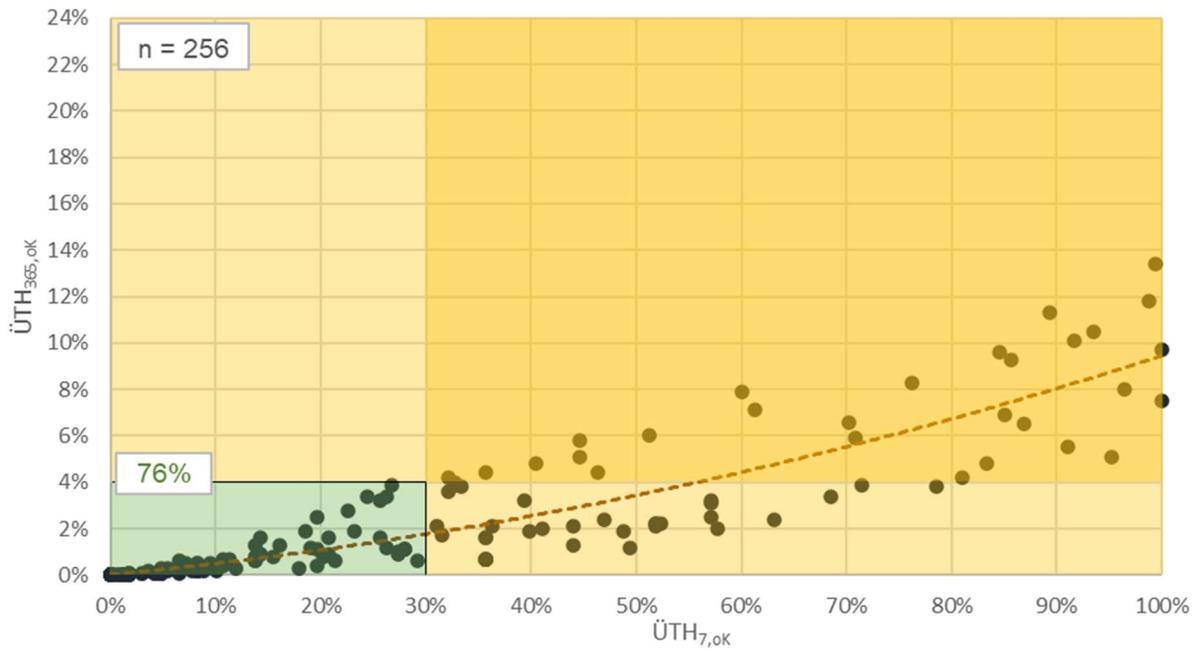


Abbildung 48: Variantenergebnisse für den gegenwärtigen Betrachtungszeitraum (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Variantenergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

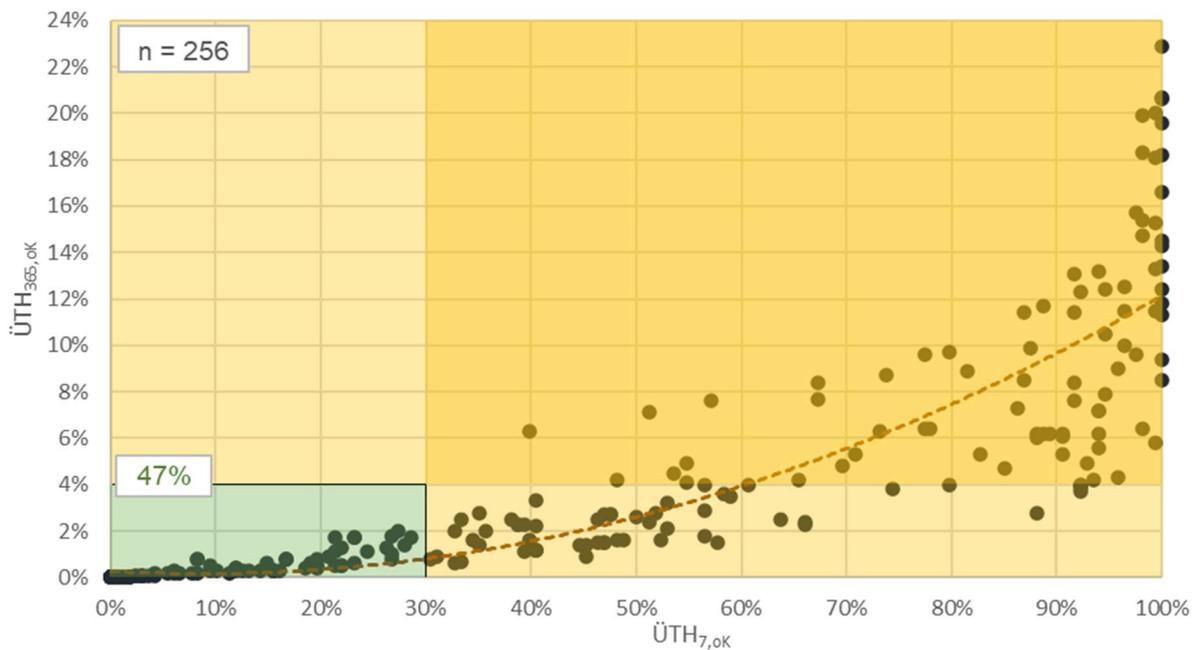


Abbildung 49: Variantenergebnisse für den Betrachtungshorizont 2050 (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Es ist vor dem zukünftigen Betrachtungshorizont davon auszugehen, dass viele Varianten, die unter gegenwärtigen Klimarandbedingungen die siebentägigen und jährlichen Schwellenwerte unterschreiten, dies zukünftig nicht mehr erreichen werden. In Anbetracht der Tatsache, dass die übliche Lebensdauer von heutigen Neubauten den Zeitraum 2050 übersteigt, ergibt sich die Notwendigkeit einer

Berücksichtigung erwartbarer zukünftiger Rahmenbedingungen, um zumindest auch weiterhin noch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit behagliche Zustände in Wohnbauten ermöglichen zu können.

Bauschwere

Weniger signifikante, aber dennoch erkennbare Unterschiede in den Ergebnissen zeigen sich beim Vergleich nach Bauschwere (Abbildung 50 und Abbildung 51). Besonders deutlich zeigt sich bei einer leichten Bauweise die Steigerung der Werte für $\ddot{U}TH_{365}$ anhand einer Horizontalverschiebung der Trendlinie, während die Anzahl der Varianten, die eine $\ddot{U}TH_7$ von 100 % erreichen, augenscheinlich abnimmt. Dies kann womöglich auf die geringere Wärmespeicherefähigkeit leichter Bauteile und somit eine schnellere Wärmeabfuhr über Luftwechsel zurückgeführt werden, ist in Anbetracht der Tatsache, dass bei einer schweren Bauweise deutlich mehr Varianten die betrachteten Grenzwerte einhalten, aber nicht von hoher Relevanz.

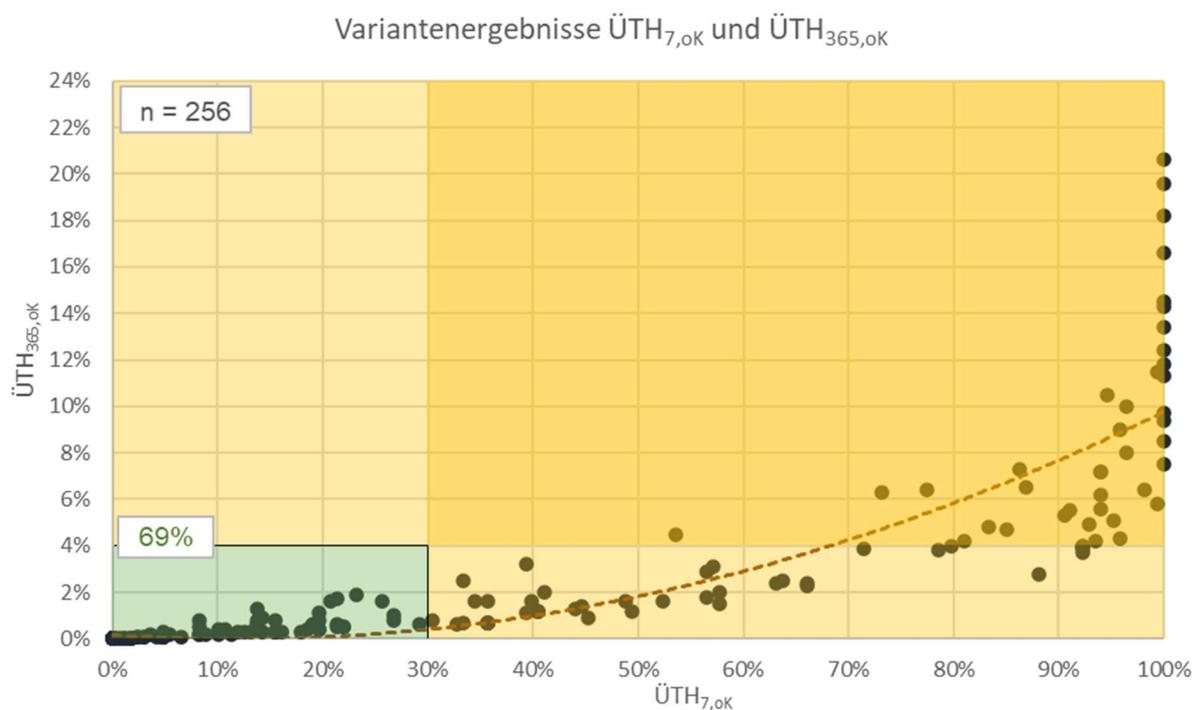


Abbildung 50: Variantenergebnisse für schwere Bauweise (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

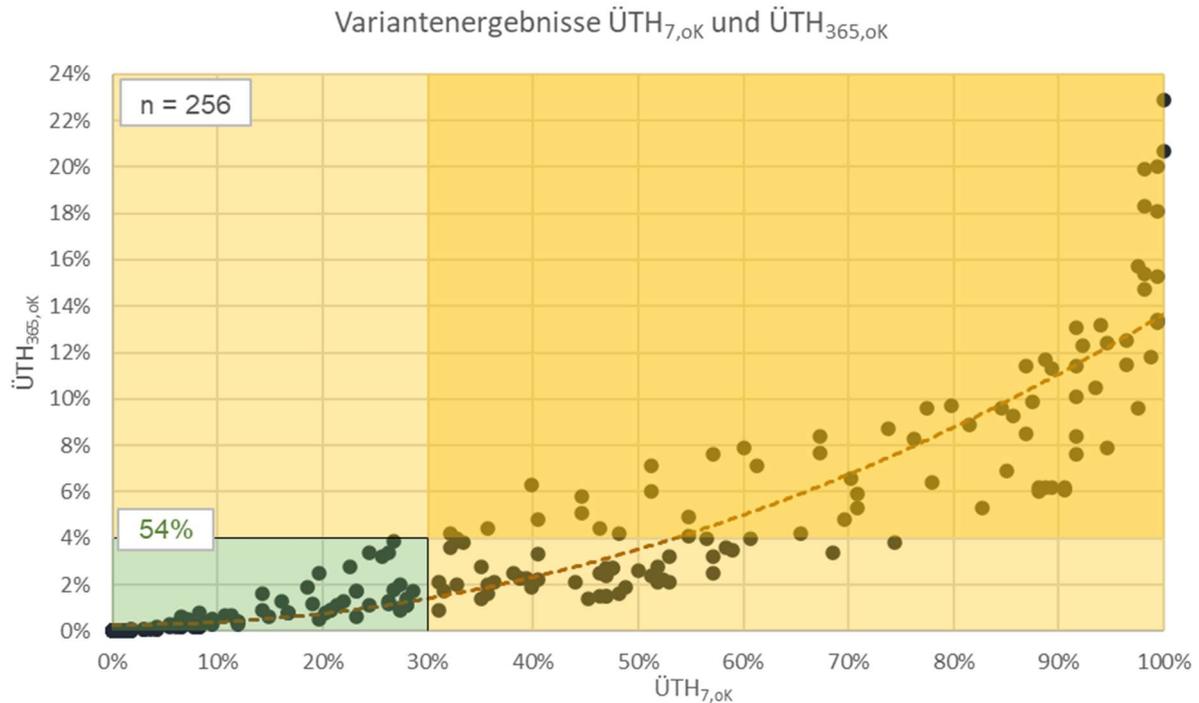


Abbildung 51: Variantenergebnisse für leichte Bauweise (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Fensterflächenanteil

Ein weiterer erheblicher Einfluss kann dem Fensterflächenanteil beigemessen werden, wie die Ergebnisse für Varianten mit 25 % und 50 % fassadenbezogenen Fensterflächenanteil (hier ohne Berücksichtigung eines Rahmenanteils) in *Abbildung 52* und *Abbildung 53* zeigen. Hierbei muss wiederum beachtet werden, dass sich das Verhältnis auf die untersuchte Variation bezieht und sich bei anderen Fensterflächenanteilen unterscheiden würde. Bei einem Fensterflächenanteil von 50 % zeigt sich im Vergleich zum moderateren von 25 % eine deutliche Verschiebung der Ergebnispaaire vom grünen Bereich in die beiden rechten, was impliziert, dass über die Hälfte der Varianten die Anforderungen für die Hitzeperiode nicht einhält. Der Fensterflächenanteil kann somit als erhebliche Stellschraube für die Erreichung hitzeresistenter Wohngebäude identifiziert werden. Hierbei sind jedoch die Wechselwirkungen mit weiteren bauphysikalischen Aspekten, wie den solaren Einträgen in der Heizperiode und der Tageslichtversorgung, zu beachten.

Varianteergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

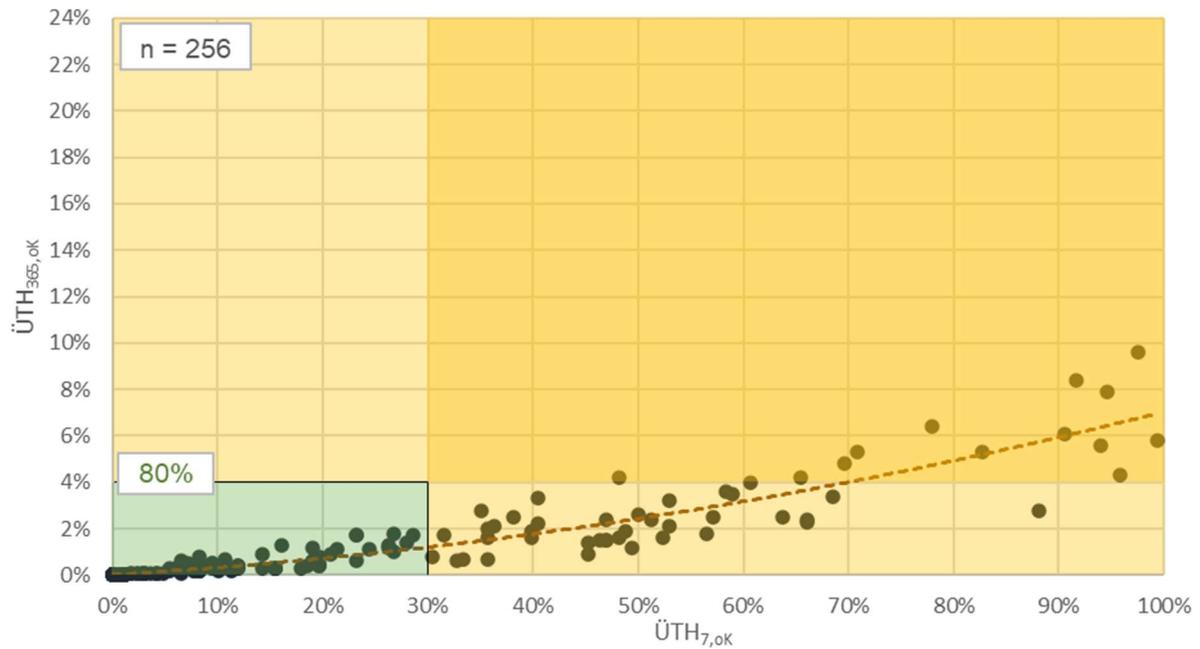


Abbildung 52: Varianteergebnisse bei 25 % Fensterflächenanteil (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Varianteergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

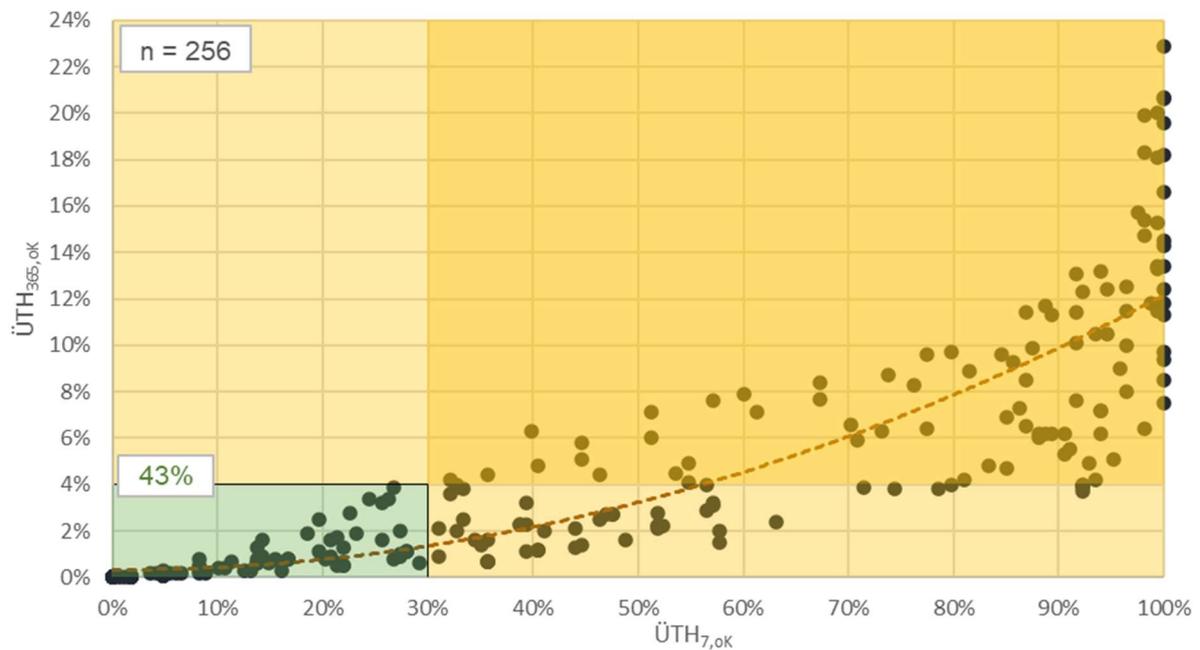


Abbildung 53: Varianteergebnisse bei 50 % Fensterflächenanteil (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Orientierung

Die Differenzierung der Ergebnisse nach Orientierung ist für ost-, süd- und west-orientierte Fassaden in *Abbildung 54*, *Abbildung 55* und *Abbildung 56* ersichtlich. Obwohl süd-orientierte Fassaden im Tagesgang die längste Bestrahlungsdauer durch die Sonne aufweisen, zeigt sich der geringste Anteil an Varianten, die die Schwellenwerte unterschreiten, deutlich bei den ost-orientierten Fassaden (45 %). Bei Fassaden mit einer Süd- oder West-Orientierung ergeben sich hingegen vergleichbare Werte (60 % bzw. 65 %). Dieselbe Tendenz zeigt sich nicht nur beim Nutzungsprofil Wohnküche, sondern auch für die Basisvarianten mit dem Nutzungsprofil Schlafzimmer unter Berücksichtigung der passiven Maßnahme Nachtlüftung.

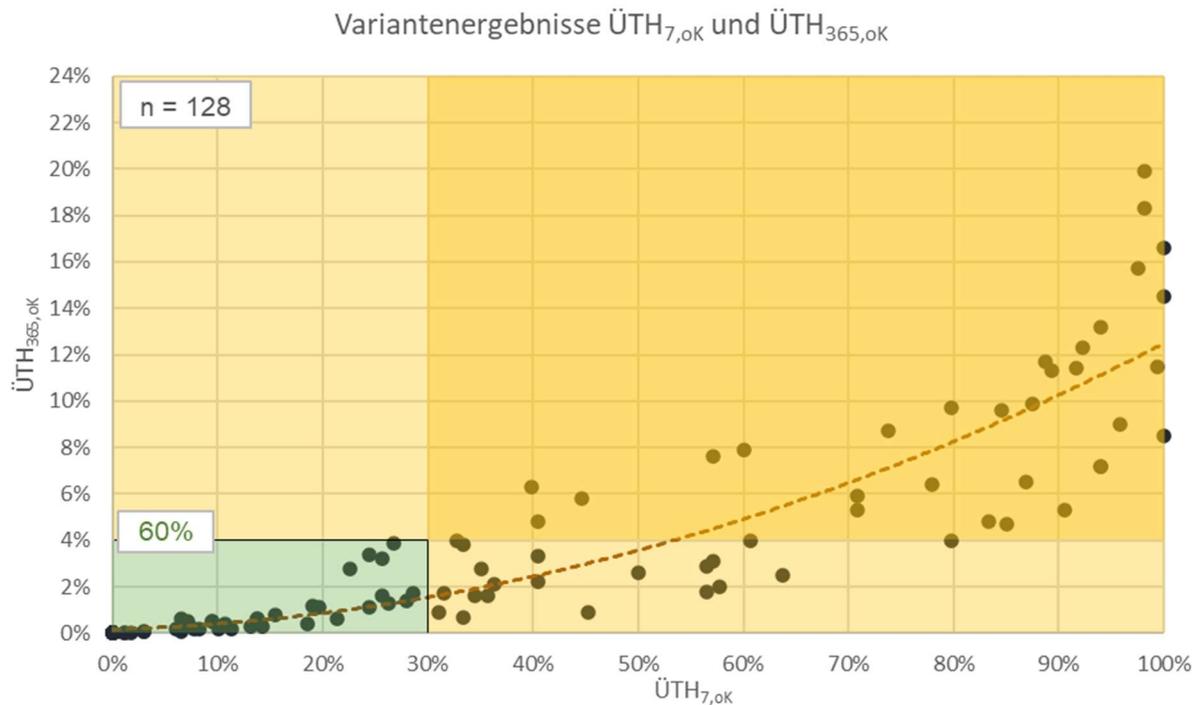


Abbildung 54: Variantenergebnisse bei süd-orientierter Fassade (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Varianteergebnisse $\dot{U}TH_{7,oK}$ und $\dot{U}TH_{365,oK}$

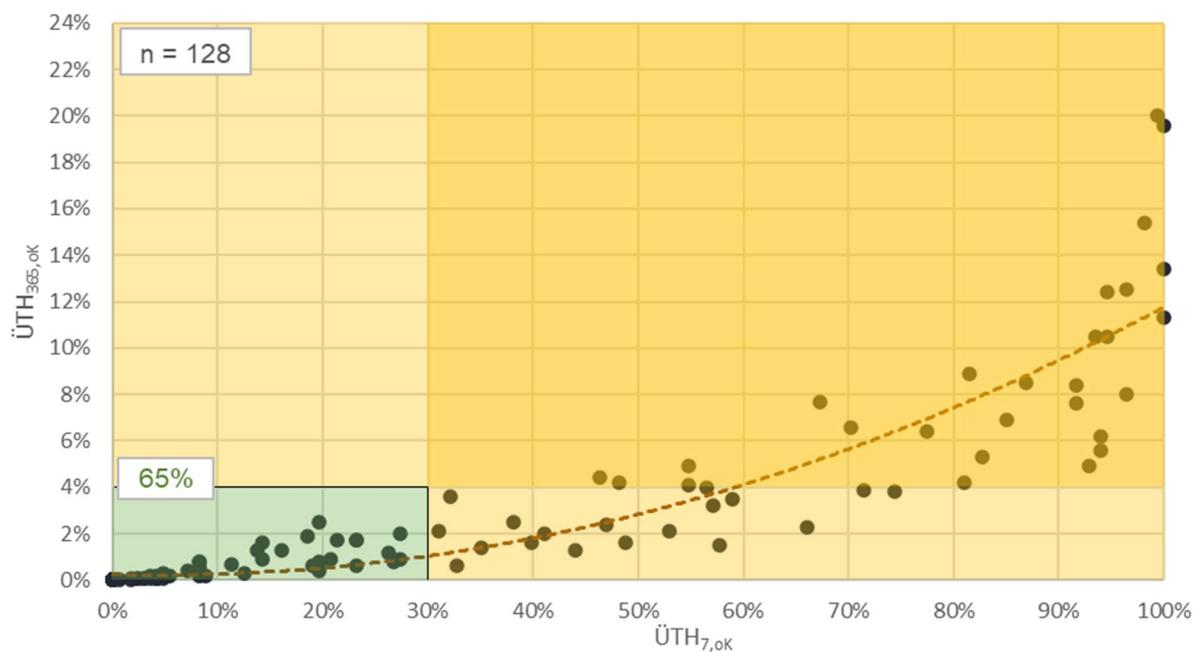


Abbildung 55: Varianteergebnisse bei west-orientierter Fassade (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Varianteergebnisse $\dot{U}TH_{7,oK}$ und $\dot{U}TH_{365,oK}$

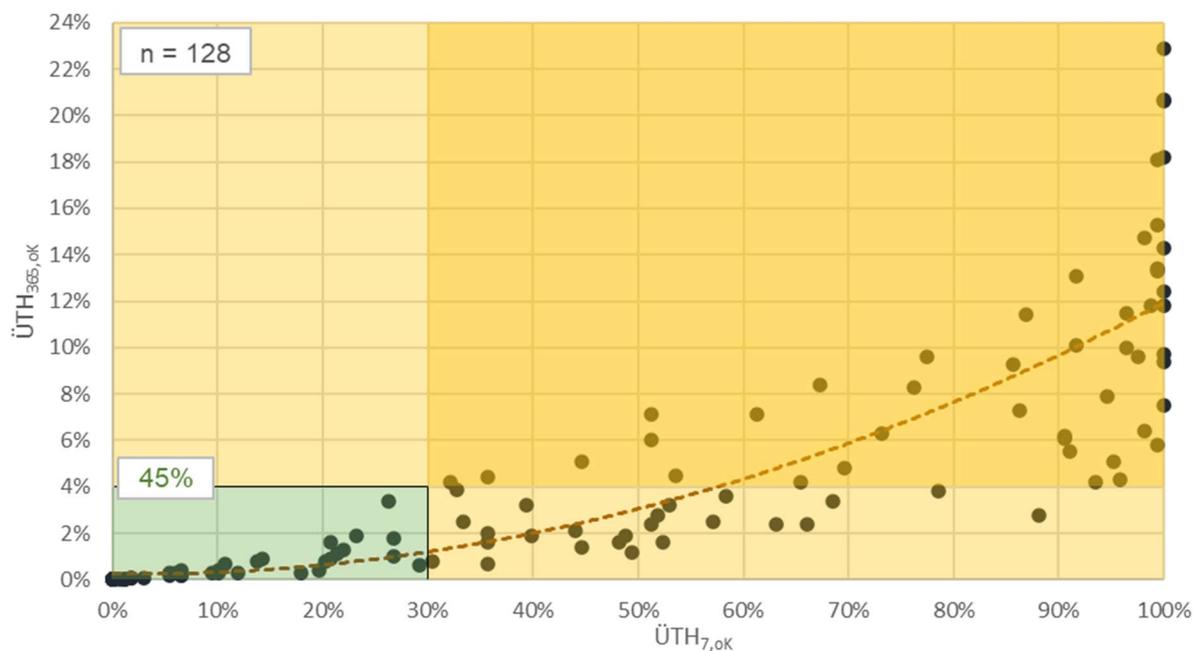


Abbildung 56: Varianteergebnisse bei ost-orientierter Fassade (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Sonnenschutzsteuerung

Eine Betrachtung der Ergebnisdatenblätter aller untersuchten Basisvarianten, die vollzählig im Anhang gelistet sind, zeigt in vielen Fällen ein besonders hohes Optimierungspotential durch eine automatische Sonnenschutzsteuerung. In dem beispielhaft ausgewählten Fall „Wohnküche | leicht | 0,53 | Süd | 50 %“ (Abbildung 57) führt die Berücksichtigung einer automatischen Sonnenschutzsteuerung in Verbindung mit einem außenliegenden Sonnenschutz sowohl für beide Standorte als auch unter beiden Klimaszenarien zu einer signifikanten Verbesserung der Bewertung. Für den ausgewählten Fall wird daher in *Abbildung 58* und *Abbildung 59* den Aktivierungsgrad des Sonnenschutzes für die Fälle manueller und automatischer Steuerung an einem beispielhaften Tag für den betrachteten Fall in *Abbildung 57* gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, dass am betrachteten Tag im Falle einer manuellen Bedienung des Sonnenschutzes bei Anwesenheit der Nutzer:innen (Aktivierungsprofile nach 4.3.4) trotz Überschreitung einer operativen Raumtemperatur von 25 °C zwischen 10:00 und 20:00 Uhr keine Aktivierung des Sonnenschutzes erfolgt. Dies ist zurückzuführen auf eine durchgängige Unterschreitung des Schwellenwerts von 250 W/m² Direktstrahlungsleistung an der Fassade (*Abbildung 58*). Bei einer manuellen Bedienung müssen entsprechend dem hinterlegten Profil zur Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung (vgl. 4.3.4) alle drei Kriterien (Anwesenheit, Mindestwert der operativen Raumtemperatur, Mindestwert der Direktstrahlungsleistung) innerhalb eines Zeit-, bzw. Rechenschritts erfüllt sein. Im Gegensatz hierzu ist in *Abbildung 59* für denselben Betrachtungsfall der Aktivierungszustand der Sonnenschutzvorrichtung bei einer automatischen Sonnenschutzvorrichtung dokumentiert. Es wird ersichtlich, dass durch die hierbei relevante, im Vergleich zur Direktstrahlungsleistung an diesem Tag deutlich höhere Gesamtstrahlungsleistung und deren niedrigerer Schwellenwert von 150 W/m² an der Fassade eine durchgängige mehrstündige Verschattung erfolgt.

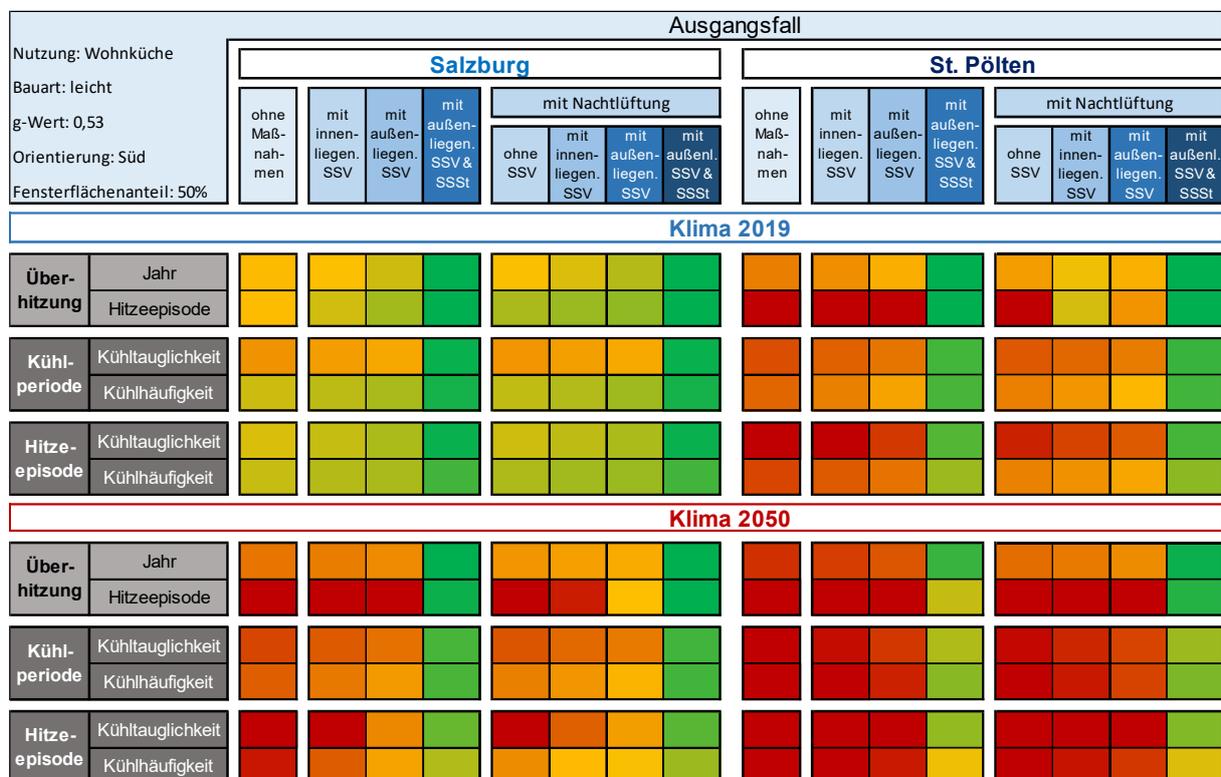


Abbildung 57: Ergebnisdarstellung für den Fall „Wohnküche | leicht | 0,53 | Süd | 50 %“, die beispielhaft den hohen Einfluss der automatischen Sonnenschutzsteuerung zur Vermeidung von Überhitzung und zur Minimierung des Kühlaufwands dokumentiert; Quelle: eigene Darstellung

02. Juni - Sonnenschutzvorrichtung, manuell bedient

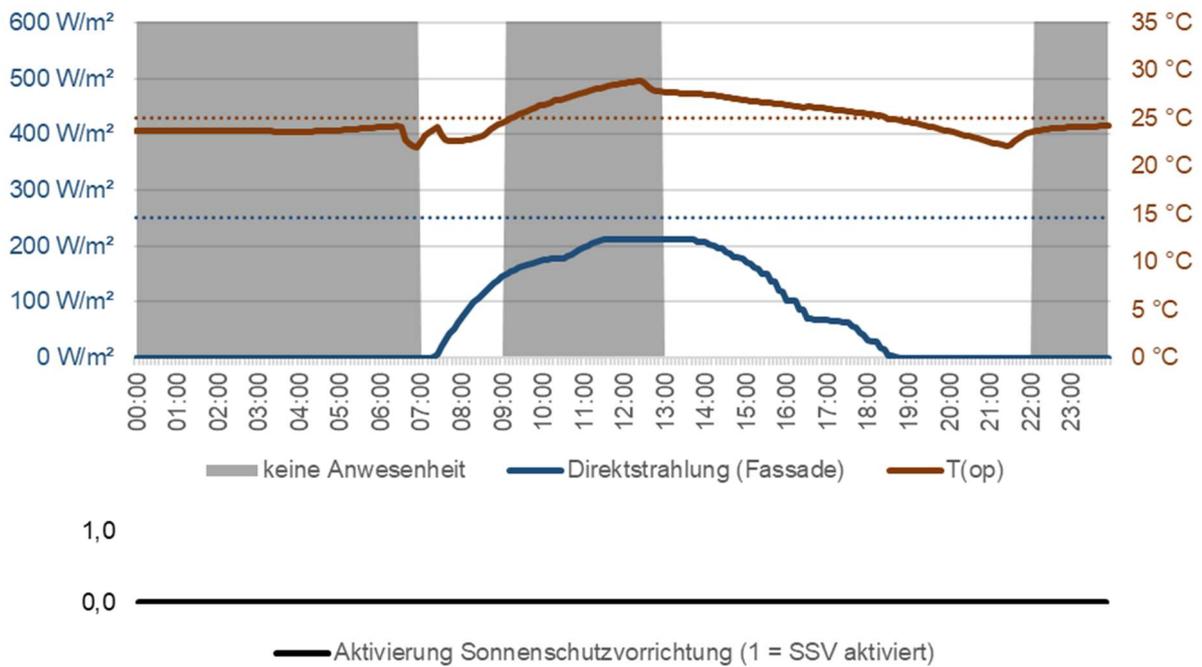


Abbildung 58: Eine Betrachtung der zuvor behandelten Variante zeigt für den 2. Juni keine Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung im Falle einer manuellen Bedienung aufgrund der Unterschreitung des Schwellenwertes von $250 W/m^2$ für die Direktstrahlungsleistung (Punktlinie); Quelle: eigene Darstellung

02. Juni - Sonnenschutzvorrichtung, automatisch gesteuert

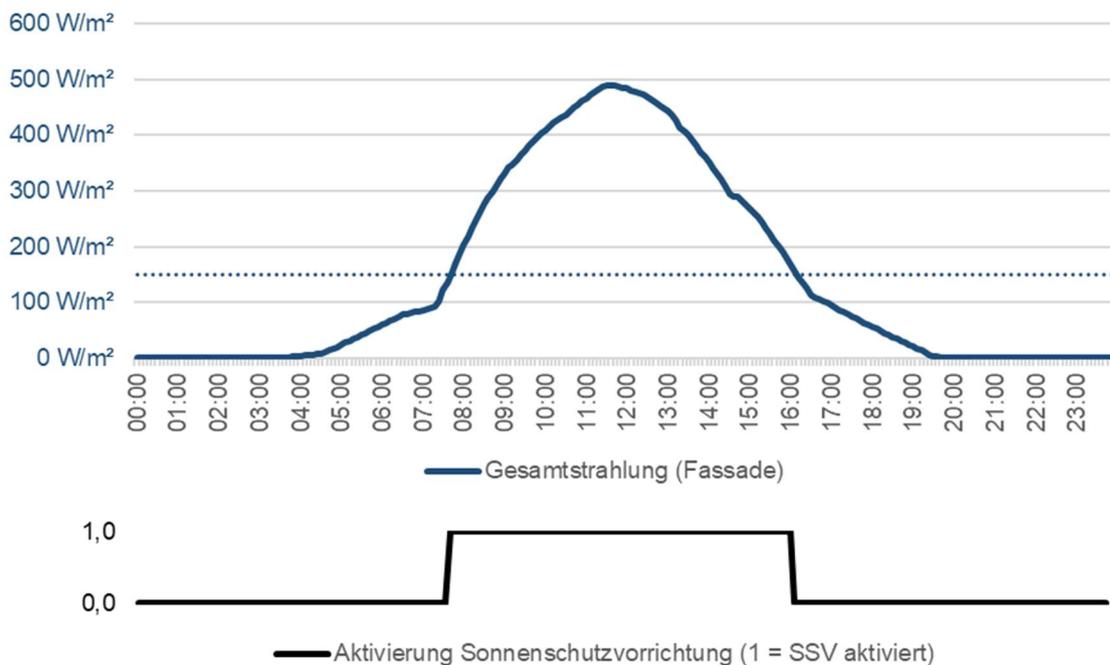


Abbildung 59: Im Falle einer automatischen Sonnenschutzsteuerung ist die Sonnenschutzvorrichtung bei derselben Ausgangssituation von morgens bis in den Nachmittag aufgrund der Überschreitung des Schwellenwertes von $150 W/m^2$ Gesamtstrahlungsleistung (Punktlinie) hinein aktiviert; Quelle: eigene Darstellung

Es sei daher noch einmal darauf hingewiesen, dass das zusätzliche Potential einer automatischen gegenüber einer manuellen Sonnenschutzsteuerung von der Aktivierungsmöglichkeit und -kompetenz der Nutzer:innen abhängig ist. Für eine realitätsnahe Abschätzung des Verbesserungspotentials einer automatischen Sonnenschutzsteuerung in Wohngebäuden fehlt es bislang jedoch an aussagekräftigen Studien zum Verhalten von Nutzer:innen in Bezug auf die Aktivierung von Sonnenschutzvorrichtungen.

Die Auswertungen aller Varianten für das Profil Wohnküche nach dem Kriterium Sonnenschutzvorrichtung einschließlich Regelungsart in *Abbildung 60 bis Abbildung 63* zeigen, dass der hier angesetzte innenliegende Sonnenschutz ($g_{\text{tot}} = 0,30$ bzw. $F_C = 0,57$) als zusätzliche Maßnahme nur in wenigen Varianten (+5 Prozentpunkte gegenüber keinem Sonnenschutz) dazu beiträgt, dass die Schwellenwerte unterschritten werden. Der außenliegende Sonnenschutz ($g_{\text{tot}} = 0,05$ bzw. $F_C = 0,09$) mit manueller Steuerung führt dagegen schon zu einer Verbesserung um 13 Prozentpunkte. Dies entspricht 17 zusätzlichen Varianten gegenüber der Betrachtung ohne Sonnenschutz. Die zusätzliche Berücksichtigung einer automatischen Steuerung führt hingegen dazu, dass nur noch 14 der betrachteten 128 Varianten außerhalb der definierten Schwellenwerte liegen. Auf die zuvor bereits beschriebene Notwendigkeit einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Verbesserungspotential einer automatischen Steuerung wird nochmals hingewiesen.

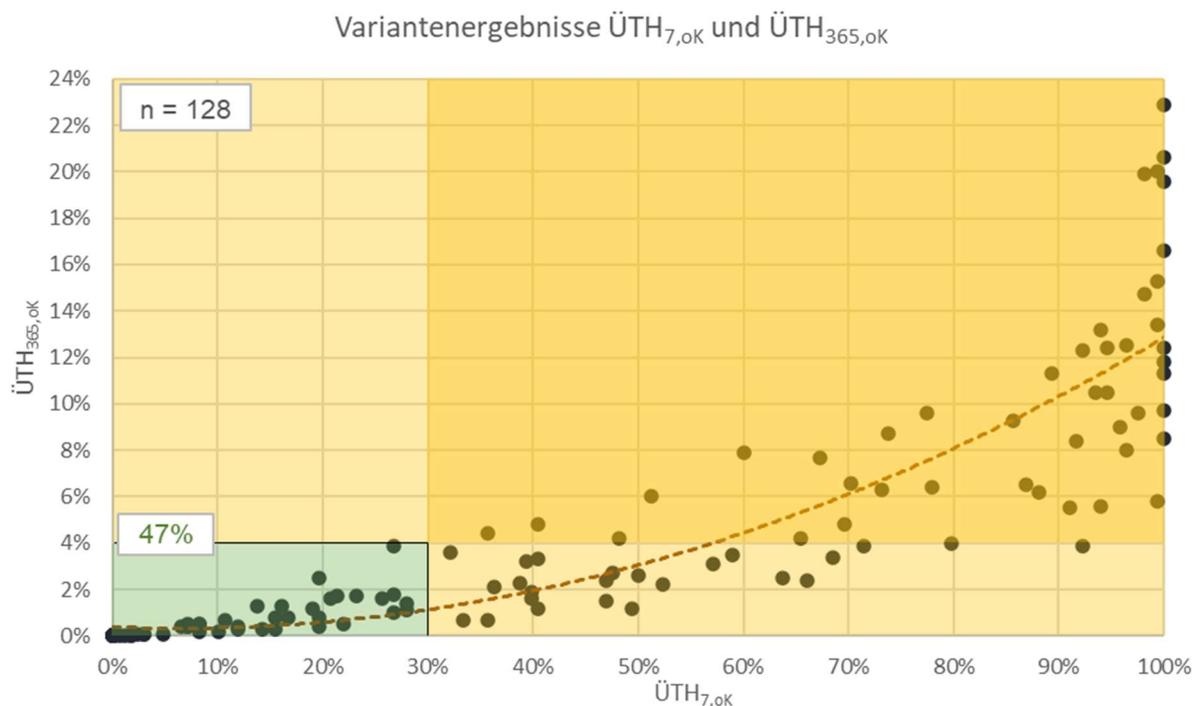


Abbildung 60: Variantenergebnisse ohne Sonnenschutzvorrichtung (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Varianteergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

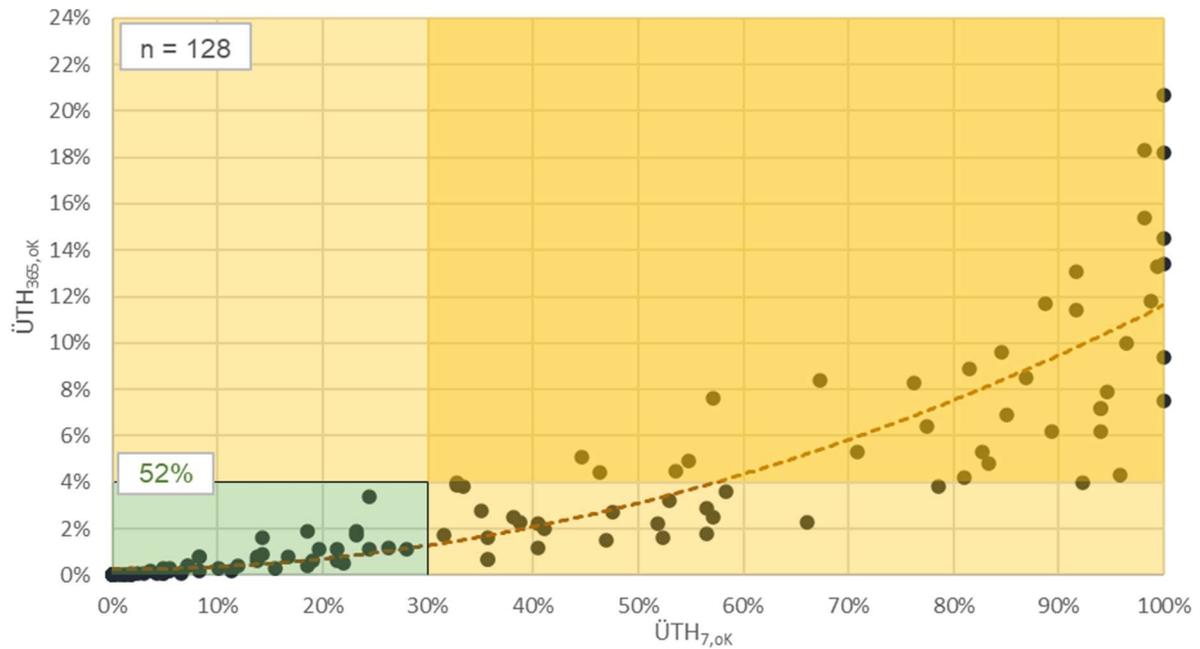


Abbildung 61: Varianteergebnisse bei innenliegender Sonnenschutzvorrichtung (Raumnutzung Wohnküche);
Quelle: eigene Darstellung

Varianteergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

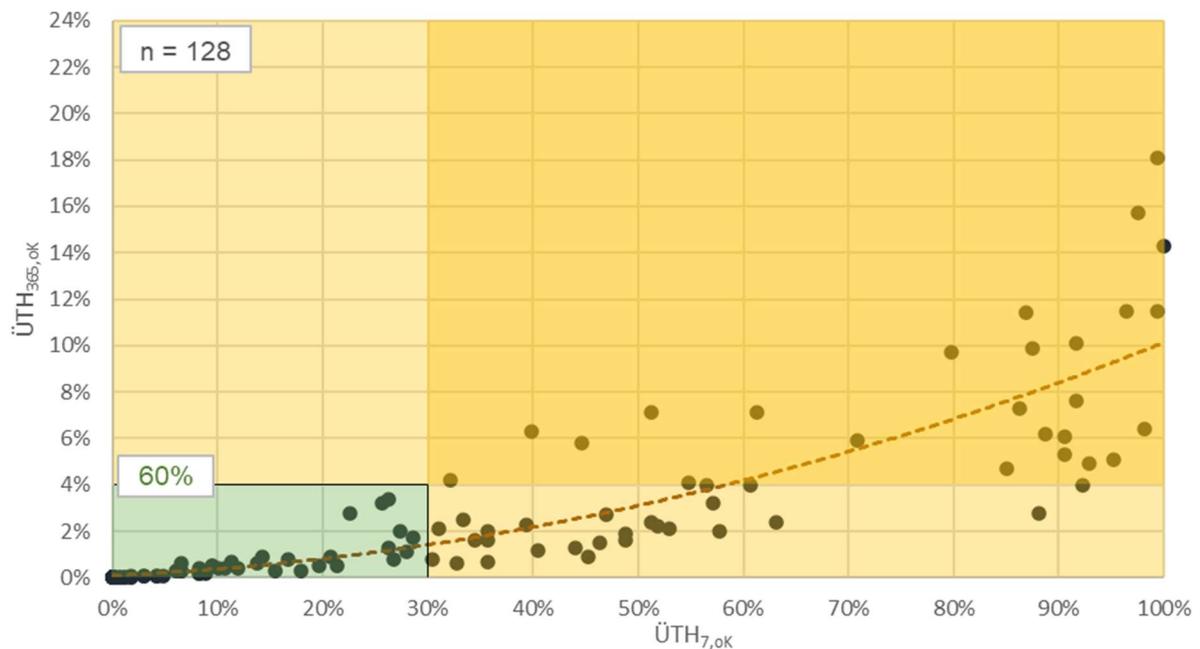


Abbildung 62: Varianteergebnisse bei außenliegender Sonnenschutzvorrichtung mit manueller Bedienung
(Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

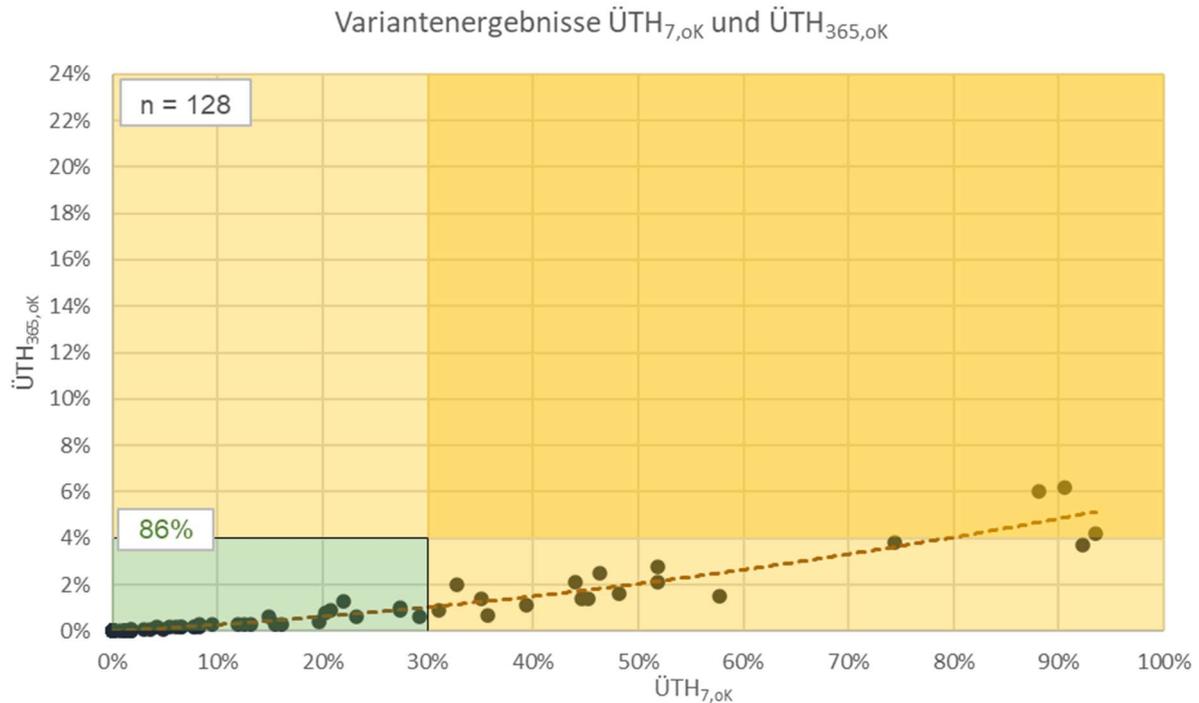


Abbildung 63: Variantenergebnisse bei außenliegender Sonnenschutzvorrichtung mit automatischer Sonnenschutzsteuerung (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung

Nachtlüftung

Der Einfluss passiver Maßnahmen auf die Überschreitungshäufigkeiten wird anhand der Nachtlüftung dargestellt. In *Abbildung 64* und *Abbildung 65* sind abweichend zu den vorherigen Auswertungen jedoch alle Nutzungen und somit alle Variantenbetrachtungen eingeschlossen. Während bei angewandeter Nachtlüftung etwa Zweidrittel der Varianten unterhalb der Schwellenwerte liegen, sind dies für den Fall ohne Nachtlüftung nur noch 39 %. Weiters zeigt sich, dass die Möglichkeit der Nachtlüftung hohen Einfluss auf die Bewertung während der Hitzeperiode nimmt. Etwa 33 % (mit Nachtlüftung 11 %) der betrachteten Varianten weisen für diesen Fall ein $\ddot{U}TH_7$ von mehr als 90 % aus.

Variantenergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

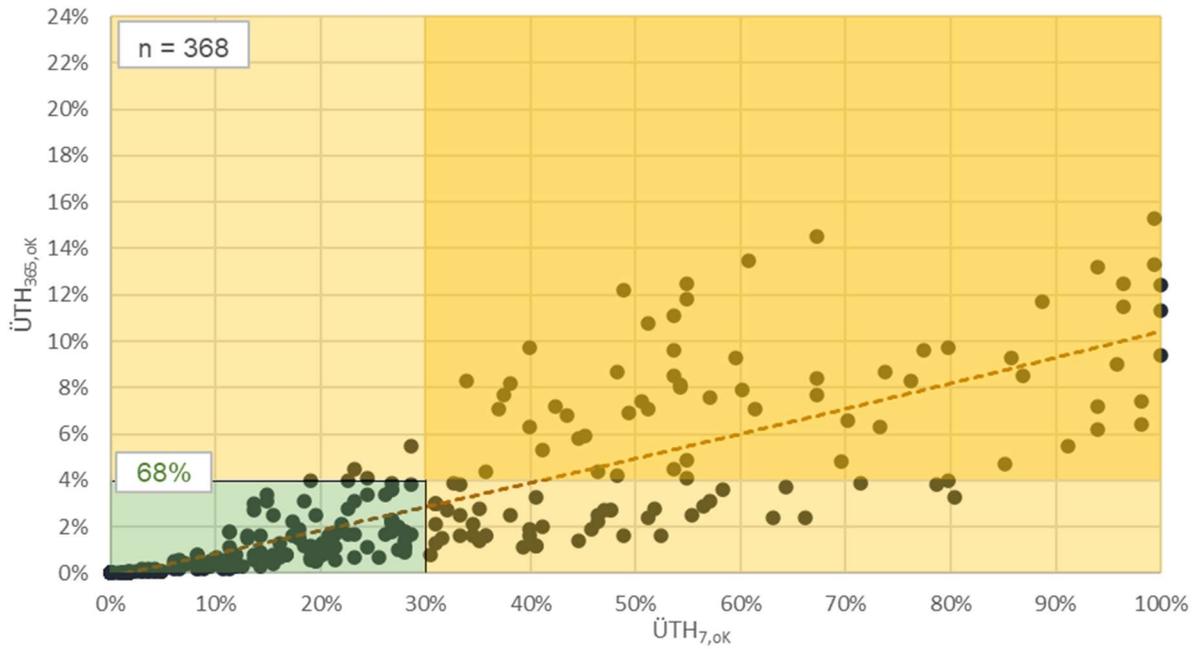


Abbildung 64: Variantenergebnisse bei angesetzter Nachtlüftung (alle Raumnutzungen); Quelle: eigene Darstellung

Variantenergebnisse $\ddot{U}TH_{7,oK}$ und $\ddot{U}TH_{365,oK}$

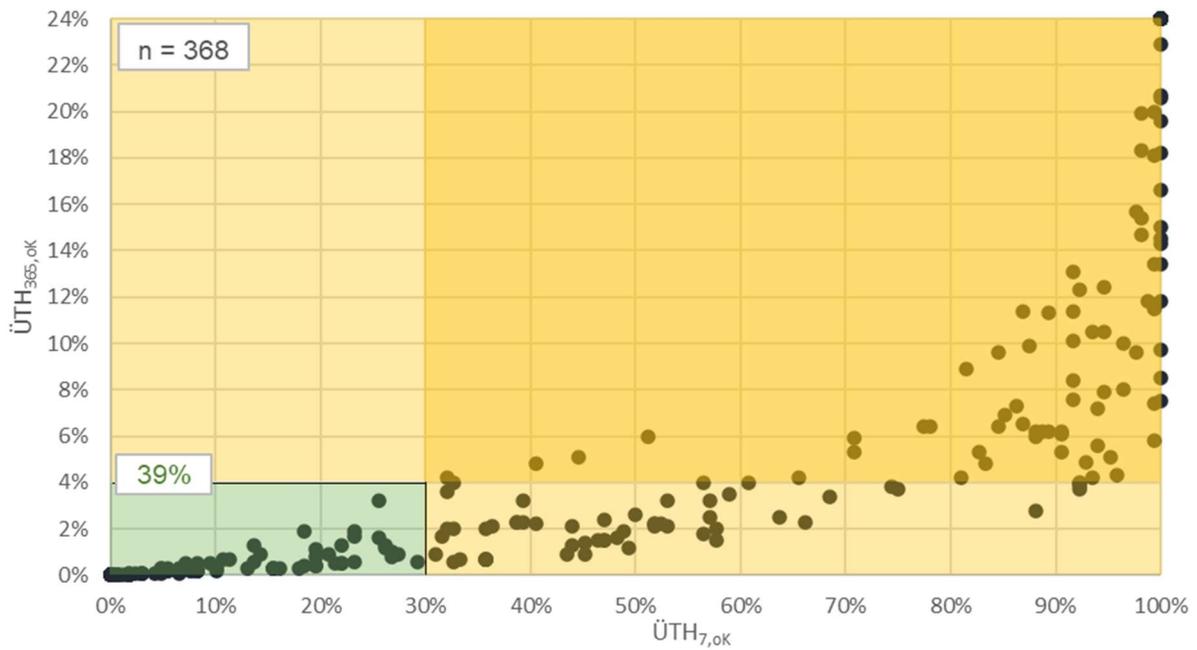


Abbildung 65: Variantenergebnisse ohne Nachtlüftung (alle Raumnutzungen); Quelle: eigene Darstellung

4.4. Technologienvergleich marktüblicher Kühltechnologien

4.4.0. Kühlbedarf in Wohngebäuden

Die Klimaveränderung führt weltweit zu einem steigenden Kühlbedarf in Gebäuden (IEA, 2022). In den mittleren Breitengraden Europas (nördlich der Alpen) ist eine Gebäudekühlung in Wohngebäuden nicht üblich, da diese aus klimatischen Gründen, sofern die Entwurfsprinzipien zur Vermeidung einer sommerlichen Überhitzung berücksichtigt wurden, bislang nicht erforderlich ist. In Baden-Württemberg hatten beispielsweise 2020 gut 3 % bzw. 500 der neu errichteten Wohngebäude (ohne Wohnheime) eine Anlage zur Kühlung berücksichtigt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022). Die klimatischen Veränderungen können aber auch in den kommenden Jahren in diesen Breitengraden den Bedarf an Raumkühlung in Wohngebäuden erhöhen, wie es beispielsweise in (Klima- und Energiefonds, 2022) beschrieben wird (Abbildung 66).

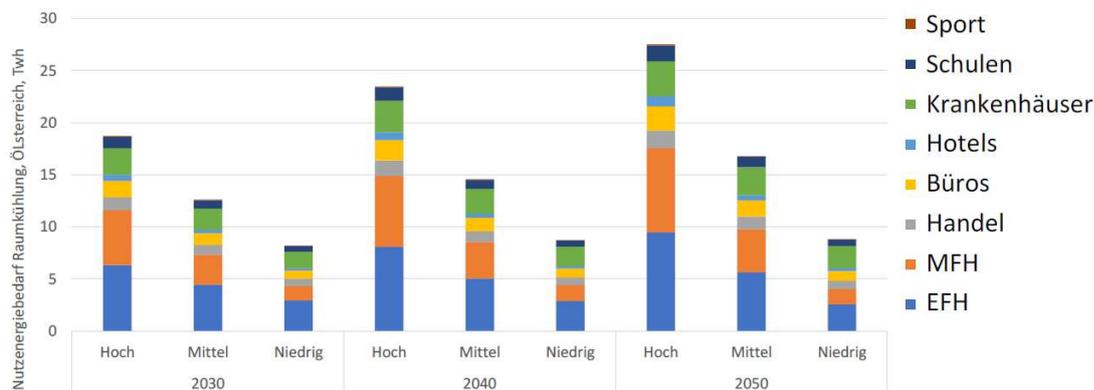


Abbildung 66: Kühlbedarf nach Gebäudekategorien unter den Klimaannahmen von RCP8.5-hot, Österreich 2030 bis 2050; Quelle: Klima- und Energiefonds, 2022

Insbesondere die geplante flächendeckende Umstellung von Heizkesseln auf Wärmepumpen kann der Gebäudekühlung einen Vorschub leisten, da diese vermeintlich einfach reversibel, das heißt sowohl als Wärme- wie auch Kälteerzeuger betrieben werden können. Es gilt jedoch zu beachten, dass der Nutzung eines Kälteerzeugers einerseits Betriebs- und Wartungskosten nach sich zieht und andererseits der für den Betrieb erforderliche elektrische Strom zusätzlich bereitzustellen ist. Unabhängig davon, dass der aktuelle Strombedarf noch nicht einmal vollständig durch erneuerbaren Strom gedeckt werden kann, kann eine dann zukünftige hohe Leistungsnachfrage während einer Hitzeperiode die Netzstabilität gefährden.

4.4.1. Kühltechnologien für Wohngebäude

Damit die aus dem Raum zu entnehmende Wärme über den Kälteerzeuger abgeführt werden kann, ist ein Energieaufwand notwendig, der aus verschiedenen Quellen stammen kann. Die Gesamteffizienz einer Gebäudekälteanlage umfasst weiters Aspekte der Speicher- und Verteilverluste sowie des Umfangs der zu konditionierenden Räume und kann grundsätzlich nur als Gesamtsystem bewertet werden. Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten der Kälteerzeugung mit ihren charakteristischen Eigenschaften beschrieben.

4.4.1.1. Passive Kühlung

Von passiver Kühlung kann ausgegangen werden, wenn zur Raumkühlung Systeme eingesetzt werden, bei denen Energie ausschließlich zur Förderung des Kühlmediums erforderlich ist, das heißt es

handelt sich um Systeme ohne zwischengeschaltete Kältemaschine. Sie findet in der Regel Anwendung in Verbindung mit thermisch aktivierten Bauteilen mit Nutzung eines Sohlplattenkühlers oder Erdwärmetauschers (geothermische Kühlung, kein bivalenter Betrieb mit Kältemaschinen) oder Systeme mit Kühlung über indirekte Verdunstung (monovalente Betriebsweise) (Quelle: DIN 4108-2:2013-02; ÖNROM H 5058-1).

Systeme zur passiven Kühlung verwenden als Wärmesenken in der Regel das Erdreich, Grundwasser oder Außenluft. Die Senkenleistung ist meist jedoch begrenzt. Grund dafür kann entweder eine Begrenzung der Entnahmemenge und der Rücklauftemperatur bei der Verwendung von Grundwasser sein oder die wetter- und jahreszeitabhängige Außentemperatur.

Nachdem eine Verfügbarkeit einer erforderlichen Kühlleistung durch eine passive Kühlung nicht gewährleistet werden kann, wird diese innerhalb dieser Untersuchungen nicht weiter berücksichtigt.

4.4.1.2. Kompressionskältemaschinen

Kompressionskältemaschinen (KKM) sind elektrisch betriebene Kältemaschinen. Dieser Typ Kältemaschine besitzt den größten Marktanteil und wird am häufigsten in Kälteversorgungssystemen eingesetzt. In einem linkdrehenden Kreisprozess erfährt ein Kältemittel nacheinander eine Aggregatzustandsänderung von flüssig zu gasförmig und umgekehrt. Bei der Verdampfung wird vom Kältemittel Verdampfungswärme aus der Umgebung aufgenommen und so ein Kühleffekt erzeugt (Wosnitza & Hilgers, 2012). Das Kältemittel, welches den Verdampfer (1) durchströmt, nimmt Umgebungswärme auf und verdampft (Abbildung 67). Dadurch wird der gewünschte Kühleffekt erzielt. Anschließend wird das nun gasförmige Kältemittel durch den Verdichter (2) verdichtet und so auf ein höheres Temperatur- und Druckniveau gebracht. Nach diesem Prozessschritt gelangt das verdichtete Medium zum Verflüssiger (3). Dort führt das Kältemittel die Kondensationswärme an die Umgebung ab und verflüssigt sich somit wieder. Anschließend wird das Kältemittel mittels Expansionsorgan (4) auf den Verdampfendruck entspannt und strömt zurück in den Verdampfer (Maurer, 2016).

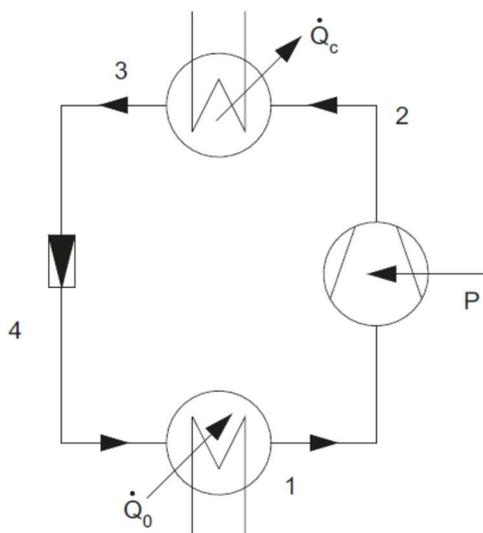


Abbildung 67: Kreisprozess einer Kompressionskältemaschine (Maurer, 2016)

Kompressionskälteanlagen unterscheiden sich hinsichtlich der Wärmesenke (z. B. Luft, Wasser, Erdreich) oder ihrer detaillierten Funktionsweise (z.B. Klimageräte oder Wärmepumpen). So handelt es sich beispielsweise bei einer Erdwärmepumpe mit Kühlfunktion um ein mechanisches Kühlsystem, das das Erdreich als Wärmesenke nutzt. Die Kühlleistung von Kompressionskältesystemen ist stark skalierbar und kann wenige hundert Watt bis zu mehreren Megawatt betragen (Zhang et al., 2021).

Kompressionskältemaschinen werden in ihrer Betriebsweise grundsätzlich in folgende Systeme unterschieden:

Raumklimageräte

Raumklimageräte werden üblicherweise nach dem Prinzip der Direktverdampfung betrieben, das heißt das Kältemittel nimmt die Wärme unmittelbar in dem zu kühlenden Raum auf (Verdampfungsprozess) und gibt diese über den Verflüssiger in der Außeneinheit an die Umwelt (Rückkühlung) ab. Diese entspricht dem Kreisprozess nach *Abbildung 67*.

Indirekte Kühlsysteme

Bei indirekten Kühlsystemen wird zunächst Wasser gekühlt, welches dann über ein Rohrleitungssystem in den zu kühlenden Raum geführt wird. Dort nimmt das Wasser die Wärmeenergie auf und transportiert diese zur Kältemaschine, wo sie über einen Wärmeübertrager an das Kältemittel übergeben wird.

Luftgekühlte Kältemaschine

Eine luftgekühlte Kältemaschine gibt die Wärmeenergie unmittelbar über das Kältemittel an die Außenluft ab.

Wassergekühlte Kältemaschine

Bei einer wassergekühlten Kältemaschine wird die Wärmeenergie über einen Wärmeübertrager vom Kältemittel auf einen Wasserkreislauf übergeben. Dieser transportiert die Wärmeenergie zu einem Rückkühlwerk (Trocken- oder Nasskühler), welches die Wärme dann an die Umgebung abgibt.

4.4.1.3. Absorptionskältemaschinen

Ein wesentlicher Unterschied zur Kompressionskälteanlage ist, dass Absorptionskältemaschinen durch Wärme betrieben werden. Die Verdichtung des Kältemittels erfolgt hierbei nicht über einen elektrisch betriebenen Verdichter, sondern thermisch über einen Sorptionsprozess. Absorptionskältemaschinen nutzen hierfür ein Kältemittel und ein Lösungsmittel, so dass zwei Arbeitsstoffe als Arbeitsstoffpaar eingesetzt werden. Der Kälteprozess besteht aus zwei ineinander verschalteten Kreisläufen (Kältemittel- und Lösungsmittelkreislauf). Die thermische Verdichtung erfolgt mit Hilfe des Lösungsmittelkreislaufs. In der Praxis haben sich zwei Arbeitsstoffpaare etabliert (Schmidt et al., 2020):

Kältemittel	Lösungsmittel
Wasser (H ₂ O)	Lithium-Bromid-Lösung (LiBr)
Ammoniak (NH ₃)	Wasser (H ₂ O)

Diese Technologie findet keine Anwendung im Wohnungsbau. Übliche Anwendungsgebiete sind beispielsweise Büro-, Kauf- oder Krankenhäusern, Hotels oder auch Fernkältezentralen.

4.4.1.4. Adsorptionskältemaschinen

Adsorptionskältemaschinen sind thermisch betriebene Kältemaschinen. Sie nutzen ein festes Sorptionsmittel, wie z.B. Aktivkohle, Zeolith oder Silikagel, um mit Hilfe eines sorptiven Prozesses ein Kältemittel zu verdichten. Das Sorptionsmittel befindet sich in einem Apparat, der als Absorber und Desorber im zeitlichen Wechsel fungiert (Wosnitza & Hilgers, 2012).

Übliche Anwendungsgebiete sind zwar die Klimatisierung, jedoch findet diese Technologie keine Anwendung im Wohnungsbau.

4.4.1.5. Solare Kühlung

Das Prinzip der solaren Kühlung auf der Absorptionstechnologie. Die für den Betrieb erforderliche Wärmeerzeugung erfolgt jedoch durch Solarenergie. Auch diese Technologie findet bislang keine Anwendung im Zusammenhang mit Wohngebäuden.

4.4.1.6. Fernkälte

Fernkälte entsteht in eigenen Zentralen, in denen Kälte in Form von kaltem Wasser (5 bis 6°C) erzeugt wird, und wird über ein Fernkältenetz zu den Abnehmern transportiert und dort mittels einer Übergabestation in deren hauseigenen Kühlsysteme transferiert.

Im Gegensatz zur Fernwärme konzentriert sich Fernkälte in kleinen Bereichen mit sehr hohem Bedarf an Kälte für Klimatisierungszwecke wie Universitäten, Flughäfen, Regierungsvierteln. Die Fernkältezentralen sind i.d.R. integriert in dem zu klimatisierenden Gebäudekomplex. Bedingt durch den Klimawandel und die Zunahme von extremen Wärme- und Kälteperioden nimmt sowohl die Fernwärme als auch die Fernkälte an Bedeutung zu. Bereits heute existieren in mehreren europäischen Städten Fernkältesysteme, wie aus der xx zu ersehen ist. Wie bei der Fernwärme so auch bei der Fernkälte ist ein Gleichzeitigkeitsgrad von 70 % bis 80 %, bezogen auf die Summe der Anschlusswerte, üblich (Konstantin P. & Konstantin M, 2022).

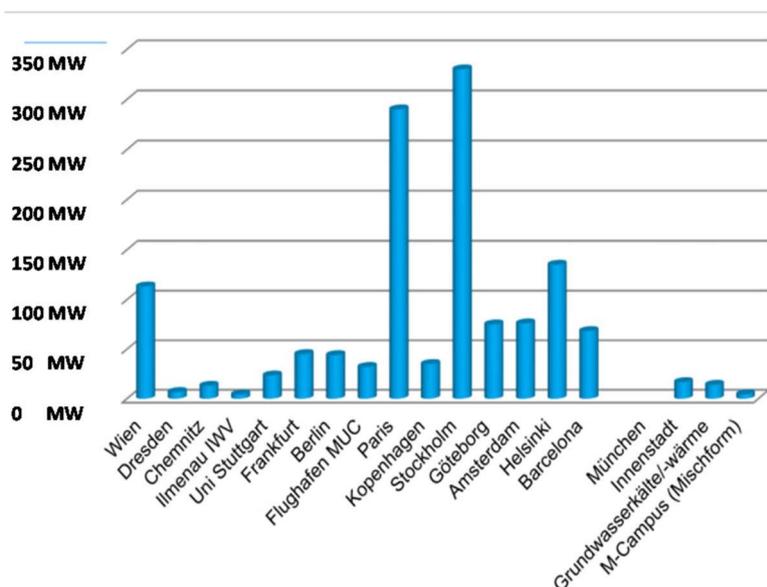


Abbildung 68: Fernkältesysteme in Europäischen Großstädten (aus: The World Factbook-CIA) (Konstantin P. & Konstantin M, 2022)

Die Wienenergie beschreibt ihr Fernkältenetz wie folgt: Die Fernkälte entsteht in eigenen Zentralen. Mit hocheffizienten Maschinen wird hier Kälte in Form von kaltem Wasser erzeugt. Als Antriebsenergie wird Strom oder Wärme verwendet. Im Sommer kommt diese Wärme das vor allem Abwärme aus den Müllverbrennungsanlagen. Über ein eigenes Fernkältenetz wird das auf etwa 5°C bis 6°C abgekühlte Wasser direkt zu den Abnehmern transportiert und dort über hauseigene Kühlsysteme verteilt. Dabei kann es sich etwa um Rohre in den Betonwänden eines Gebäudes oder auch um Gebläsekonvektoren („Fan Coils“) in den Zimmern handeln. Das Wasser nimmt die Wärme aus dem jeweiligen Gebäude auf und transportiert sie ab. Zur Rückkühlung wird zum Beispiel Flusswasser verwendet. Im Vergleich zu herkömmlichen kleinteiligen Klimageräten kann auf diese Weise deutlich Energie und CO₂ eingespart werden (Wien Energie, 2023).

4.4.2. Bewertung ausgewählter Kühltechnologien

Für die Bewertung der ausgewählten Kühltechnologien soll zunächst der Kühlbetrieb während des jeweiligen Betrachtungszeitraums näher betrachtet werden. Dies soll anhand der folgenden Variante jeweils für den Gebäudestandort und das Klimaszenario erfolgen.

- Basisvariante: Wohnküche | leicht | $g = 0,53$ | Ost | 50% Fensterflächenanteil
- Maßnahme: mit Nachtlüftung

Das dazugehörige Ergebnisdatenblatt ist in *Abbildung 69* dargestellt.

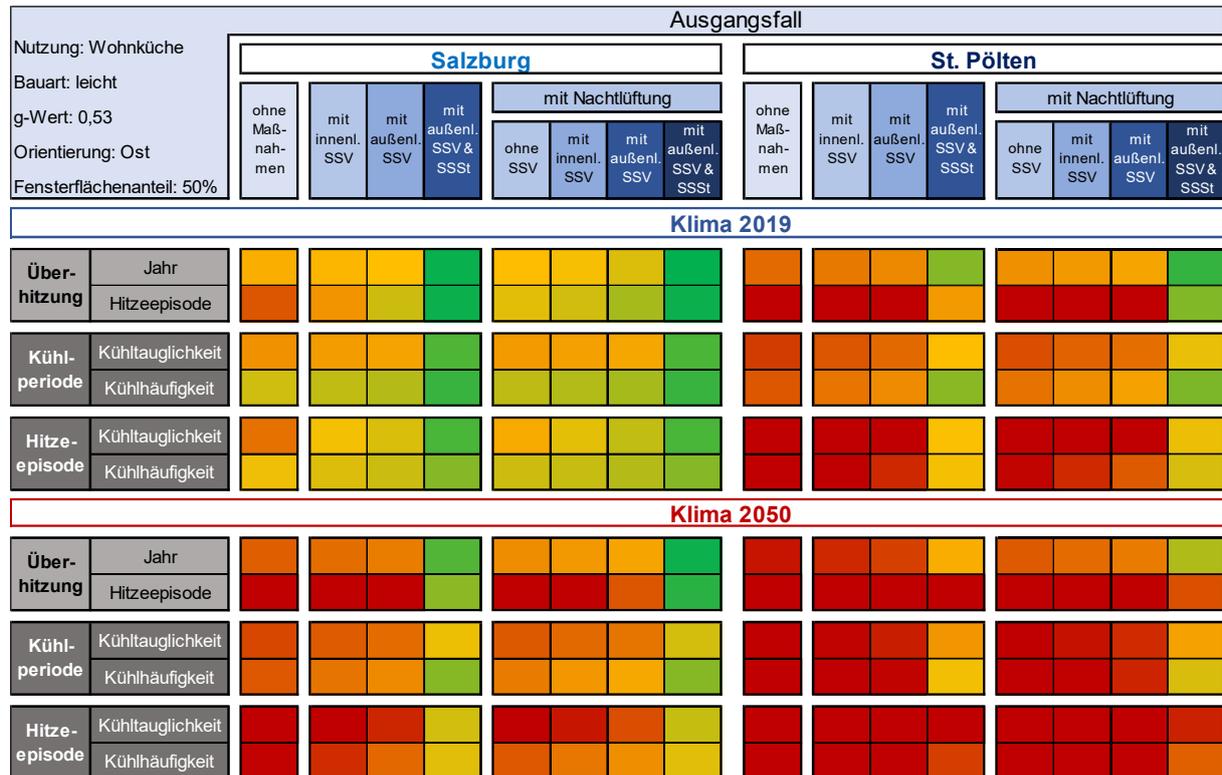


Abbildung 69: Ergebnisdatenblatt für die Basisvariante Wohnküche | leicht | $g = 0,53$ | Ost | 50% Fensterflächenanteil; Quelle: eigene Darstellung

Für die Kühlperiode stellt sich für die ausgewählte Variante die geordnete Dauerlinie der erforderlichen Kühlleistung, die sich aus Anwendung der Kategorie II nach EN 16798-1 ergibt, wie in *Abbildung 70* dar. Die maximale Kühlleistung in den betrachteten Varianten wurde mit 400 W vorgegeben (vgl.0), sodass sich für diesen Fall ein Teillastfaktor von 1,0 ergibt. Dieser Faktor sagt aus, wie groß der Anteil der rechnerisch ermittelten Kühlleistung an der maximalen Kühlleistung in dem jeweiligen Stunden-schritt ist. Über den Teillastfaktor kann u.a. eine Bewertung der Leistungszahl und damit des Energiebedarfs für den Betrieb einer Kompressionskältemaschine vorgenommen werden.

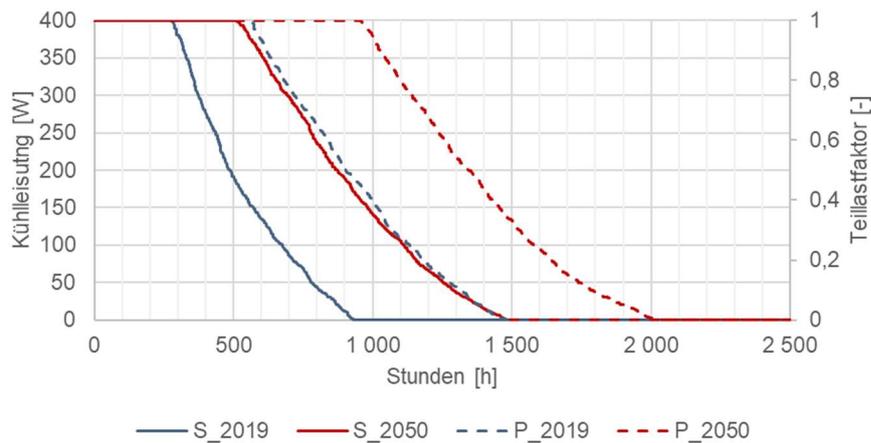


Abbildung 70: Geordnete Dauerlinie der Kühlleistung und der Teillastfaktoren der Variante WoKü_L_053_O_50%_NL für beide Gebäudestandorte und Klimaszenarien über den Auswertezeitraum der Kühlperiode; Quelle: eigene Darstellung

Der Anteil des Kühlbetriebs an dem Betrachtungszeitraum der Kühlperiode liegt zwischen 909 h für die Variante Salzburg (2019) und 1 961 h für die Variante St. Pölten (2050). Eine Auswertung des Teillastfaktors mit unterschiedlicher Betrachtungsweise ist in (Tabelle 13) ersichtlich.

Tabelle 13 Auswertung des Teillastfaktors für die Variante WoKü_L_053_O_50%_NL während des Kühlbetriebs über den Zeitraum der Kühlperiode

	Salzburg (2019)	Salzburg (2050)	St. Pölten (2019)	St. Pölten (2050)
Anzahl der Stunden mit Kühlbetrieb [h]	909	1429	1424	1961
Teillastfaktor ermittelt als:				
arithmetischer Mittelwert [-]	0,59	0,64	0,66	0,70
Median [-]	0,57	0,73	0,76	0,97
Modalwert [-]	1,00	1,00	1,00	1,00
Prozentualer Anteil des Modalwerts an den Betriebsstunden	31%	36%	40%	49%

Für alle vier Varianten ergibt sich ein Modalwert von 1, das heißt der häufigste Betriebszustand ist der Volllastbetrieb. Dieser findet in der Variante Salzburg (2019) zu 31 % bzw. 282 h und in der Variante St. Pölten (2050) zu 49 % bzw. 961 h statt. Während der arithmetische Mittelwert und der Median für die Variante Salzburg (2019) relativ identisch sind, zeigt sich für die Variante St. Pölten eine deutliche Abweichung zwischen diesen beiden Mittelwerten. Dies erlangt insbesondere Bedeutung, wenn die Effizienz eines Kälteerzeugers im Modulationsbereich zwischen minimaler und maximaler Leistung keinen linearen Verlauf einnimmt.

Die Auswertung, wie sie zuvor für die Kühlperiode durchgeführt wurde, wird im nachfolgenden auch auf die Hitzeepisode angewendet. Die entsprechende geordnete Dauerlinie ist in Abbildung 71 dargestellt.

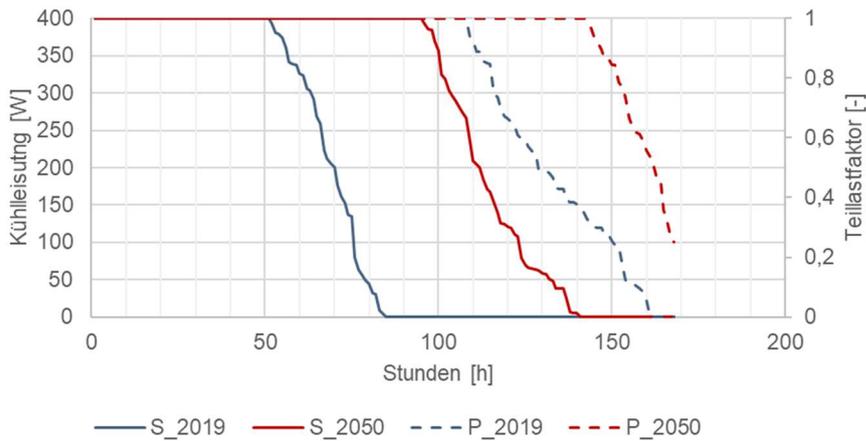


Abbildung 71: Geordnete Dauerlinie der Kühlleistung und der Teillastfaktoren der Variante WoKü_L_053_O_50%_NL für beide Gebäudestandorte und Klimaszenarien über den Auswertezeitraum der Hitzeperiode; Quelle: eigene Darstellung

Der Anteil des Kühlbetriebs an dem Betrachtungszeitraum der Hitzeperiode liegt zwischen 82 h für die Variante Salzburg (2019) und 168 h für die Variante St. Pölten (2050). Für die Variante St. Pölten (2050) bedeutet dies eine durchgängige Kühlung während der Hitzeperiode. Eine Auswertung des Teillastfaktors mit unterschiedlicher Betrachtungsweise ist in (Tabelle 14) ersichtlich. Nachfolgend wird in Abbildung 72 (Kühlperiode) und Abbildung 73 (Hitzeperiode) die Kühlhäufigkeit für die betrachtete Basisvariante mit allen Maßnahmen detailliert dokumentiert.

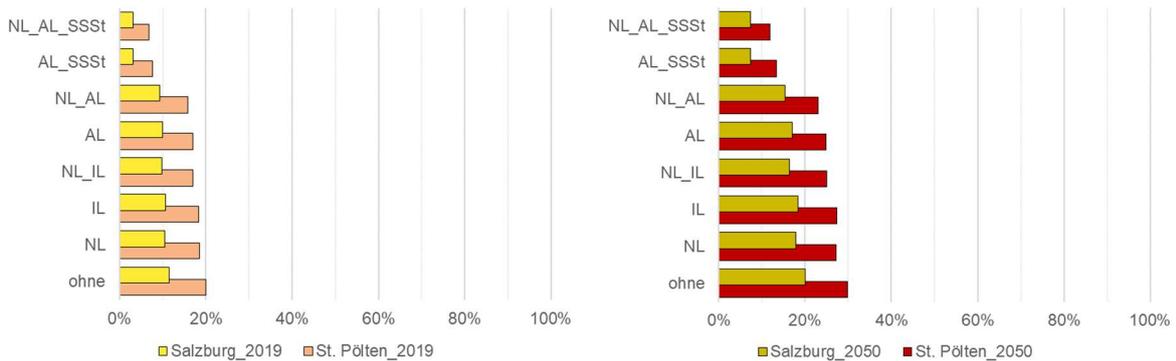


Abbildung 72: Vergleich des Kennwertes der Kühlhäufigkeit während der Kühlperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

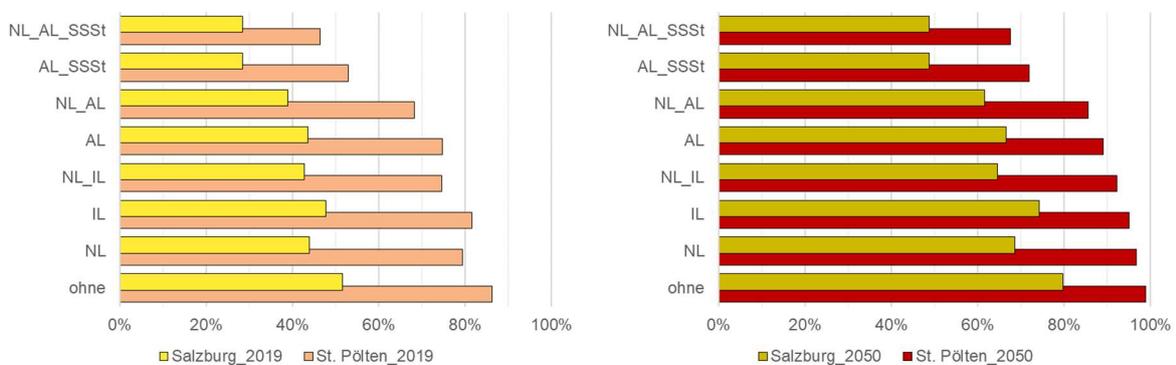


Abbildung 73: Vergleich des Kennwertes der Kühlhäufigkeit während der Hitzeperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund des längeren Betrachtungszeitraums für die Kühlperiode (214 d) weist die relative Dauer des Kühlbetriebs (Kühlhäufigkeit) wesentlich geringere Werte auf als bei dem Bezug auf die Hitzeepisode. Bei Kühlhäufigkeiten von mehr als 95 % kann von einem durchgängigen Kühlbetrieb während einer Hitzeepisode ausgegangen werden, da die Kühlhäufigkeit auf Grundlage von Vollbetriebsstunden erfolgt, das bedeutet beispielsweise, dass eine Betriebsstunde mit einer mittleren Kühlleistung von 75 % nur als 0,75 Vollbetriebsstunden bewertet wird.

Tabelle 14 Auswertung des Teillastfaktors für die Variante WoKü_L_053_O_50%_NL während des Kühlbetriebs über den Zeitraum der **Hitzeepisode**

	Salzburg (2019)	Salzburg (2050)	St. Pölten (2019)	St. Pölten (2050)
Anzahl der Stunden mit Kühlbetrieb [h]	82	137	160	168
Teillastfaktor ermittelt als:				
arithmetischer Mittelwert [-]	0,83	0,83	0,83	0,95
Median [-]	1,00	1,00	1,00	1,00
Modalwert [-]	1,00	1,00	1,00	1,00
Prozentualer Anteil des Modalwerts an den Betriebsstunden	62%	69%	68%	85%

Die Auswertung für den Betrachtungszeitraum Hitzeepisode zeigt eine weitere Auffälligkeit. Der Median weist nun bei allen Varianten den Wert 1,00 aus. Ursächlich dafür ist, dass der Modalwert von 1,00 in allen Varianten einen Anteil von mehr als 50 % der Betriebsstunden hat. Der Teillastfaktor liegt nun bei allen Varianten bei über 80%. Dies zeigt, dass während der Hitzeepisode, unter den gegebenen Randbedingungen einer maximalen Kühlleistung und einer Temperaturgrenze von 26°C, die Kälteerzeugung wenig modulierend betrieben wird. Dies gilt für die Variante St. Pölten (2050) auch für den Betrieb mit Bezug auf die Kühlperiode. Für die Variante Salzburg (2019) zeigt sich dagegen während deren Betriebsdauer eine größere Bedeutung für eine Leistungsanpassung.

Eine weitere Größe für die Bewertung von Kühltechnologien ist der Kühlbedarf. Der Kühlbedarf wird hier unter den zuvor beschriebenen Randbedingungen durch Kumulation der stündlichen Kühlleistungen, die sich aus den Simulationsberechnungen ergeben, berechnet.

Für die Interpretation der Ergebnisse nochmals folgende Hinweise:

- Die Kühlleistung bezieht sich auf einen Grenzwert der operativen Raumtemperatur von 26°C. Erst wenn dieser Wert überschritten wird, entsteht ein Kühlbedarf. Das Absenken dieses Grenzwertes führt zu einer erhöhten Kühlleistung und in weiterer Folge zu einem erhöhten Kühlbedarf.
- Die maximale Kühlleistung im Raum wurde durch die gewählte Bewertungsmethodik bewusst auf 400 W begrenzt. Die *Abbildung 74* (Kühlperiode) und *Abbildung 75* (Hitzeepisode) dokumentieren, dass diese Kühlleistung bei dieser Basisvariante in den meisten Fällen nicht ausreichend ist, um in dem jeweiligen Betrachtungszeitraum die Raumsolltemperatur von 26 °C zu erreichen.

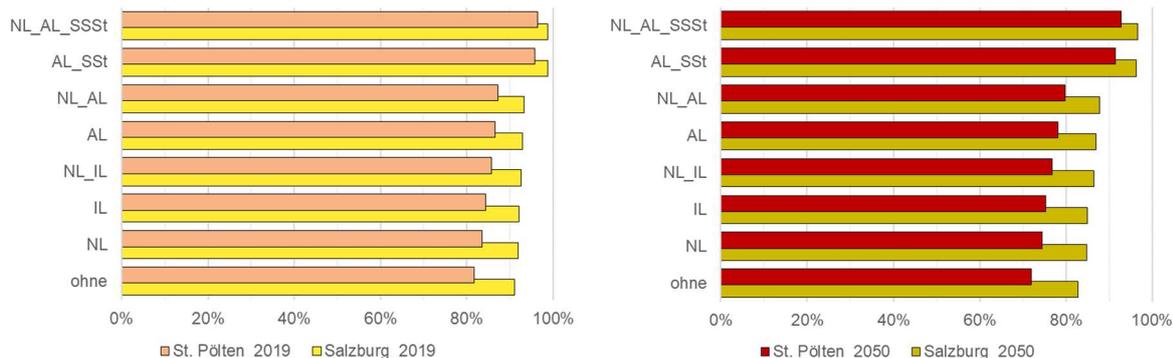


Abbildung 74: Vergleich des Kennwertes der **Kühlauglichkeit** während der **Kühlperiode** für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

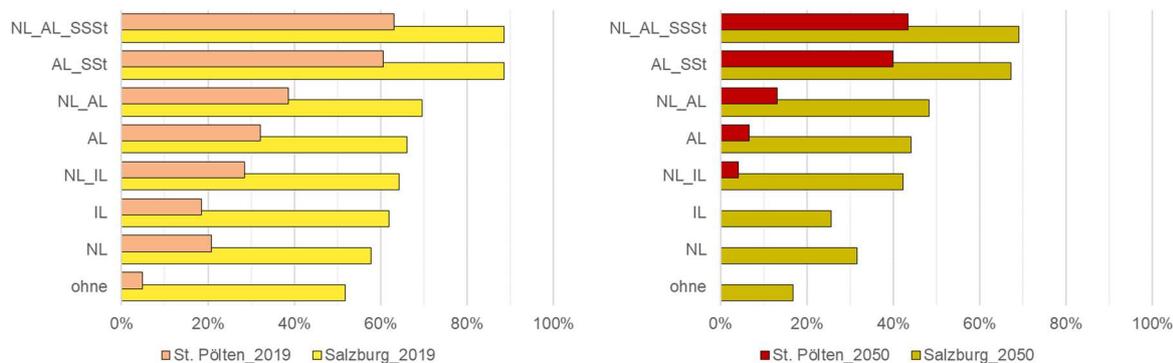


Abbildung 75: Vergleich des Kennwertes der **Kühlauglichkeit** während der **Hitzeperiode** für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

Die Auswertung des Kühlbedarfs für die ausgewählte Basisvariante mit all ihren Maßnahmenvarianten ist für die Kühlperiode in *Abbildung 76* und *Abbildung 77* sowie für die Hitzeperiode in *Abbildung 78* und *Abbildung 79* dargestellt. Aufgrund der zuvor erläuterten Randbedingungen würde bei einer höheren Kühlleistung der Kühlbedarf entsprechend höher ausfallen.

Als Methode für die Bewertung des Kühlbedarfs wurde ein relativer Vergleich zwischen den Varianten gewählt, da hier grundsätzlich eine qualitative und keine quantitative Aussage getroffen werden soll. Als Bezugsvariante (100 %) wird die Variante *P_2019_WoKü_L_053_O_50%_ohne* gewählt. Sie ist in *Abbildung 78* (links) bzw. *Abbildung 79* (links) durch einen roten Rand gekennzeichnet. Der jeweilige Kühlbedarf aller anderen Varianten wird auf diesen Wert bezogen.

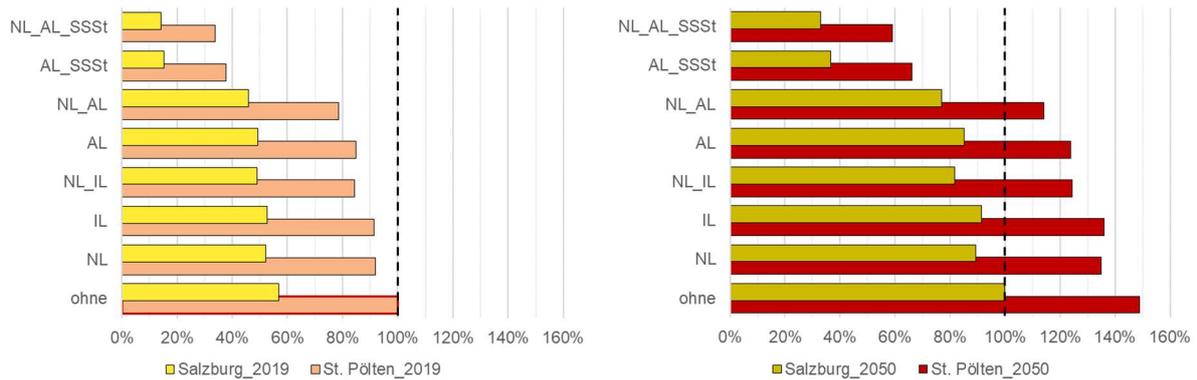


Abbildung 76: Relativer Vergleich des **Kühlbedarfs** während der **Kühlperiode** für die Basisvariante **WoKü_L_053_O_50%** für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

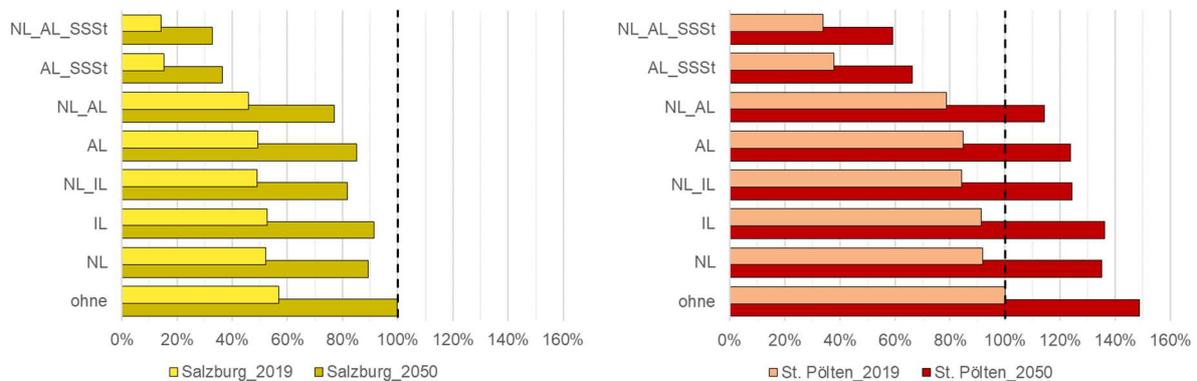


Abbildung 77: Relativer Vergleich des **Kühlbedarfs** während der **Kühlperiode** für die Basisvariante **WoKü_L_053_O_50%** für beide Klimaszenarien und die Gebäudestandorte Salzburg (links) sowie St. Pölten (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

Die Bewertung im Ergebnisdatenblatt (Abbildung 69) wird durch die Auswertung des Kühlbedarfs unterstrichen. Sie zeigt noch einmal deutlich, dass auch bei einer Betrachtung nur innerhalb der österreichischen Landesgrenzen der Gebäudestandort einen hohen Einfluss auf den Kühlbedarf nimmt. Für den Klimastandort Salzburg ergibt sich aktuell gegenüber der Bezugsvariante (St. Pölten, 2019, ohne Maßnahmen) ein um mehr als 40 % geringerer Kühlbedarf. Dieses Maß der Unterschreitung stellt sich bei allen Maßnahmen in etwa gleich ein. Zwischen der Bezugsvariante (ohne Maßnahmen) und der Variante mit außenliegendem Sonnenschutz liegt für beide Standorte und für den hier betrachteten Fall ein Potential zur Reduzierung des Kühlbedarfs von etwa 20 %. Das große Potential der ergänzenden Sonnenschutzsteuerung wird auch hier ersichtlich, wobei dazu auf die Ausführungen zu *Abbildung 58* und *Abbildung 59* explizit verwiesen wird.

Der Kühlbedarf am Gebäudestandort Salzburg steigt gegenüber dem aktuellen Szenario im Klimaszenario 2050 grundsätzlich um etwa 70 % bis 75 % an. Die Steigerung für den Standort St. Pölten fällt dagegen mit etwa 45 % bis 50 % deutlich geringer aus. Ausgenommen davon ist für beide Standorte die Variante mit automatischer Sonnenschutzsteuerung. Hier stellt sich eine Erhöhung von bis zu 140 % (Salzburg) bzw. 75 % (St. Pölten). Diese Abweichung lässt sich mit der geringeren Kühlhäufigkeit in dieser Variante begründen.

In der Hitzeperiode steigt der Kühlbedarf am Gebäudestandort Salzburg variantenabhängig um 40 % bis 55 % im Klimaszenario 2050. Am Gebäudestandort St. Pölten sind es 15 % bis 30 %. Zu einer

abweichenden Bewertung kommt es an beiden Standorten wieder bei den Varianten mit automatischer Sonnenschutzsteuerung. Die geringere Steigerung des Kühlbedarfs fällt während der Hitzeperiode geringer aus, da hier die Kühlfrequenz bereits hohe Werte annimmt (siehe *Abbildung 73*). Obgleich für die Kühlfähigkeit am Gebäudestandort St. Pölten im Klimaszenario 2050 teilweise Werte von 0 % ausgewiesen werden (siehe *Abbildung 75*) liegt die Kühlfrequenz unter 100 % (vgl. *Abbildung 73*). Dies liegt in der Berechnungsart der Kennwerte begründet. Die Kühlfrequenz wird bezogen auf einen Teillastfaktor von 1,0 ausgegeben.

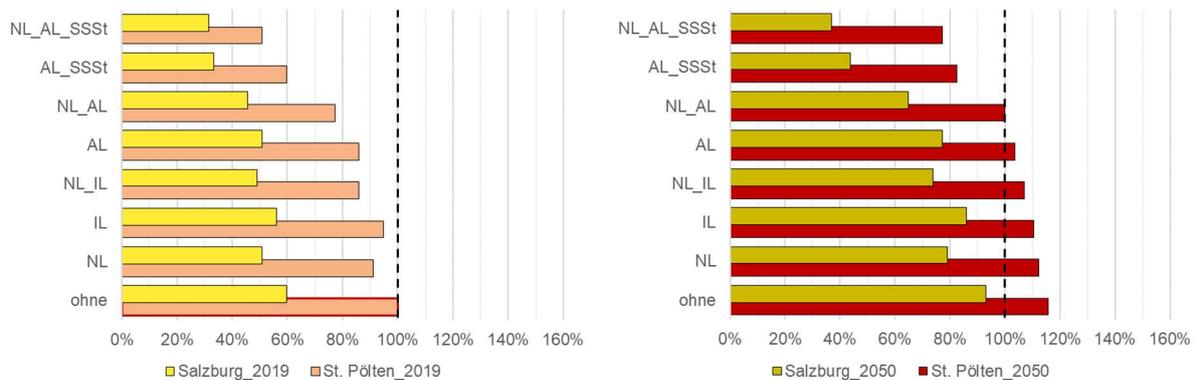


Abbildung 78: Relativer Vergleich des Kühlbedarfs während der Hitzeperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz, AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

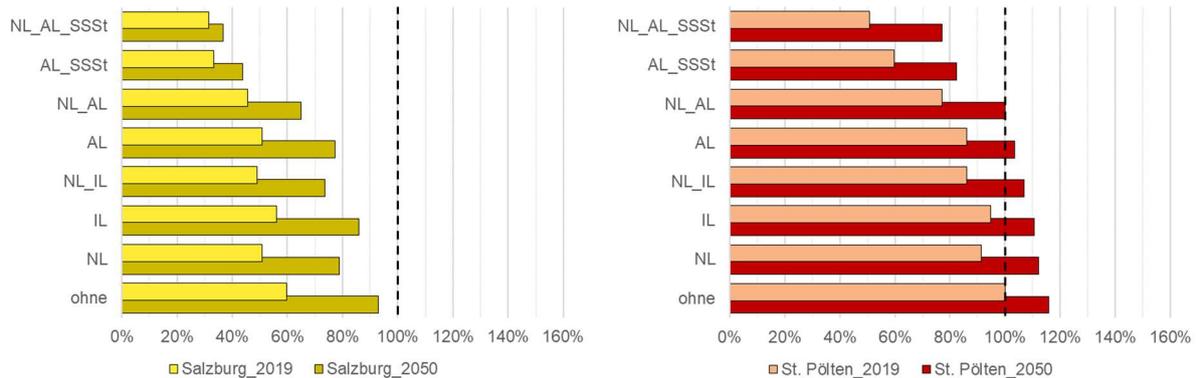


Abbildung 79: Relativer Vergleich des Kühlbedarfs während der Hitzeperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Klimaszenarien und die Gebäudestandorte Salzburg (links) sowie St. Pölten (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz, AL: außenliegender Sonnenschutz, SSSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung

Der Kühlbedarf oder auch Nutzenergiebedarf Kühlen entspricht im Kühlfall der Wärmemenge (Wärmesenke), die einem Raum entzogen werden muss, um eine vorgegebene Raumsolltemperatur einzuhalten. Sofern die erforderliche Kühlleistung größer ist als die Wärmesenkenleistung des Erzeugers, kommt es jedoch zu einer Überschreitung der Raumsolltemperatur. Die durch die Kältemaschine bereitzustellende Wärmesenkenleistung muss jedoch zusätzlich eventuelle Leistungsverluste auf dem Weg von der Kälteerzeugung zum Raum bereitstellen. Grundsätzlich setzt sich die im Rahmen der energetischen Bewertung von Gebäude betrachtete Prozesskette wie folgt zusammen: In Richtung des Energiefluss folgen der Erzeugung einschließlich der Rückkühlung die Prozesse der Speicherung, Verteilung und Übergabe (*Abbildung 81*). Die Summe der Prozesse ohne Kälteerzeugung wird auch als Erzeugernutzkälteabgabe bezeichnet. Die Summe aller vier Prozessschritte ergibt den

Endenergiebedarf. Er stellt die Energiemenge dar, die dem System im Regelfall von außerhalb der Bilanz- und Systemgrenze zugeführt und bezahlt werden muss. Sie wird differenziert je Energieträger angegeben.



Abbildung 80: Schematische Darstellung der Komponenten eines Gebäudekühlsystems; Quelle: eigene Darstellung

Die verlustbehafteten Prozesse wurden innerhalb dieses Projektes nicht betrachtet, sodass sie auch im Weiteren nicht berücksichtigt werden. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass die thermischen Verluste aufgrund der geringen Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträger und Umgebung im Vergleich zu den thermischen Verlusten bei der Wärmeerzeugung niedrig ausfallen. Bei indirekten Systemen und wassergekühlten Kältemaschinen kann jedoch der Strombedarf für die Umwälzpumpen bzw. bei luftgekühlten Kältemaschinen der Strombedarf für die Ventilatoren des Trockenrückkühlers, sofern dieser nicht bereits in der Leistungszahl des Erzeugers berücksichtigt ist, einen relevanten Anteil am Gesamtenergiebedarf nehmen.

Infolge wird nur der Energieaufwand für die Erzeugung weiter betrachtet.

4.4.2.1. Kompressionskältemaschinen

Energetische Bewertung

Die energetische Bewertung von Kompressionskältemaschinen kann mittels der Leistungszahl im Kühlbetrieb EER (En: energy efficiency ratio) nach EN 14511-1 erfolgen. Sie gibt das Verhältnis der gesamten Kühlleistung zur effektiven Leistungsaufnahme des Gerätes an. Die Angabe erfolgt entweder dimensionslos oder in [kW/kW]. Die Leistungszahl ist nicht nur technologieabhängig, sondern auch abhängig von der Betriebsweise (z.B. Lastprofil oder klimatische Bedingungen) der Kältemaschine. Für die Möglichkeit einer vergleichenden Betrachtungsweise werden daher Nennbedingungen festgelegt, die bei der Ermittlung von Daten und Kennwerten zu beachten sind. Die so genannten Norm-Nennbedingungen werden in EN 14511-2 beschrieben.

Nach ÖNORM H 5058-1 kann die Leistungszahl wie folgt berechnet werden:

$$EER = \frac{\Phi_{C,KKM}}{P_{C,el}}$$

Mit

$\Phi_{C,KKM}$ Nennkälteleistung der Kompressionskältemaschine [kW]

$P_{C,el}$ elektrische Nennantriebsleistung der Kompressionskältemaschine [kW]

Die Kompressionskältemaschine macht sich Umweltwärme in Form von Außenluft oder Grundwasser als Wärmesenke nutzbar, sodass die Leistungszahl immer größer 1 sein muss. Beispielhaft ist das Prinzip in *Abbildung 81*: dargestellt. Bei einer elektrischen Antriebsleistung von 1 kW und einer Wärmesenkenleistung der Umwelt von 2 kW beträgt die Kälteleistung der Kältemaschine 3 kW.

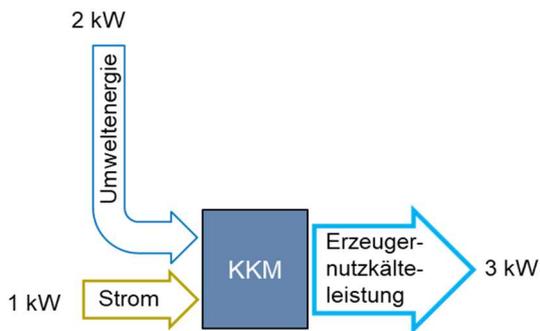


Abbildung 81: Vereinfachte Darstellung des Energieflusses einer Kompressionskältemaschine

Anstelle des Bezugs auf die Leistung kann, wenn die Laufzeit der Anlage in Betrachtung mit einfließt, auch eine Bewertung des Energiebedarfs- bzw. -verbrauchs erfolgen.

Einen maßgeblichen Einfluss auf die maximale Kälteleistung und die Leistungszahl eines Kälteerzeugers können die Umgebungsbedingungen nehmen. Diese werden durch Temperaturen am Außen- und Innenwärmeübertrager sowie durch den Wärmeträger beschrieben. Im Kühlbetrieb überträgt der Außenwärmeträger die Wärme zwischen dem Kältemittel und jeder zur Verfügung stehenden Wärmesenke. Dies ist beispielsweise bei einer Wärmepumpe, die im Kühlbetrieb arbeitet, der Verflüssiger. Der Verdampfer ist in diesem Fall der Innenwärmeübertrager. Dieser überträgt die vom Wärmeträger aufgenommene Wärme des Innenraums an das Kältemittel. In *Tabelle 15* sind für ausgewählte Paarungen auszugsweise die Norm-Nennbedingungen nach EN 14511-2 angegeben.

Tabelle 15 Norm-Nennbedingungen nach EN 14511-2 für den Kühlbetrieb ausgewählter Wärmeträger-Kombinationen

Gerätetyp	Wärmeträger, außen	Temperatur am Außenwärmeübertrager	Wärmeträger, innen	Temperatur am Innenwärmeübertrager	Kurzzeichen
Luft/ Wasser	Außenluft (A)	35 °C	Wasser oder Sole (W)	Heizanwendungen bei intermediären Temperaturen und Komfort-Kühlern: 7 °C	A35/W7
				Heizanwendungen bei niedrigen Temperaturen: 18 °C	A35/W18
Luft/Luft	Außenluft (A)	35 °C	Umluft (A)	27 °C	A35/A27
Wasser/ Luft	Wasser oder Sole (W)	Erdreichwärmepumpe: 10 °C	Umluft (A)	27 °C	W10/A27

In den Normen zur energetischen Bewertung von Gebäuden (z.B. ÖNORM H 5058-1 oder DIN V 18599-6) finden sich technologieabhängige Leistungszahlen, die – sofern keine produktspezifischen Herstellerangaben vorliegen – für eine Bewertung herangezogen werden können.

Der Leistungsbereich, für den Kompressionskältemaschinen (KKM) zur Kühlung von Wohngebäuden üblicherweise ausgelegt werden, kommen meist Kolben- und Scrollverdichter (10 kW bis 1 500 kW) zur Ausführung. Für diese stellt ÖNORM H 5058-1 in Abhängigkeit der Art der Rückkühlung und des

verwendeten Kältemittels so genannte Fixwerte bereit. Diese sind auszugsweise in *Tabelle 16* wiedergegeben.

Tabelle 16 Technologieabhängige Kälteleistungszahlen EER für wasser- und luftgekühlte Kompressionskältemaschinen nach ÖNORM H 5058-1 und DIN V 18599-7

Kühlwassereintrittstemperatur/ Kühlwasseraustrittstemperatur / °C	Kaltwasseraustrittstemperatur °C	Kältemittel			
		R134a	R407C	R410A	R290
27/33	6	4,0	3,8	– (3,6)	– (3,9)
27/33	14	4,6	4,4	– (4,2)	– (4,5)
40/45	6	3,1	3,0	– (2,8)	– (3,1)
40/45	14	3,7	3,6	– (3,3)	– (3,7)
luftgekühlt	6	2,8 (2,7)	2,5	– (2,3)	– (2,6)
luftgekühlt	14	3,5 (3,3)	3,2 (3,1)	– (3,0)	– (3,2)
luftgekühlt	Direktverdampfung	2,5 bis 3,4			

Anmerkung: Klammerwerte sind abweichende Werte in DIN V 18599-7

Aus der Zusammenstellung in *Tabelle 16* wird deutlich, dass die Temperaturen im Rückkühlkreis (Kühlwasserein- und -austrittstemperatur), die Kaltwasseraustrittstemperatur und das verwendete Kältemittel einen deutlichen Einfluss auf die Leistungszahl nehmen kann. Dabei wird erkennbar, dass bei wassergekühlten Systemen geringere Temperaturen im Rückkreises zu höheren Leistungszahlen führen. Diese sind jedoch nur bedingt frei wählbar, da sie auch von der Wärmesenkenleistung abhängig sind. Die Leistungszahlen einer luftgekühlten Kompressionskältemaschine sind im Vergleich zu den wassergekühlten signifikant geringer.

Weiters wird der Einfluss des verwendeten Übergabesystems im Raum deutlich. Integrierte Flächensysteme, wie Fußboden- oder Deckenkühlsysteme, kommen im Vergleich zu Konvektoren mit geringeren Vorlauftemperaturen (Kaltwasseraustrittstemperatur) aus. Eine Vorlauftemperatur von 14 °C gegenüber 6 °C erhöht die Leistungszahl einer wassergekühlten Kompressionskältemaschine zwischen 15 % und 20 %, die einer luftgekühlten Maschine sogar bis zu 30 %.

Die Wahl des Kältemittels beeinflusst die Leistungszahl einer Kompressionskältemaschine zusätzlich. Mit dem Kältemittel R134a lassen sich die höchsten Leistungszahlen erreichen. Dieses weist zusätzlich im Vergleich zu den anderen angegebenen Kältemitteln mit einem GWP-Wert von 1 430 ein geringeres Treibhausgaspotential auf. Der GWP-Wert beträgt 1 774 für R407C und 2 088 für R410a. Das natürliche Kältemittel R290 (Propan) weist ähnliche Leistungszahlen wie das Kältemittel R134a auf, hat jedoch lediglich einen GWP-Wert von 3. Aufgrund des leichten Entflammbarkeit und den daraus resultierenden Sicherheitsanforderungen, findet es im Wohnungsbau bislang wenig Verbreitung.

Die Kälteerzeugung kann einerseits separat von der Wärmeerzeugung erfolgen, beispielweise in Verbindung mit einer Fernwärmeversorgung oder einem Biomasse-Kessel. Die erforderliche Wärme und Kälte kann aber auch durch nur eine Erzeugungsanlage bereitgestellt werden. Hierzu können dann reversible Wärmepumpe verwendet werden. Diese können entweder Wärme oder Kälte, je nach Lastfall, erzeugen. Diese Möglichkeit ist zwar nicht grundsätzlich mit jeder Wärmepumpe gegeben,

allerdings ist diese Option in Verbindung mit den üblichen Wärmequellen Luft, Erdreich und Wasser möglich. Die am häufigsten verwendete Wärmequelle bei Wärmepumpen ist, aufgrund deren grundsätzlich unbegrenzten Verfügbarkeit, die Außenluft. Dies zeigt sich auch bei der Recherche auf der Energie-Informationsplattform des Landes Salzburg. Dort wird eine Produktdatenbank mit einer umfassenden Zusammenstellung an haustechnischen Produkten zur Verfügung gestellt. (<https://www.produktdatenbank-get.at/>) Insgesamt sind dort etwa 2 500 Modelle an Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen eingestellt. Auf Luft/Wasser-Wärmepumpen entfällt dabei ein Anteil von etwa 66 %. Wärmepumpen mit der Wärmequelle Erdreich nehmen einen Anteil von 23 % ein. Bei den verbleibenden 11 % handelt es sich um Wasser/Wasser-Wärmepumpen. Diese Verteilung wird auch durch *Abbildung 82* bestätigt.

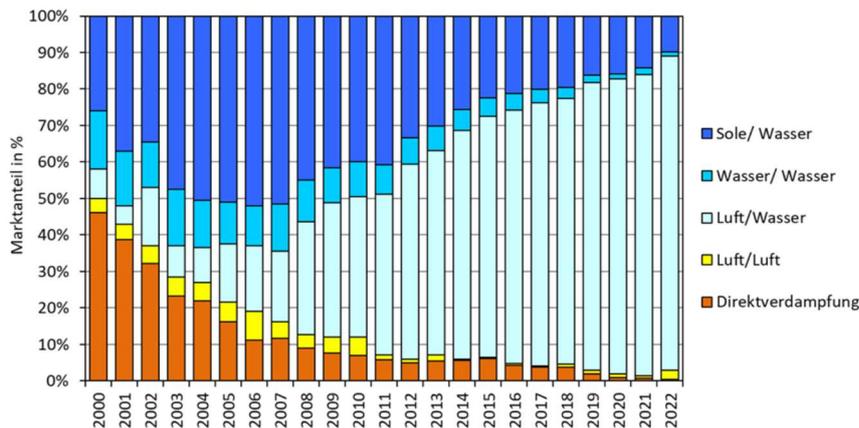


Abbildung 82: Marktanteile der Wärmequellsysteme bis 2022 von jeweils neu installierten Heizungswärmepumpen im Inlandsmarkt Quelle: ENFOS (2023); Grafik aus Biermayr & Prem (2023)

Mittels einer stichprobenhafte Auswertung der produktspezifischen Leistungszahlen von Luft/Wasser-Wärmepumpen, die reversibel betrieben werden können, soll ein Abgleich mit den obigen Fixwerten der Normen vorgenommen werden. Die Auswahl fällt dabei auf Anlagen, die in einer Heizanwendungen im intermediären Temperaturbereich (W7) und im niedrigen Temperaturbereich (W18) betrieben werden. Eine Auswertung in Abhängigkeit des Kältemittels findet nicht statt (*Abbildung 83*).

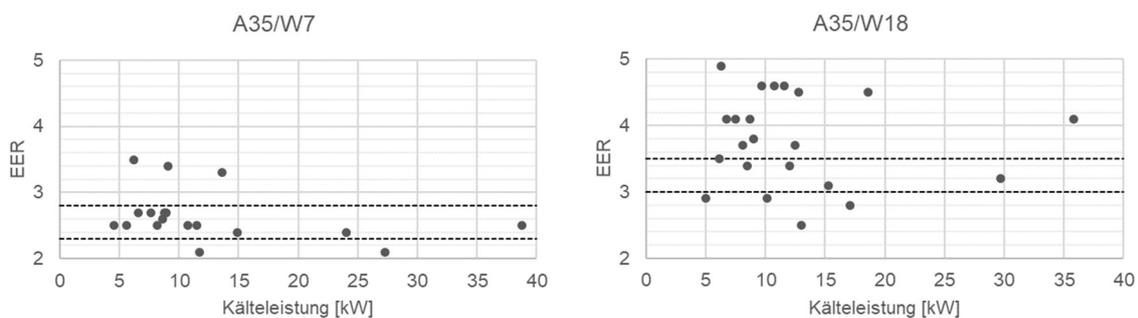


Abbildung 83: Stichprobenhafte Auswertung produktspezifischer Kälteleistungszahlen von reversiblen Luft/Wasser-Wärmepumpen für Temperaturen am Innenwärmeübertrager von 7°C (links) und 18°C (rechts); Quelle: eigene Darstellung

Die Auswertung zeigt, dass für W7 die Leistungszahlen dichter zusammenliegen und die Varianz der Herstellerangaben geringer ist. Die durch die Hersteller angegebenen Leistungszahlen bewegen sich vorrangig in dem Bereich der Fixwerte von 2,3 bis 2,8.

Für den Fall W18 zeigt sich dagegen, dass die Herstellerangaben teils deutlich über den Fixwerten liegen. Allerdings gibt es mit Werten unter 3,0 auch Abweichungen nach unten.

Der Endenergiebedarf einer Kompressionskältemaschine kann entsprechend den technischen Regeln grundsätzlich wie folgt berechnet werden:

$$Q_{f,C,KKM} = \frac{Q_{C,outg,KKM}}{PLV_{av} \cdot EER}$$

Mit

$Q_{f,C,KKM}$ Endenergiebedarf der Kompressionskältemaschine für die Gebäudekühlung [kWh/a]

$Q_{C,outg,KKM}$ Erzeugernutzkälteabgabe für die Gebäudekühlung [kWh/a]

PLV_{av} Mittlerer Teillastfaktor [-]

EER Kälteleistungszahl [-]

Die Leistungszahl einer Kältemaschine variiert je nach Gebäudenutzung und Teillastbedingung. Diese variablen Teillastbedingungen werden durch einen technologieabhängigen, mittleren Teillastfaktor abgebildet. Dieser Faktor berücksichtigt den Einfluss des für den Teillastfall überdimensionierten Wärmeübertragers auf das Leistungsverhalten einer Kälteanlage (ÖNORM H 5058-1; DIN V 18955-7). Der mittlere Teillastfaktor kann je nach Technologie, Regelung und Gebäudenutzung Werte von kleiner oder größer 1 annehmen.

Während eine leistungsbezogene Bewertung üblicherweise für einzelne Komponenten erfolgt, erfolgt eine gemeinsame gewerkebezogene Bewertung (Heizen, Kühlen etc.) in Form der energetischen Bewertung des gesamten Gebäudes. Diese kann entweder nach den technischen Regeln (ÖNORM, DIN) oder mittels einer thermischen Gebäudesimulation erfolgen.

Ökonomische Bewertung

Eine ökonomische Bewertung sollte heutzutage nur auf Grundlage einer Lebenszyklusberechnung erfolgen. Darin werden nicht nur die Energiekosten zu berücksichtigen, sondern die gesamten Betriebskosten (z.B. Kosten für die Wartung, Instandhaltung und Instandsetzung) sowie die Investitionskosten und die Kosten des Rückbaus und der Entsorgung am Lebenszyklusende. Gegebenenfalls können noch weitere Aspekte, wie Mieteinnahmen oder Klimakosten in die Bewertung einfließen. Die Berechnungen erfolgen üblicherweise über die Lebensdauer des Betrachtungsgegenstandes. Daher sind weitere Annahmen z.B. zu Preissteigerungen zu treffen. Für eine sachgerechte Bewertung kann daher nicht nur ein Szenario bewertet werden, sondern es sind entsprechende Parameterstudien durchzuführen, um deren jeweiligen Einfluss bewerten zu können.

Bezogen auf den Untersuchungsrahmen innerhalb dieses Projektes könnte sich beispielsweise die Fragestellung ergeben, ob sich im Lebenszyklus eine Ausführungsvariante mit außenliegendem Sonnenschutz sowie einem geringeren Kühlbedarf und damit geringeren Energiekosten günstiger darstellen kann als eine Variante mit innenliegendem Sonnenschutz und höherem Kühlbedarf.

Im Ansatz der Lebenszykluskosten werden jedoch die meist unterschiedlichen Interessenslagen der Projektbeteiligten vermengt. Während die Investor*in in der Regel an möglichst geringen Investitionskosten interessiert ist und bei dieser Zielerreichung auch höhere Betriebskosten in Kauf nimmt, haben Betreiber*in und Nutzer*in eines Gebäudes ein starkes Interesse an geringen Betriebskosten.

Im Rahmen der energetischen Bewertung wurde gezeigt, dass sich Kompressionskältemaschinen und reversibel betriebene Wärmepumpen erneuerbare Energien in Form von Umweltwärme nutzbar machen, was sich durch eine Leistungszahl von größer 1 ausdrückt. Das heißt, dass in dem hier betrachteten Fall der elektrisch erzeugten Kälteenergie, je nach Wärmesenke, nur zwischen 25 % ($PLV_{av} \cdot EER = 4$) und 50 % ($PLV_{av} \cdot EER = 2$) der Energiemenge an Strom zugeführt werden muss.

Die Prognose über die Energiekosten einer geplanten Gebäudekühlung bedarf aufgrund der Vielzahl von einflussnehmenden Parametern grundsätzlich einer objektspezifischen Betrachtung.

4.4.2.2. Fernkälte

Neben der Kompressionskältemaschine soll an dieser Stelle noch die Fernkälte betrachtet werden. Diese hat bislang zwar noch eine geringe Verbreitung, kann aber eine zukünftige Alternative in der Kältebereitstellung darstellen. Aufgrund der zentralen Energieerzeugung können verschiedene Technologien kombiniert werden. Dies bietet weiterhin die Möglichkeit Technologien einzusetzen, die im Zusammenhang mit einem einzelnen Wohngebäude nicht umsetzbar wären.

Die Energieübergabe aus dem Fernkältenetz an das Verteilnetz innerhalb des Gebäudes erfolgt analog zur Fernwärme durch entsprechende Übergabestationen. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz des Wärmeträgers bezogen auf die Umgebung sind die Energieverluste in den Übergabestationen gering. Nach ÖNORM H 5058-1 werden sie mit 4 % der Erzeugernutzkälteabgabe angegeben (Abbildung 84), wohingegen in DIN V 18599-7 die Übergabeverluste vernachlässigt werden können.

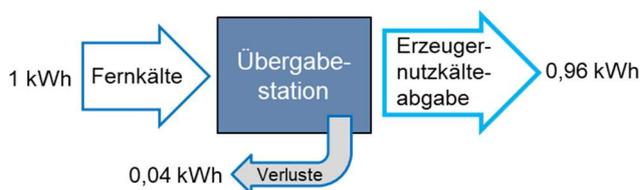


Abbildung 84: Vereinfachte Darstellung des Energieflusses an einer Fernkälteübergabestation

Der Unterschied in der Bewertung der Energiekosten für die Gebäudekühlung im Vergleich zur Kompressionskältemaschine liegt darin, dass die gesamte bezogene Energiemenge mit dem jeweiligen Arbeitspreis des Fernkälteversorgungsunternehmens zu multiplizieren ist. Bei einer Kompressionskältemaschine ist dagegen grundsätzlich nur der Strom für den Betrieb des Verdichters heranzuziehen.

5. Methodik Mehrzonenmodell (UWK)

5.1. Thermisch dynamische Gebäudesimulation

Basis der Methodik bilden thermisch dynamische Gebäudesimulationen, konkret ein mehrzoniges Simulationsmodell, angelehnt an einen realen Wohnungsgrundriss mit einer vertikalen Erweiterung im Sinne eines zweiten Geschoßes (siehe Abbildung 85). Anhand dessen wird der Einfluss unterschiedlicher Gebäudeparameter untersucht, z.B.:

- Standort
- Grundrisstypologie
- Bauschwere
- Dämmstandard
- Fensterflächenanteil
- Nutzungs- und Lüftungsprofilen
- Sonnenschutzmaßnahmen

Die Ergebnisse in Form der Kelvinstunden als Indikator für den Kühlbedarf einzelner Wohnzonen stellen die Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündeln dar bzw. gegenüber.

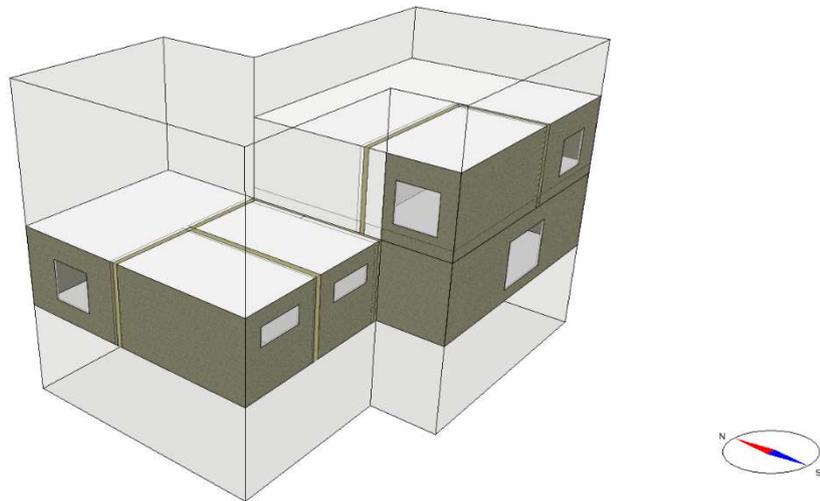


Abbildung 85: 3-dimensionales fiktives Wohnungsmodell (IDA ICE)

Darüber hinaus liegt der Fokus auf der Größenordnung des Indikators für den Kühlbedarf im Hinblick auf künftig zu erwartende Klimawandelszenarien. Untersucht werden dabei exemplarisch für die Standorte St. Pölten und Salzburg die Klimawandelszenarien für 2050 gemäß IPCC Szenario RCP 2.6 (repräsentative Konzentrationspfade). Das im Projektteam gewählte Szenario RCP 2.6 beschreibt dabei einen Strahlungsantrieb von $2,6 \text{ W/m}^2$, welcher als Maß für die Energiebilanz auf der Erde in Form von Wärmestrahlung gemessen wird. Dies resultiert in einem durchschnittlichen Oberflächentemperaturanstieg von unter $2 \text{ }^\circ\text{C}$ bis 2100, wobei von einer negativen CO_2 -Emissionsbilanz ab der Mitte dieses Jahrhunderts ausgegangen wird, um dieses Ziel zu erreichen.

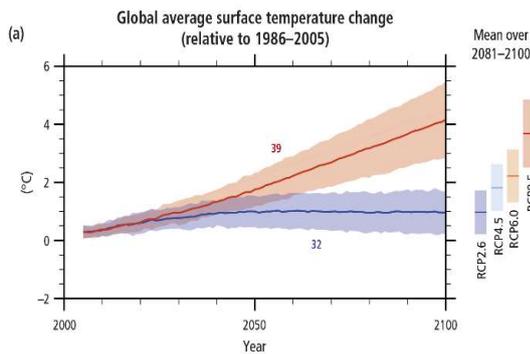


Abbildung 86: Entwicklung durchschnittliche Oberflächen-temperatur (IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*)

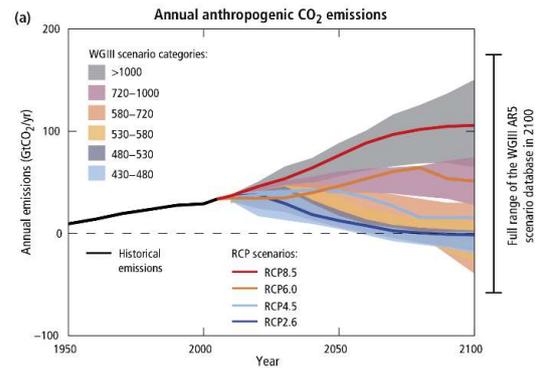


Abbildung 87: jährliche CO₂-Emissionen nach Szenarien (IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*)

Ziel ist es, aus sinnvollen Maßnahmenkombinationen Kennzahlen wie operative Übertemperaturhäufigkeit, Kühlgradstunden und Kühlenergiebedarf auf Basis der adaptiven Komfortmodellbetrachtung (siehe Kap. 5.1.3) zu ermitteln und daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten.

5.1.1. Klimarandbedingungen Salzburg und St. Pölten

Dem thermisch dynamischen Simulationsmodell liegen für die beiden Standorte St. Pölten und Salzburg synthetische Klimadatensätze aus Meteonorm Version 8.0 zugrunde. Der Datensatz für das IST-Klima setzt sich aktuell aus Temperatur- und Winddaten aus der Klimaperiode 2000 bis 2019 und Strahlungswerten aus der Periode 1996 bis 2015 zusammen. Für den Zeitpunkt 2050 werden die Daten vom zukünftige IPCC Klimaszenario RCP 2.6 aus Meteonorm herangezogen. Nachfolgend werden die beiden Standorte anhand der monatlichen Durchschnittstemperatur sowie weiterer Parameter für das IST-Klima und 2050 verglichen. Darin relevante Kennzahlen sind wie folgt definiert:

Sommertag	Tageshöchsttemperatur von mindestens 25 °C
Hitzetag	Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C
Tropennacht	Minimaltemperatur 20 °C zwischen 18:00 bis 06:00 UTC
(Kern-)Hitzewelle,	
(Kern-)Hitzewellendauer	Festlegung analog zu GeoSphere Austria anhand sogenannter Kysely-Tage: Hitzewelle ab mind. drei Hitzetagen in Folge; als Arbeitsdefinition wird die Anzahl der Hitzetage hier als Kern-Hitzewelle bezeichnet
Frosttag	Tagestiefsttemperatur von unter 0 °C
Eistag	Tageshöchsttemperatur von unter 0 °C
Vegetationstag	Tagesdurchschnittstemperatur von mindestens 5 °C
Globalstrahlung	Summe der Direkt- und Diffusstrahlung auf dieselbe Fläche

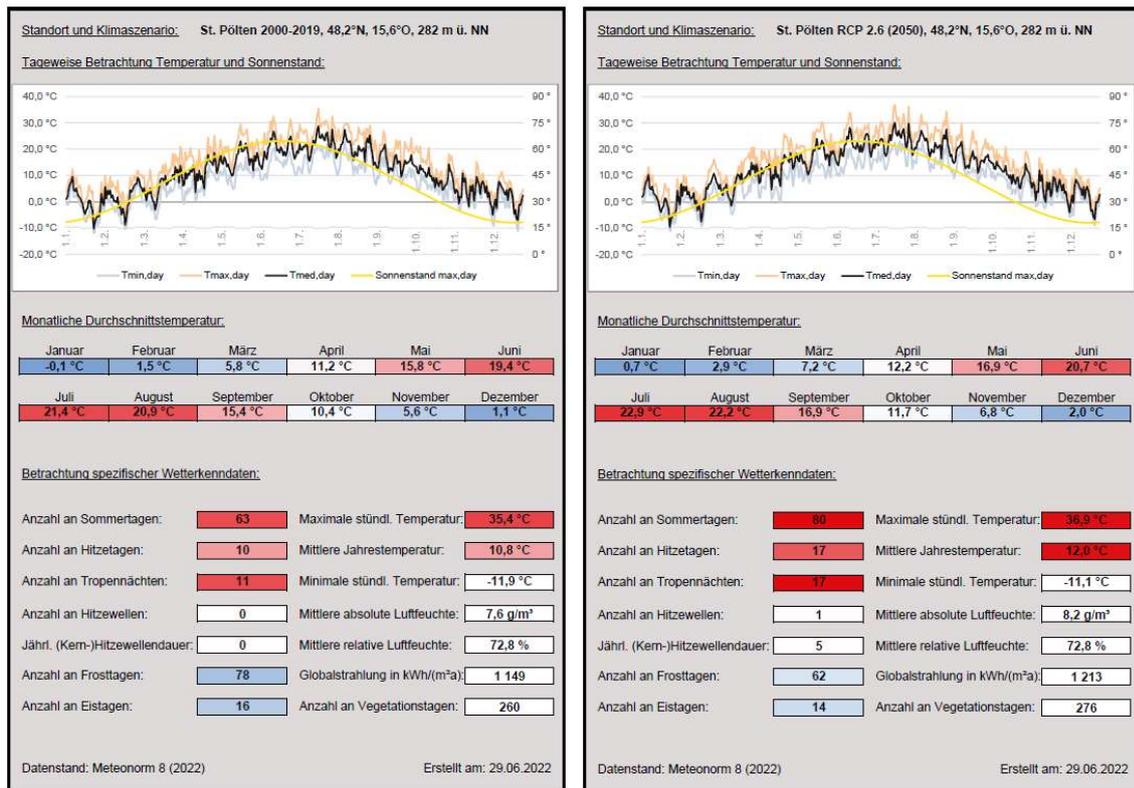


Abbildung 88: IST-Klima und Klimaszenario RCP 2.6 2050 für den Standort St. Pölten; Darstellung: FH Salzburg

Ausgehend von einem durchschnittlichen Temperaturverlauf am Standort St. Pölten in der Periode von 2000 – 2019 steigt die Anzahl an Sommertagen um 17 Tage von 63 auf 80 im Jahresverlauf bis 2050 an. In diesem Vergleich lässt sich auch weiters anführen, dass die Zahl der Hitzetage um sieben ansteigt und dadurch mit einem größeren Wärmeeintrag während dieser Hitzetage in Wohnräume zu rechnen ist. Vergleicht man anhand beider Datensätze eine durchschnittliche Juli-Woche, zeigt sich, dass die Tageshöchstwerte der Außenlufttemperatur 2050 um bis zu 3 Kelvin deutlich höher liegen (vgl. Abbildung 89), was ebenfalls zu höheren Wärmeeinträgen führt, nicht ausschließlich nur zum Zeitpunkt des Tagesmaximums.

Die Anzahl an Tropennächten erhöht sich im Vergleich von 11 auf 17 Tage bis 2050. Dies führt zu einem reduzierten Potential der Nachtlüftung an diesen Tagen, wo oftmals gleichzeitig die höchsten Wärmeeinträge unter Tags zu erwarten sind.

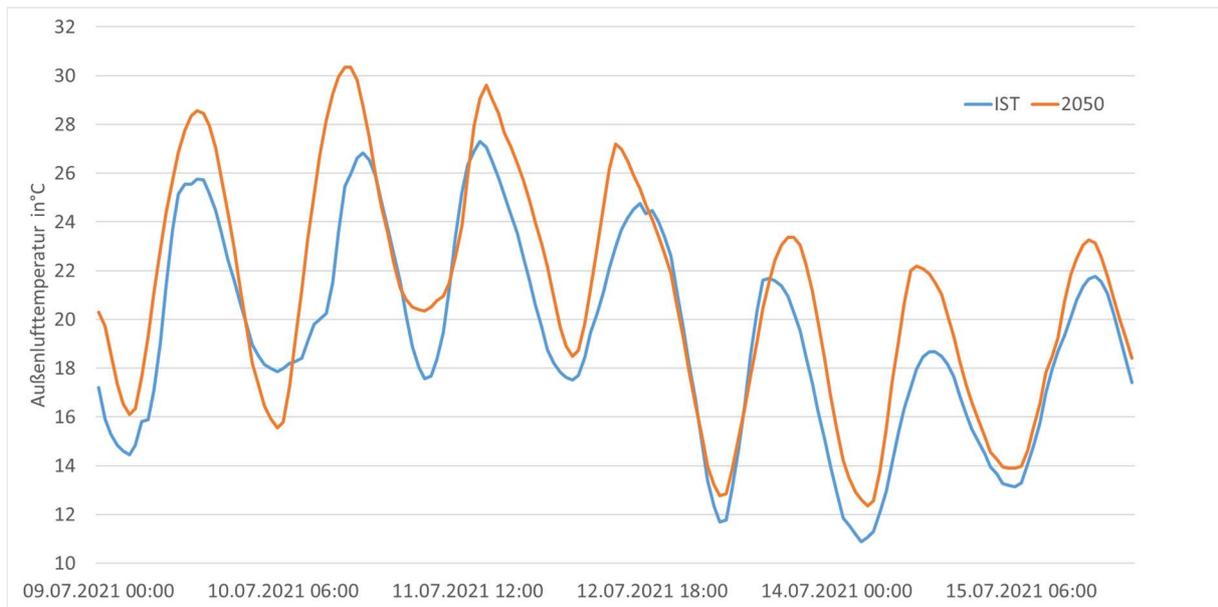


Abbildung 89: Außentemperaturvergleich einer Sommerwoche (09.07. – 15.07.) für den Standort St. Pölten, IST-Klima und 2050

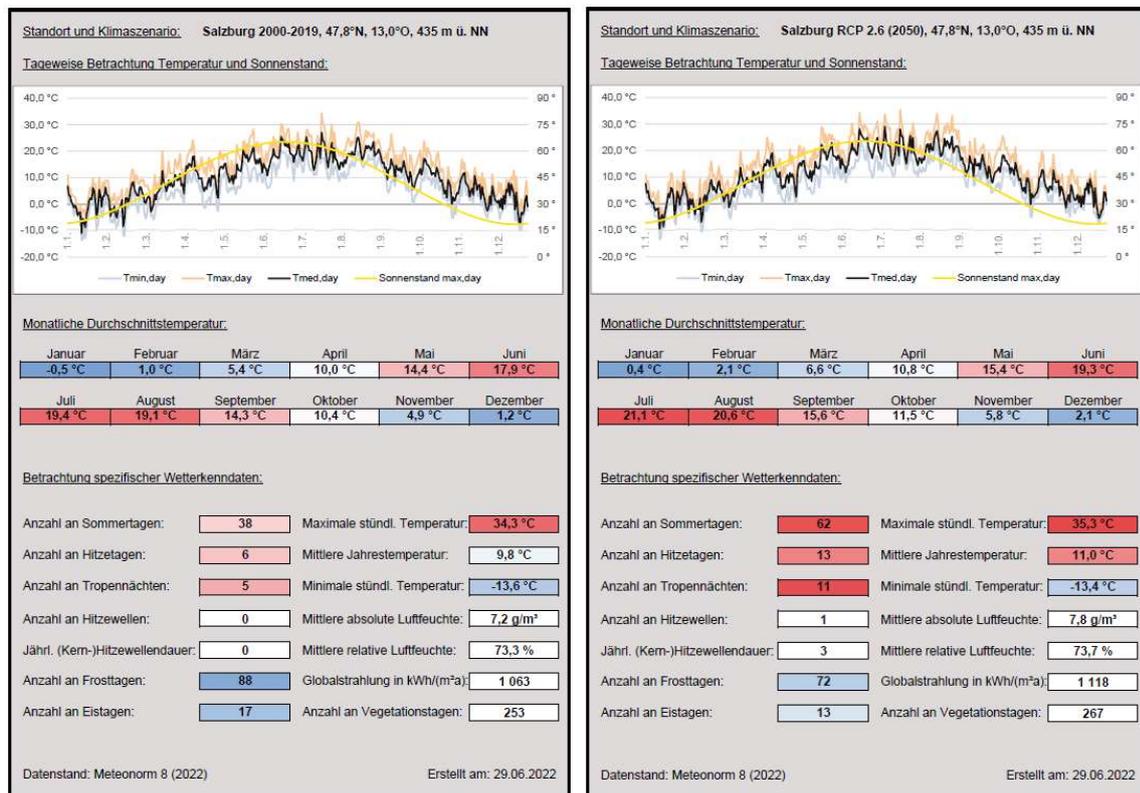


Abbildung 90: IST-Klima und Klimaszenario RCP 2.6 2050 für den Standort Salzburg; Darstellung: FH Salzburg

5.1.2. Sommerlicher Wärmeschutz

Baurechtliche Umsetzung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz findet über die OIB Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ Ausgabe 2019 Punkt 4.9 in acht von neun Bundesländern statt, die in weiterer Folge auf ein in der ÖNORM B 8110-3 „Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung)“ enthaltenes Nachweisverfahren setzt.

Für Wohngebäude ohne mechanische Kühlung gilt gemäß obiger OIB RL 6 der sommerliche Wärmeschutz als eingehalten,

wenn die sommerliche Überwärmung vermieden ist oder wenn für die kritischste Nutzungseinheit kein außeninduzierter Kühlbedarf KB^ vorhanden ist. Die sommerliche Überwärmung gilt als vermieden, wenn die operative Temperatur im Raum bei einem sich täglich periodisch wiederholenden Außenklima mit dem standortabhängigen Tagesmittelwert $T_{NAT,13}$ den Wert von $1/3 \cdot T_{NAT,13} + 21,8$ °C nicht überschreitet.¹*

Dabei ist $T_{NAT,13}$ jene mittlere Normaußentemperatur mit einer Überschreitungshäufigkeit von 130 Tagen innerhalb von 10 Jahren. Für den Standort Wien „Innere Stadt“ ist demnach eine operative Temperatur von 30,1 °C bei einer $T_{NAT,13}$ von 24,9 °C zulässig, was dem Maximum für Österreich entspricht.

Ermittlung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur im Sommerfall für eine thermische Zone

Das beschriebene Simulationsverfahren zur Ermittlung der operativen Temperatur in der ÖNORM B 8110-3 stützt sich auf eine Periodenlänge von 24 h mit periodisch angesetzten Randbedingungen, die am Ende der Simulation einen eingeschwungenen Zustand einer einzigen thermischen Zone (Raum) liefern. Der Außentemperaturverlauf wird dabei als Tagesschwingung um jenen Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur angesetzt, der am Gebäudestandort im langjährigen Mittel an nicht mehr als 130 Tagen innerhalb von 10 Jahren überschritten wird. Der anzusetzende Tagesgang der Außentemperatur ähnelt einer Sinusschwingung mit einer Amplitude von ± 7 K mit dem Maximum bei 16:00 Uhr. Als Randbedingung für die Solarstrahlung ist jene des unbewölkten 15. Juli anzusetzen.

Weiters sind Tagesgänge der inneren Wärmelasten in Form von stündlichen, nutzflächenbezogenen Wärmelasten zu berücksichtigen. Luftwechsel, als Folge einer Fenster- oder mechanischen Lüftung, sind ebenso mit stündlichen Werten zu hinterlegen, vorhandene Sonnenschutzeinrichtungen sind mitzuberücksichtigen.

Ältere Ausgaben der ÖNORM B 8110-3 gaben u.a. fixe maximal zulässige operative Temperaturen für die Einhaltung der Sommertauglichkeit vor, z.B. 27 °C unter Tags, als auch die Möglichkeit eines vereinfachten Verfahrens über vorhandene Speichermassen und solare Immissionsflächen.

In der kürzlich neu erschienenen OIB Richtlinie 6 Ausgabe 2023, die zum heutigen Stand noch in keinem Bundesland baurechtliche Umsetzung gefunden hat, ist der sommerliche Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen durch Einhaltung eines $g_{tot} \leq 0,15$ bei allen Lichteintrittsflächen gewährleistet. Dieser niedrige Gesamtenergiedurchlassgrad bedingt i.d.R. einen äußeren Abschluss (außenliegenden Sonnenschutz), im Falle eines Raffstores zumindest halboffene Lamellenwinkel (45° Stellung).

5.1.3. Bewertung der Sommertauglichkeit nach adaptivem Komfortmodell

Die Bewertung der Sommertauglichkeit kann abseits der OIB RL 6 bzw. ÖNORM B 8110-3 auch gemäß ÖNORM EN 16798-1² erfolgen. Das darin beschriebene adaptive Komfortmodell stellt dabei die Standardauslegungswerte der maximalen operativen Innentemperatur für Gebäude ohne maschinelle Kühlanlagen in Abhängigkeit des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außenlufttemperatur dar, siehe nachfolgende Abbildung. Bei einer Temperatur von beispielhaft 23 °C sind 26,4 °C als Komforttemperatur zu sehen, 28,4 °C bilden den oberen Grenzwert für die Komfortkategorie I.

¹ https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf

² ÖNORM EN 16798-1: 2019-11-01: Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden. Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

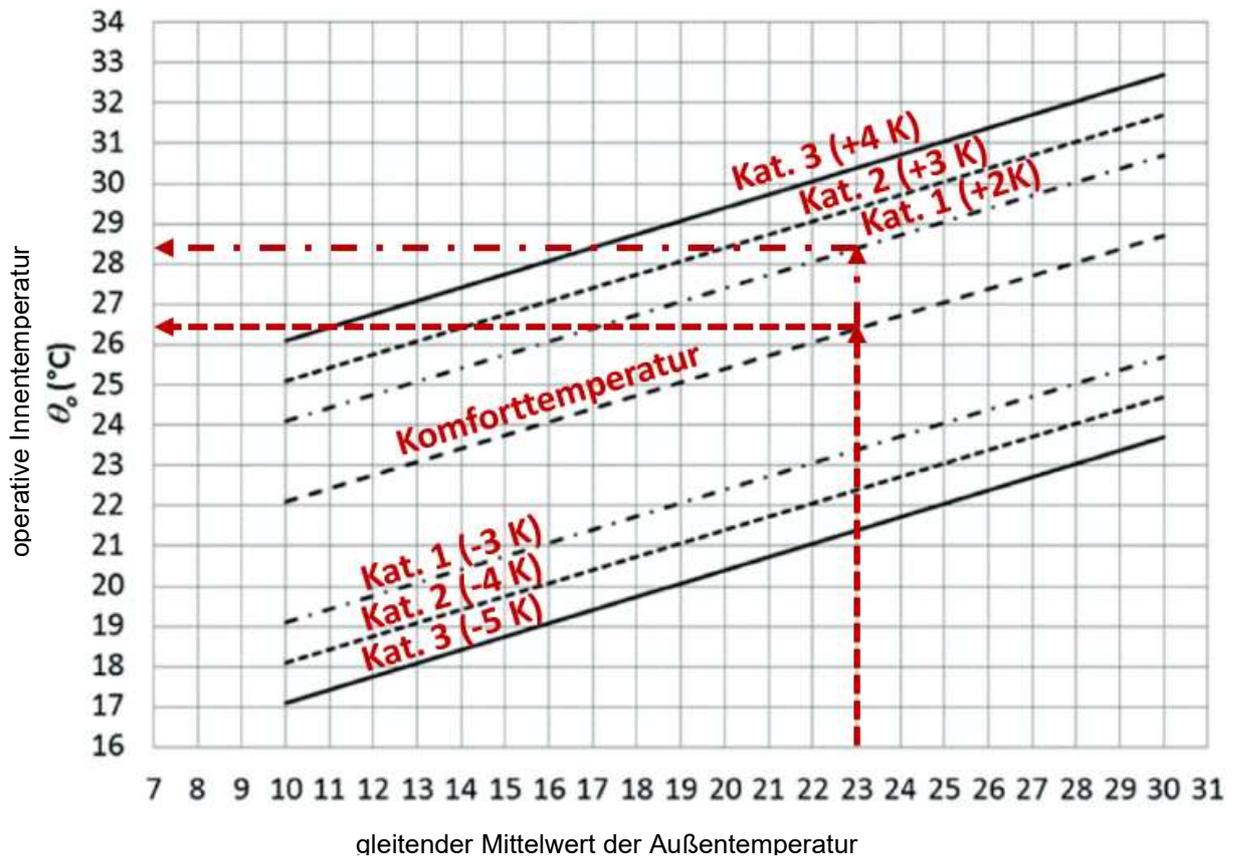


Abbildung 91: Komfortkategorien des adaptiven Komfortmodells gemäß ÖNORM EN 16798-1 für Gebäude ohne maschinelle Kühlung (adaptiert)

Der gleitende Mittelwert der Außentemperatur wird dabei wie folgt abgeleitet:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * (\theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{ed-2} + \alpha^2 * \theta_{ed-3})$$

- θ_{rm} der gleitende Mittelwert der Außentemperatur am betrachteten Tag, in °C
- α eine Konstante zwischen 0 und 1
- θ_{ed-1} der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur für den i-ten vorausgegangen Tag
- θ_o operative Raumtemperatur

Als Gleichung lässt sich der Anstieg der Komforttemperatur wie folgt darstellen:

$$\theta_c = 18,8 + \theta_{rm} * 0,33$$

- θ_c Komforttemperatur
- θ_{rm} gleitender Mittelwert der Außenlufttemperatur

Das Komfortmodell definiert dabei einen Toleranzbereich der operativen Temperatur um die Komforttemperatur in Abhängigkeit zur Außenlufttemperatur der vergangenen Tage (siehe Abbildung 91), wobei der Einfluss weiter zurückliegender Tage auf den gleitenden Mittelwert der Außentemperatur am betrachteten Tag geringer ausfällt. Dieser Bereich bzw. die Abweichung der Komforttemperatur (siehe Abbildung 92) wird durch die Komfortkategorien I bis III (hoher bis niedriger Komfort) beschrieben. Den unterschiedlichen Komfortgrenzen liegt die Anpassungsfähigkeit einer Person mit Aktivitätslevel 1,0 und dem Bekleidungsfaktor (clothing factor) $clo = 0,85$ in Abhängigkeit einer sich verändernden Außenbedingung zugrunde. Der Aktivitätslevel entspricht dabei einer sitzenden Person bei leichter Tätigkeit, mit langer Hose und langem Oberteil bekleidet.

Am beispielhaft betrachteten Standort St. Pölten ergeben sich unter Voraussetzung der IST-Klimatemperaturen nachstehende Verläufe der Kategoriegrenzen (

Abbildung 92). Während der Heizperiode liegt dabei die untere und obere Komfortgrenze je nach Kategorie zwischen 17 und 25 °C, bei Betrachtung der Kühlperiode variabel zwischen 18 und 31 °C. Abbildung 93 zeigt den Ausschnitt März bis Oktober (rote Linie: Jahresgang der Außenlufttemperatur).

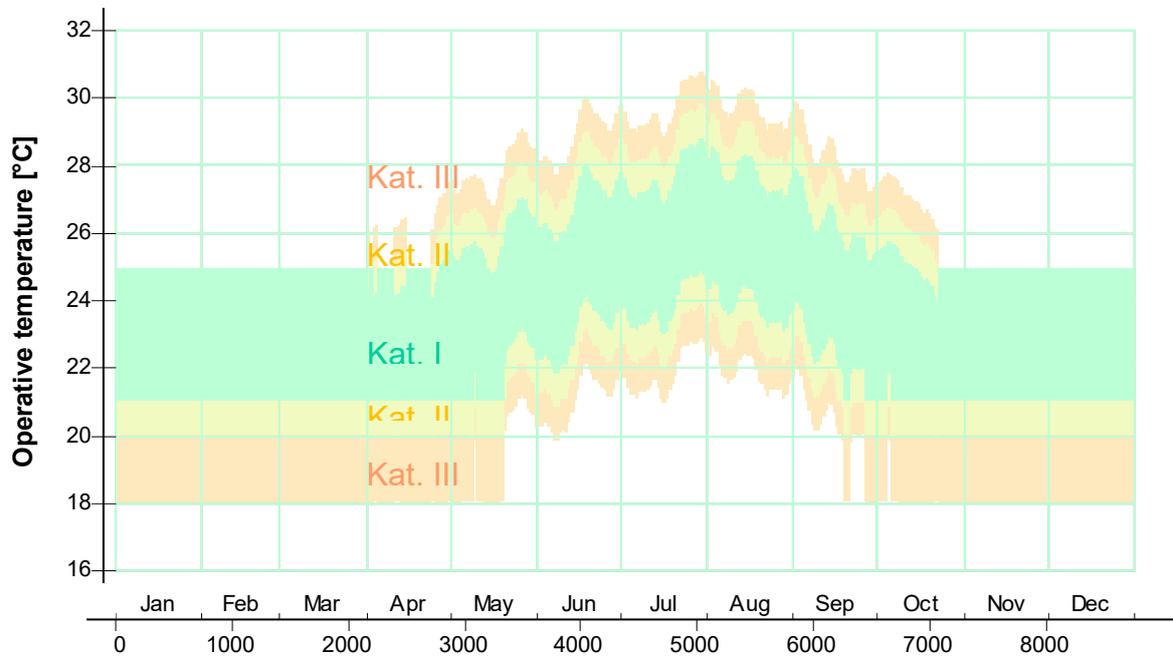


Abbildung 92: Komfort-Kategorien I bis III im Jahresverlauf (IST-Klima, St. Pölten)

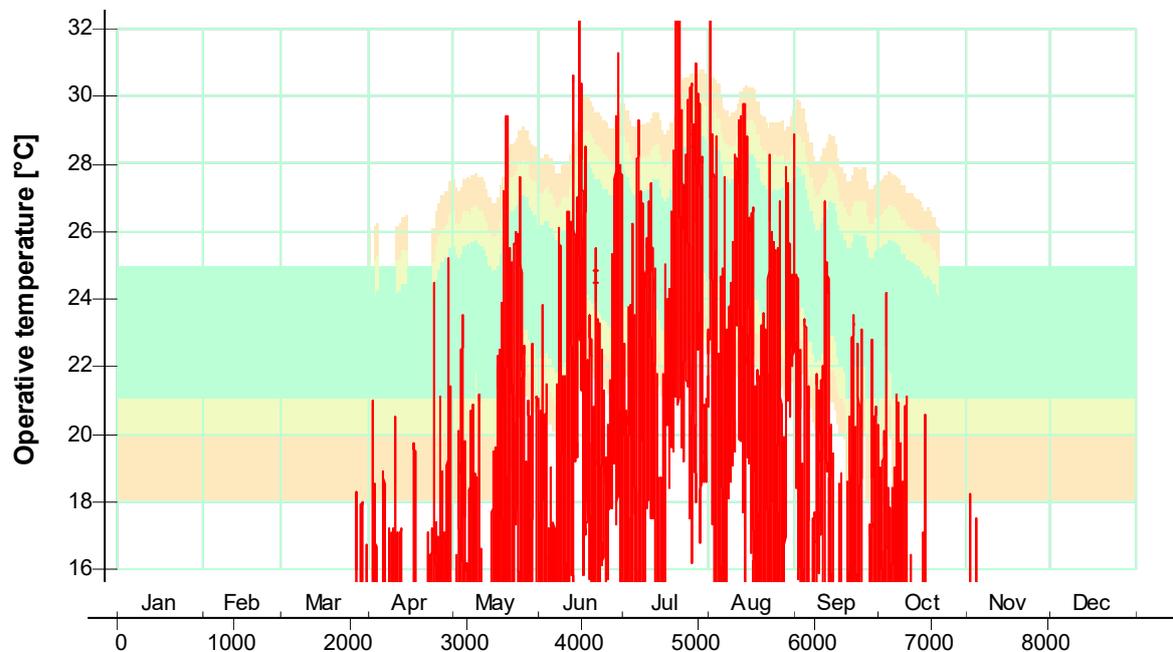


Abbildung 93: Komfort-Kategorien und überlagerte Außenlufttemperatur im Jahresverlauf (IST-Klima, St. Pölten)

5.1.4. Gegenüberstellung ÖNORM B 8110-3 und ÖNORM EN 16798-1

Der Nachweis der Sommertauglichkeit gemäß ÖNORM B 8110-3 mit einer maximal zulässigen operativen Temperatur in Abhängigkeit des Standortes für einen definierten Sommertag (15. Juli) trägt dem menschlichen Anpassungsvermögen an sich verändernde klimatische Außenbedingungen wie Hitzeperioden nur bedingt Rechnung. Daher wurde der Ansatz aus dem in Kap. 5.1.3 beschriebenen adaptiven Komfortmodell gemäß EN 16798-1 mit variablen Temperaturgrenzen/Komfortgrenzen im Jahresverlauf für die weitere Ergebnisbetrachtung gewählt. Die Grenzen für die in der Auswertung betrachteten Kennzahlen werden unter 5.1.5 beschrieben.

Im nachfolgenden Diagramm wird die maximal zulässige operative Raumtemperatur gemäß ÖNORM B 8110-3 (grün) jener der Komfort-Kategorie III nach EN 16798-1 (blau) gegenübergestellt. Die jeweiligen zugrundeliegenden Außentemperaturverläufe am betrachteten Sommertag (15. Juli) sind in rot bzw. orange für den Standort St. Pölten eingetragen.

Der Temperaturobergrenze von 29,3 °C (grün) liegt gemäß ÖNORM die mittlere Normaußentemperatur $T_{NAT,13}$ (rot) von 22,5 °C mit einer Amplitude von ± 7 Kelvin zugrunde. Dieser Außentemperaturverlauf wird täglich periodisch als Simulationsrandbedingung angesetzt und kommt dem Ende einer Hitzeperiode nahe.

Der Grenzwert des adaptiven Komfortmodells nach EN 16798-1 mit 29,0 °C (blau) liegt dabei nur geringfügig niedriger und basiert auf dem Außentemperaturverlauf des verwendeten Klimadatensatzes (Meteonorm 8.0 Datenbank) der unmittelbaren Tage vor dem 15. Juli. Weiter zurückliegende Tage finden dabei weniger Gewichtung (siehe 5.1.3). Der geringe Abfall von 29,3 °C auf 29,0 °C zwischen 02:00 und 03:00 Uhr resultiert dabei aus der Ermittlungsmethodik mit der Rückschau auf bereits vergangene Tage, ist jedoch mehr oder weniger zufällig dem Klimadatensatz und dem darin abgebildeten 15. Juli geschuldet.

Die im Projekt durchgeführten Simulationen basieren hingegen auf einem Jahrestemperaturverlauf.

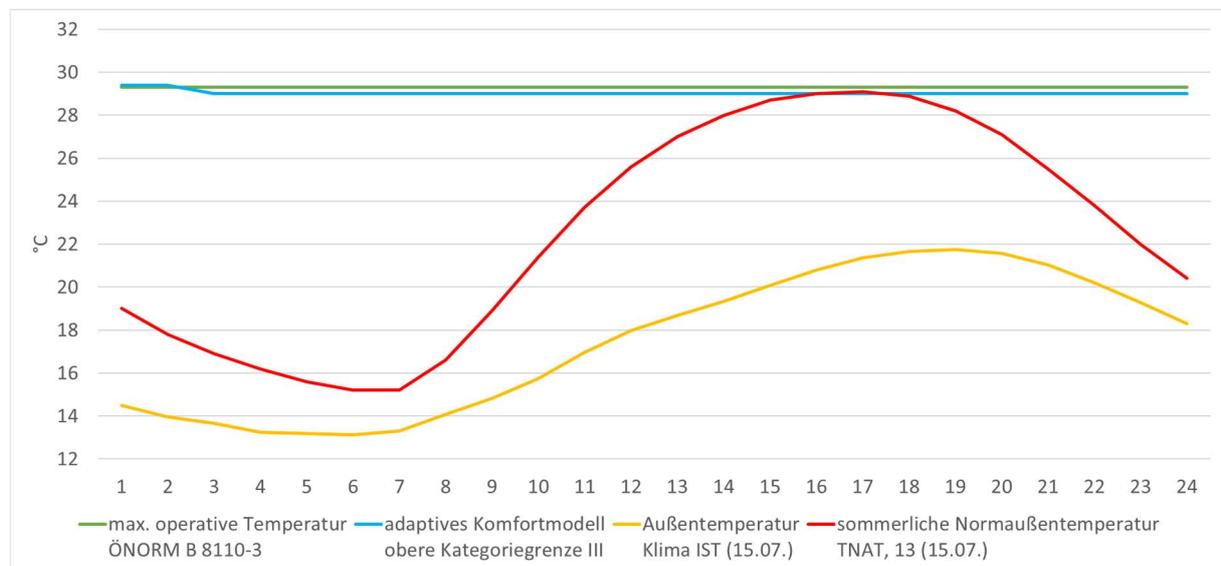


Abbildung 94: Vergleich der Temperaturgrenzen gemäß ÖNORM B 8110-3 vs. adaptives Komfortmodell mit Kategorie III nach ÖNORM EN 16798-1 für den Standort St. Pölten

5.1.5. Festlegung der Auswertungskennzahlen

Auswertungskennzahlen im Mehrzonenmodell

Die Auswertung der Simulationsergebnisse am Mehrzonenmodell erfolgt auf Basis der Kelvinstunden (Kh) als Indikator für den Kühlbedarf über das simulierte Jahr der betrachteten Zone. Dabei werden jene Stunden aufsummiert, welche über Kategorie III nach adaptivem Komfortmodells gemäß ÖNORM EN 16798-1 (siehe Abbildung 95) liegen. Die Kelvinstunden errechnen sich aus der Summe der stündlichen positiven Differenzen zwischen der simulierten operativen Temperatur und der maximal zulässigen operativen Temperatur. Unter Verwendung der Komfortkategorie III erhöht sich der

obere Grenzwert von maximal 30,9 °C auf maximal 31,3 °C beim Vergleich der beiden Klimadaten-sätze für den Standort St. Pölten.



Abbildung 95: Beispielberechnung der Kelvinstunden über adaptiver Komfortgrenze der Kategorie III

In einem weiteren Simulationsschritt wird der Restkühlenergiebedarf in kWh, der zur Einhaltung der Komfortgrenztemperatur von Kategorie II bei gleichzeitigem Ansatz einer maximal zur Verfügung stehenden Kühlleistung von 20 W/m² Zonengrundrissfläche erforderlich ist, ermittelt. Die Kühlleistung wird dabei vorerst systemunabhängig angesetzt, entspricht jedoch typischen Leistungen von bauteil-aktivierten Decken bzw. Fußböden.

5.2. Projektergebnisse Mehrzonen Wohnungsmodell (UWK)

Im Rahmen des Projekts wurde ein Mehrzonenmodell für die thermisch dynamische Gebäudesimulation entwickelt. Dieses basiert grundsätzlich auf einem realen Wohnungsgrundriss einer Wohnhausanlage mit dem Errichtungsjahr 2022, mit durchschnittlich 102 m².³ Dabei gliedert sich der Grundriss in vier Zimmer und eine Wohnküche. Zur Vereinfachung des Modells wurden etwaige Gangflächen, Abstellräume, Bad etc. nicht berücksichtigt. Um die Möglichkeit einer Kaminlüftung zu berücksichtigen wurde der Grundriss um ein Geschoß darüber erweitert und durch ein fiktives Stiegenhaus erschlossen. Im Obergeschoß befinden sich ein Zimmer und ein offener Aufenthaltsbereich.

Besonders Augenmerk bei der Grundrissentwicklung lag dabei auf der Möglichkeit, unterschiedliche Lüftungskonzepte und Randbedingungen anhand eines Modells untersuchen zu können, die so mit einem einzonigen Modell nicht abbildbar sind. Relevanz haben u.a.:

- Wärmeströme zwischen den Zonen
- Innentüren zur Querlüftungsmöglichkeit
- Standortunabhängigkeit
- einseitige Lüftung
- Querlüftung gegenüberliegender Fenster
- Über-Eck-Lüftung
- Lüftung über ein weiteres Geschoß Stiegenhaus

In den Auswertungen wurde speziell die L-förmige Eckzone (Zone 5 – farblich hervorgehoben siehe Abbildung 96) betrachtet. Die angrenzenden Räume sind in der Simulation nachts gelüftet und tagsüber verschattet (Verhalten analog zu den Nutzungsprofilen, bei Anwendung passiver Maßnahmen analog zu Nachbarzone) sowie mit inneren Wärmelasten aus Equipment und Personen beaufschlagt. Die sechs mittelbar und unmittelbar angrenzenden Gebäudezonen stellen so thermische Pufferzonen dar, welche im Gegensatz zu adiabaten Zonengrenzen das thermische Verhalten der betrachteten Zone mitbestimmen. Wärmeströme in bzw. aus der betrachteten Zone stellen sich naturgemäß dabei ein.

³ <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/wohnen/wohnsituation>

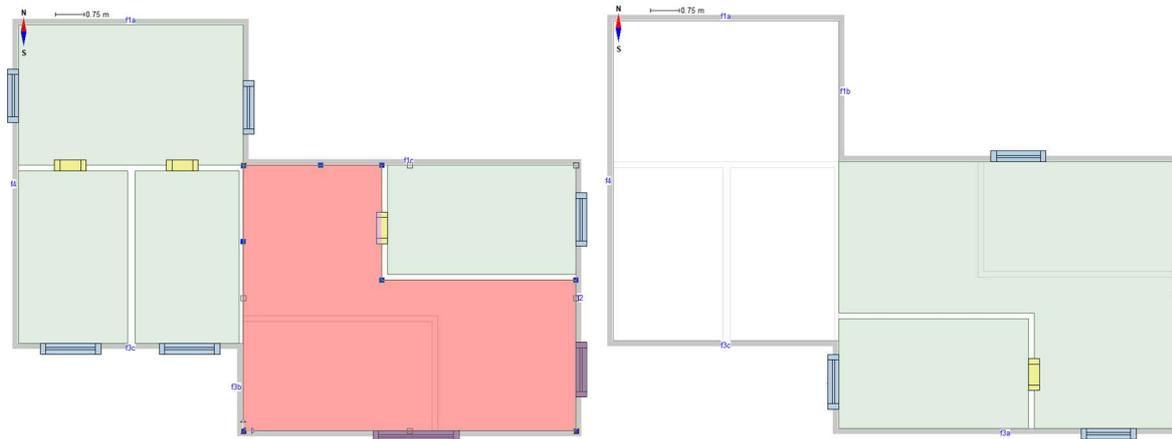


Abbildung 96: Grundriss Erdgeschoß (links) und Obergeschoß (rechts) des Wohnungsmodells; hervorgehoben die Zone 5 – Wohnküche

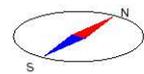
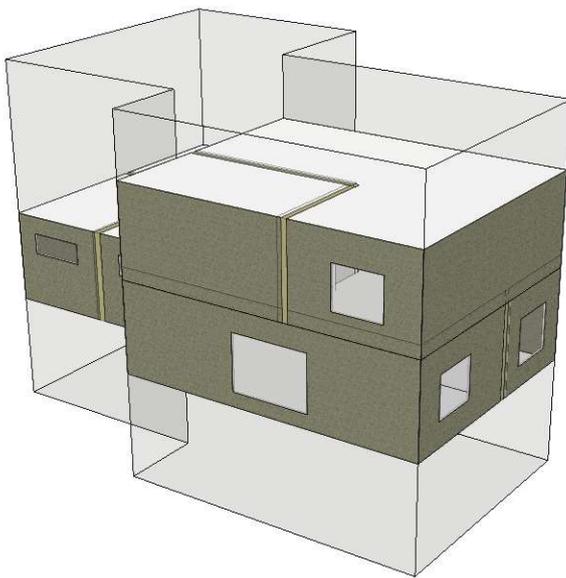


Abbildung 97: 3D-Ansicht des Modells aus Süd-Ost

5.2.1. Simulationsrandbedingungen und Nutzungsprofile

Für die Simulation des Mehrzonenmodells wurden folgende allgemeine und zur Vereinfachung dienende Randbedingungen getroffen:

- Berechnungszeitraum: Die Simulationsberechnung beginnt am 1. Januar, 00H00 und endet am 31. Dezember, 24H00 für ein Jahr mit 365 Tagen. Der erste Wochentag ist ein Montag. Eine Differenzierung in Arbeitstage und Wochenendtage wird nicht durchgeführt.
- Berechnungszeitschritte: Die Länge eines Berechnungszeitschrittes wird auf maximal 1/10 h festgelegt
- Erdreichberührte Bauteile: Erdreichberührte Bauteile werden in der Betrachtung nicht berücksichtigt.
- Wärmebrücken: Der Einfluss von Wärmebrücken wird nicht berücksichtigt.
- Temperaturen in angrenzenden Bereichen: Zwischen benachbarten Zonen finden Wärmetransport und Luftaustausch statt. Zu einer fiktiv angrenzenden Nachbarwohnung dient eine adiabate Grenze.
- Nutzungsprofile und Wärmeeinträge durch Personen und Geräte siehe Kapitel 4.3.2
- Einrichtungsgegenstände: Die Wärmespeicherfähigkeit von im Raum befindlichen Einrichtungsgegenständen wird im Rahmen der Simulationsberechnungen nicht berücksichtigt.
- Gebäudeumgebung: Es wird kein Einfluss der Topographie, der umgebenden Bebauung auf den solaren Eintrag und Wind bzw. den Luftaustausch berücksichtigt.
- Lüftung: Fensterleibungen und Sturzausbildungen und deren Einfluss auf das Lüftungsverhalten werden geometrisch nicht berücksichtigt. Die Druckunterschiede bei Fensteröffnung werden durch einen fixen Druckverlustbeiwert (0,65) mitberücksichtigt.
- solare Einträge: Fensterleibungen und Sturzausbildungen und deren Einfluss auf die solaren Einträge werden nicht berücksichtigt. Für Sonnenschutzvorrichtungen wird eine windunabhängige Betriebsweise angenommen
- Betriebszeiten: Heizperiode 1. November – 31. März
- Kühlperiode 1. April – 31. Oktober

5.2.1.1. Lüftungsprofile

Der Luftwechsel auf Basis der Infiltration wird mit $n_x = 0,05 \text{ h}^{-1}$ festgesetzt und entspricht damit einem n_{50} -Wert von 1 h^{-1} aus einer Blower Door Messung.

Tagsüber, während Personenanwesenheit, wird zusätzlich ein hygienischer Luftwechsel angesetzt, wobei zwischen Erwachsenen und Kindern differenziert wird. Für Erwachsene ist ein Frischluftbedarf von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ und für Kinder von $15 \text{ m}^3/\text{h}$ berücksichtigt. Hinter den Lüftungsprofilen steht ein Basiswert von $5 \text{ m}^3/\text{h}$, der mit den definierten Belegungsdichten multipliziert wird und so den Volumenstrom für die jeweiligen Zonen ergibt. Abseits zur ÖNORM B 8110-5 in der aktuellen Fassung kommen adaptierte und im Projektteam abgestimmte Anwesenheitsprofile zur Anwendung, die die thermische Belastung der einzelnen Aufenthaltszonen differenzierter widerspiegeln.

Für die Wohnküche ergibt dies z.B. während des Zeitraums von 07:30 bis 08:30 mit einer Belegung von zwei Erwachsenen und einem Kind eine Frischluftzufuhr von $75 \text{ m}^3/\text{h}$. Über den Tag verteilt sieht die Belegungsdichte in der Wohnküche wie folgt aus:

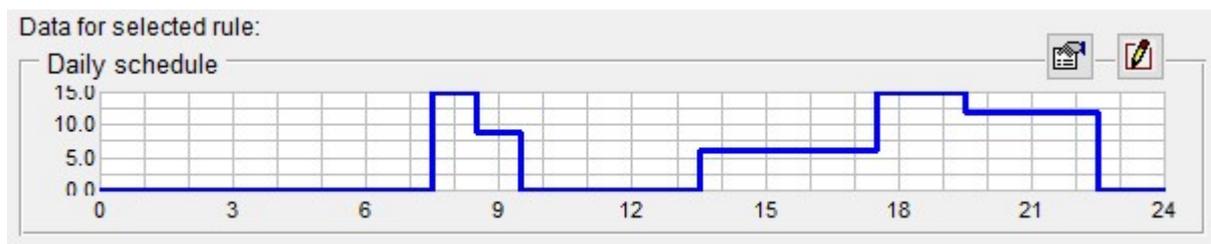


Abbildung 98: Lüftungsprofil Wohnküche

Lüftungsprofil Kinderzimmer: Der Frischluftbedarf in einem Kinderzimmer fällt vorwiegend während der Nachtstunden zwischen 19:30 und 07:30 und mit einer kurzen Aufenthaltsdauer bzw. 2-stündigen Studierzeit nachmittags zwischen 15:30 und 17:30 an.

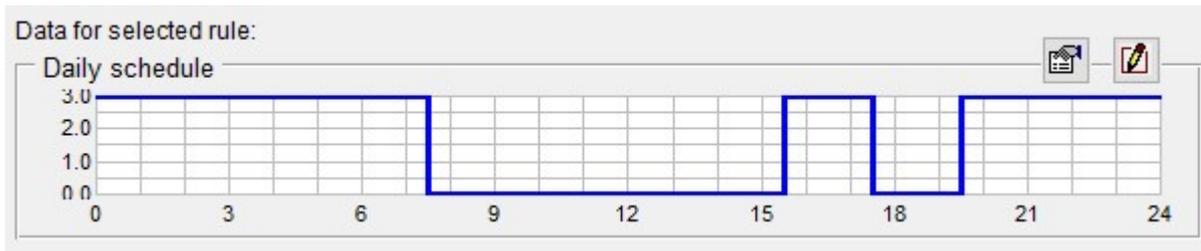


Abbildung 99: Lüftungsprofil Kinderzimmer

Lüftungsprofil Schlafzimmer: Der Frischluftbedarf in einem Schlafzimmer ergibt sich auf Basis der nächtlichen Anwesenheit von zwei Erwachsenen in der Zeit zwischen 22:30 und 07:30 wie folgt:

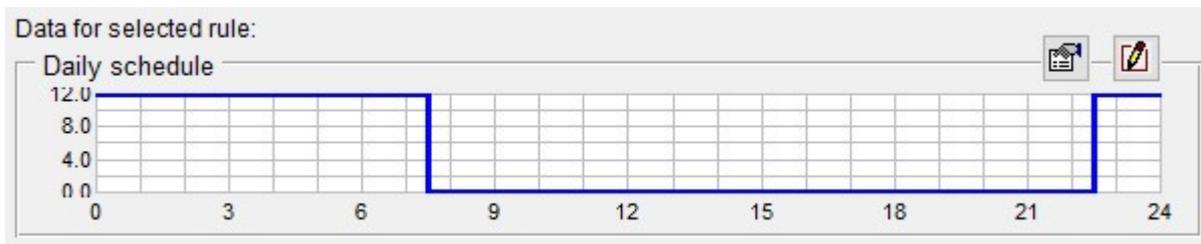


Abbildung 100: Lüftungsprofil Schlafzimmer

Die Nachtlüftungsregelung wurde im Modell wie folgt umgesetzt:

- wenn Außenlufttemperatur geringer als operative Raumtemperatur
- wenn operative Raumtemperatur größer 26 °C
- nur während der Nachtstunden (22:30 – 07:30)
- einheitlich für alle Nutzungszonen

5.2.1.2. Sonnenschutzprofile

Als Vereinfachung wurde im Simulationsmodell der Einfluss durch Fensterrahmenanteile, Fremdverschattung und Verschattung durch bauliche Maßnahmen nicht berücksichtigt.

Die Sonnenschutzmaßnahmen im Simulationsmodell basieren auf zwei Varianten:

- außenliegender Sonnenschutz: $g_{tot} = 0,05$
- innenliegender Sonnenschutz: $g_{tot} = 0,30$

Die Ermittlung des g_{tot} erfolgt gemäß der normativen Berechnung $g_{tot} = F_C \times g^4$ in Anlehnung an

⁴ F_C – Abminderungsfaktor einer Sonnenschutzvorrichtung
 g – Wert – Gesamtenergiedurchlassgrad eines transparenten Bauteils

Tabelle 17 und Tabelle 18 „Gesamtenergiedurchlassgrade g_{tot} für äußere/innere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen“ (ÖNORM B 8110-6-1). Der Annahme des g_{tot} für den außenliegenden Sonnenschutz liegt die Kombination eines Wärmeschutzglases mit $U_g \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit Rollläden dicht geschlossen (helle Oberfläche) zu Grunde. Der innenliegenden Verschattung liegt eine Kombination aus einem Glas ohne Sonnenschutzfunktion und ein textiler Behang der Klasse 1 zugrunde. Der g-Wert der Verglasung wurde einheitlich mit 0,53 bei einem U_g -Wert von $0,5 \text{ Wm}^2\text{K}$ angesetzt.

Tabelle 17: Gesamtenergiedurchlassgrade für äußere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen (ÖNORM B 8110-6-1)

Gesamtenergiedurchlassgrade g_{tot} für äußere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen	Wärmeschutzglas $U \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$				Isolierglas ohne Low-E $U > 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$			
	Sehr hell	Hell	Dunkel	Sehr dunkel	Sehr hell	Hell	Dunkel	Sehr dunkel
Lamellenbehänge fast geschlossen	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10	0,14	0,14
Lamellenbehänge, Lamellenwinkel halboffen (45°)	0,10	0,10	0,09	0,07	0,13	0,13	0,15	0,15
Lamellenbehänge, Lamellen geöffnet (90°)	0,24	0,19	0,15	0,09	0,30	0,25	0,22	0,18
Fassadenmarkisen mit Alubeschichtung außen, Lochanteil $\leq 5\%$	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,14	0,14
Fassadenmarkisen unbeschichtet, Lochanteil $\leq 5\%$	0,17	0,13	0,11	0,10	0,20	0,16	0,14	0,17
Fassadenmarkisen mit u. ohne Alubeschichtung, Lochanteil $< 15\%$	0,25	0,17	0,17	0,17	0,30	0,25	0,25	0,25
Fassadenmarkisen Acryl (dicht gewebt)	0,23	0,15	0,12	0,10	0,29	0,21	0,17	0,14
Rollladen dicht geschlossen	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,12	0,12
Rollladen, Luft/Lichtschlitz offen	0,06	0,06	0,07	0,07	0,10	0,10	0,14	0,14
Rollladen, die unteren 25 % des Fensters ist nicht beschattet	0,20	0,20	0,22	0,22	0,25	0,26	0,27	0,30
Anwendungen von Lamellenwinkel halboffen (45°) und Lamellen geöffnet (90°) kommen nur für Fälle entsprechender Sonnenhöhen (d. h. Eigenverschattung der Lamellen) in Frage.								

Tabelle 18: Gesamtenergiedurchlassgrade für innere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen (ÖNORM B 8110-6-1)

Innere Abschlüsse	Gesamtenergiedurchlasswerte g_{tot} in Kombination mit Verglasungen	
	ohne Sonnenschutzfunktion	mit Sonnenschutzfunktion
Textile Behänge der Klasse 1 und Folien mit $T_v \leq 3\%$	0,30	0,25
Lamellen der Klasse 1, textile Behänge der Klasse 2 und Folien mit T_v von 6 % bis 18 %	0,40	– (nur Blendschutz)
Alubedampfte/beschichtete textile Behänge	0,45	– (nur Blendschutz)
Lamellen der Klasse 2 und textile Behänge der Klasse 3	– (nur Blendschutz)	– (nur Blendschutz)
Lamellen der Klassen 3 und 4 sowie textile Behänge der Klasse 4	– (nur Blendschutz)	– (nur Blendschutz)

5.2.1.3. Verschattungsregelungen

Die Regelung der Sonnenschutzvorrichtungen unterscheidet zwischen zwei Fällen:

1. Für die manuelle Steuerung wird der Ansatz zugrunde gelegt, dass im Falle der Anwesenheit durch Personen bei einem Solarstrahlungseintrag von 250 W/m^2 (Direktnormalstrahlung) auf die Fassadenoberfläche (jeweils nach Himmelsrichtung unterschieden) – weiters spür- bzw. sichtbar im Raum – die Sonnenschutzvorrichtung zu 75 % geschlossen wird. Ein weiteres Kriterium für die Schließung ist eine operative Temperatur größer als $25 \text{ }^\circ\text{C}$.
2. Für die automatisierte Steuerung wird die Globalstrahlung auf der Fassade erfasst und die Sonnenschutzvorrichtung bereits ab einem Grenzwert von 150 W/m^2 zu 75 % geschlossen, unabhängig von der Anwesenheit durch Personen bzw. der operativen Raumtemperaturen.

Die 75 % Schließung der Sonnenschutzvorrichtung lässt in der Praxis einen Spielraum für genügend Tageslichteintrag, um die Aktivierung von Kunstlicht zu vermeiden.

5.2.2. Variantensimulation Mehrzonenmodell und Auswertung

Mittels thermisch dynamischer Gebäudesimulation (Software IDA ICE Version 4.8) wurde der Einfluss von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen (Tabelle 19) auf die Ergebnisse des Wohnungsmodells untersucht und gegenübergestellt. Neben den Maßnahmenpaketen erfolgte weiters auch eine Variation der Bauschwere, Lage der Verschattungseinrichtung und des Flächenanteils der Verglasung an der Fassade.

Tabelle 19: Abfolge passiver Maßnahmen zur Gebäudekühlung

Basisvariante	Maßnahmenpaket 1	Maßnahmenpaket 2	Maßnahmenpaket 3	Maßnahmenpaket 4	Maßnahmenpaket 5
keine Maßnahmen	Verschattung manuell gesteuert	Verschattung automatisiert	Nachtlüftung	Verschattung automatisiert + Nachtlüftung	Verschattung automatisiert + Nachtlüftung + passive Kühlung

Nachfolgend werden die untersuchten Maßnahmenpakete beschrieben und deren Einfluss auf die Ergebnisse untereinander verglichen. Die Simulationen wurden jeweils mit den Datensätzen des IST-Klimas und des RCP Szenarios 2.6 2050 durchgeführt. Am Beginn stand ein direkter Vergleich der Standorte St. Pölten und Salzburg, in weiterer Folge wurde auf St. Pölten referenziert. Die Randbedingungen wie Raumgeometrie, U_g -Wert transparenter Bauteile, Solltemperatur der Heizperiode, Infiltrationsluftwechsel bzw. hygienische Luftwechselraten und Wärmelasten aus den Nutzungsprofilen wurden in den Varianten gleichgehalten.

In die Betrachtung der Maßnahmenpakete sind dabei folgende veränderliche Parameter mit eingeflossen:

- Speichermasse 2-stufig (leicht und schwere Bauweise)
- Fensterflächenanteil 2-stufig (Mindestbelichtungsfläche nach OIB RL3 und 25 % der Fassadenfläche)
- Verschattung 2-stufig (außenliegender und innenliegender Sonnenschutz)
- Nachtlüftung 2-stufig (Kippstellung und ganz offen)

Die nachfolgende Tabelle 20 stellt die untersuchten Maßnahmen bzw. -kombinationen grob aufgelöst dar. Die Basisvariante als Ausgangslage ist darunter jene Variante, welche gänzlich ohne Maßnahmen zur Hintanhaltung der sommerlichen Überwärmung auskommen muss, um eine Art „worst-case-Szenario“ abzubilden und darauf basierend das Potential von Maßnahmen darzustellen. Die Maßnahmenpakete 1 bis 2c liefern Ergebnisse zur Nachtlüftung, zur manuellen bzw. automatisierten Verschattung sowie den Restkühlbedarf untersuchter Gebäudezonen.

Tabelle 20: Grobe Übersicht untersuchter Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpakete

Variante	Klimadatensatz	hygienischer Luftwechsel	Nachlüftung	Verschattung manuell	Verschattung automatisiert	Kühlung Kat. II
Basisvariante Klima aktuell	2019	✓	nein	nein	nein	nein
Basisvariante Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	nein	nein	nein	nein
Basisvariante a Klima aktuell	2019	✓	nein	nein	nein	✓
Basisvariante a Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	nein	nein	nein	✓
Maßnahmenpaket 1 Klima aktuell	2019	✓	nein	✓	nein	nein
Maßnahmenpaket 1 Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	nein	✓	nein	nein
Maßnahmenpaket 1a Klima aktuell	2019	✓	nein	nein	✓	nein
Maßnahmenpaket 1a Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	nein	nein	✓	nein
Maßnahmenpaket 1b Klima aktuell	2019	✓	nein	nein	✓	✓
Maßnahmenpaket 1b Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	nein	nein	✓	✓
Maßnahmenpaket 2 Klima aktuell	2019	✓	✓	✓	nein	nein
Maßnahmenpaket 2 Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	✓	✓	nein	nein
Maßnahmenpaket 2a Klima aktuell	2019	✓	✓	nein	nein	nein
Maßnahmenpaket 2a Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	✓	nein	nein	nein
Maßnahmenpaket 2aa Klima aktuell	2019	✓	✓	nein	nein	nein
Maßnahmenpaket 2aa Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	✓	nein	nein	nein
Maßnahmenpaket 2b Klima aktuell	2019	✓	✓	nein	✓	nein
Maßnahmenpaket 2b Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	✓	nein	✓	nein
Maßnahmenpaket 2c Klima aktuell	2019	✓	✓	nein	✓	✓
Maßnahmenpaket 2c Klima 2050	2050 RCP 2.6	✓	✓	nein	✓	✓

5.2.2.1. Einfluss des Standorts

Im Standortvergleich zwischen Salzburg und St. Pölten wird der Einfluss unterschiedlicher klimatischer Bedingungen auf den Kühlbedarf in Form der Kelvinstunden herausgearbeitet. Die Berechnung erfolgt dafür einmal mit dem Klimadatensatz für das IST-Klima und einmal mit jenem Datensatz, welcher das Szenario 2050 abbildet. Als gleichbleibende Randbedingung fungiert die mindesterforderliche Lichteintrittsfläche gemäß OIB Richtlinie 3 Ausgabe 2019⁵.

⁵ OIB RL3:2019: Bei Aufenthaltsräumen muss die gesamte Lichteintrittsfläche (Architekturlichte von Fenstern, Lichtkuppeln, Oberlichtbändern etc.) mindestens 12 % der Bodenfläche dieses Raumes betragen. Ab einer Raumtiefe von mehr als 5,0 m

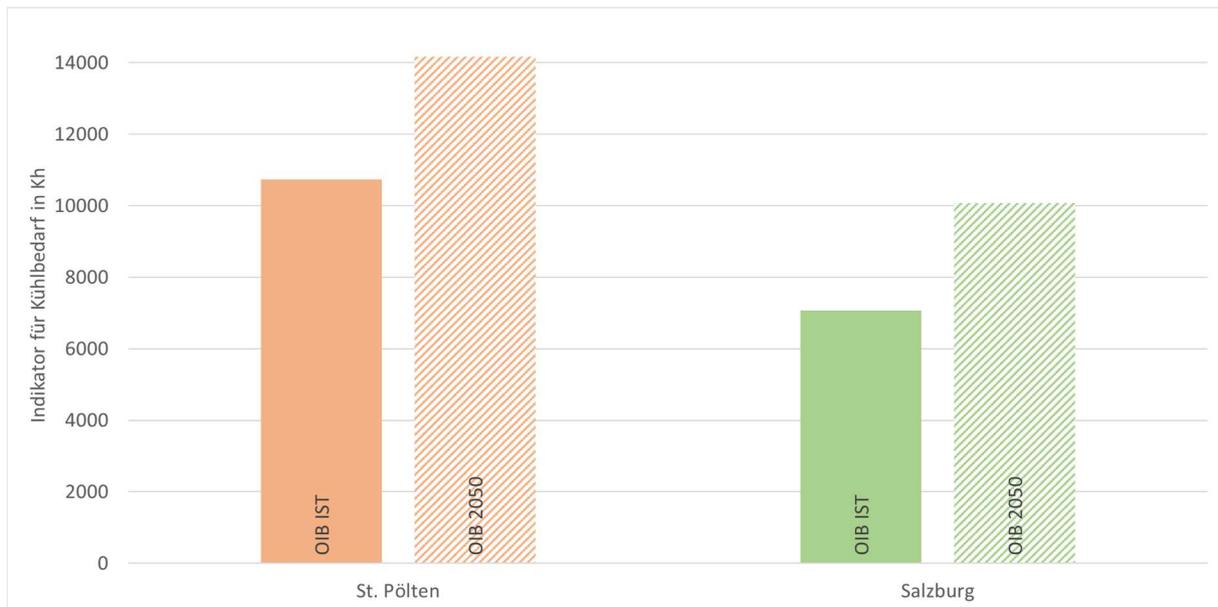


Abbildung 101: Standortvergleich St. Pölten mit Salzburg. Mindestbefensterung gemäß OIB RL3:2019, IST-Klima und Klimaszenario 2050

Aus Abbildung 101 wird ersichtlich, dass der Kühlbedarf am Standort Salzburg deutlich niedriger ausfällt als in St. Pölten. Je nach Betrachtungszeitpunkt liegen die Werte bis zu einem Drittel niedriger. In den weiteren Varianten wird ausschließlich auf den Standort St. Pölten Bezug genommen.

Anzumerken dabei ist, dass generell aus den Klimadaten von 2050 geringfügig höhere zulässige operative Innenraumtemperaturen resultieren, da auch die Außentemperaturen darin etwas höher liegen (z.B. +0,4 K höherer Maximalwert im Jahr für die Kategorien II und III des adaptiven Komfortmodells).

5.2.2.2. Einfluss des Fensterflächenanteils

Für den Standort St. Pölten wurden zwei unterschiedliche Fensterflächenanteile und deren Einfluss auf den Kühlbedarf, ausgedrückt in Kelvinstunden über der Kategorie III, berechnet. Der Fensterflächenanteil entspricht einmal der Mindestbefensterung von 12 % der Fußbodenfläche lt. OIB RL 3 (entspricht ca. 12 % der Fassadenfläche der Zone 5 – Wohnküche) und einmal 25 % der Fassadenfläche. In beiden Varianten ist eine automatisierte außenliegende Verschattung zur Reduktion der solaren Wärmeeinträge angesetzt.

Bei einer ungefähren Verdoppelung des Fensterflächenanteils stellt sich für das IST-Klima ein ca. dreimal höherer und für 2050 ein mehr als doppelt so hoher Kühlbedarf ein.

Im Falle kleinerer Fenster verdoppelt sich der Kühlbedarf bis 2050, bei ausgehendem 25 %-igen Fensterflächenanteil um ca. 50 %, siehe Abbildung 102.

vergrößert sich die Lichteintrittsfläche um jeweils 1 % der gesamten Bodenfläche des Raumes pro angefangenem Meter zusätzlicher Raumtiefe.

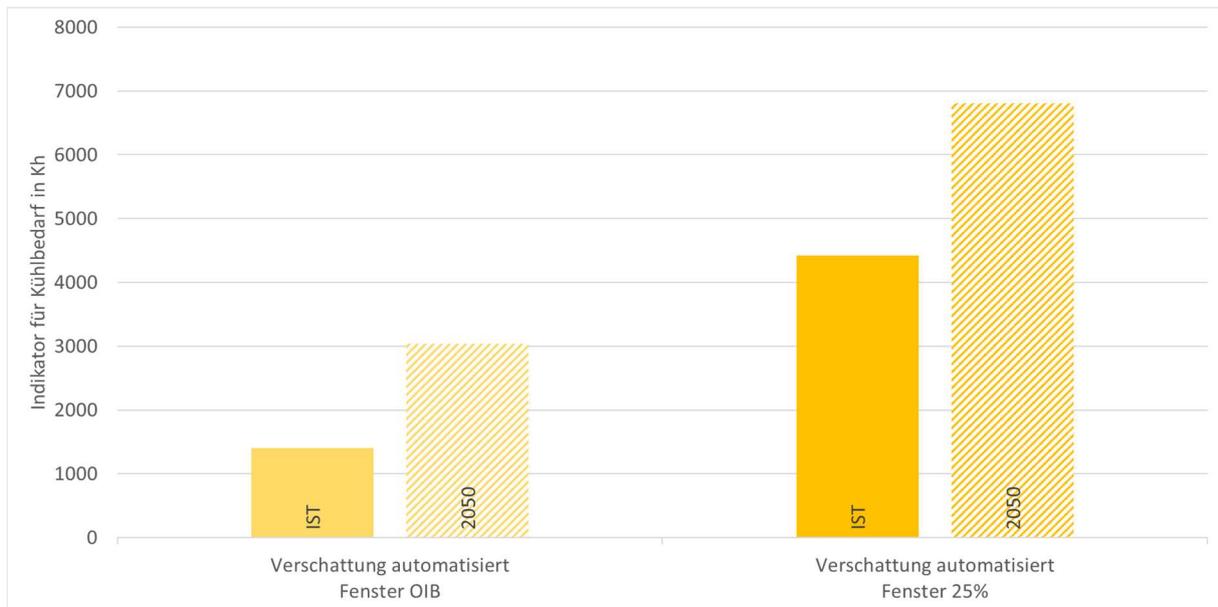


Abbildung 102: Vergleich Mindestbefensterung vs. 25% der Fassadenfläche, IST-Klima und Klimaszenario 2050

5.2.2.3. Einfluss der Bauschwere

Im Vergleich der Bauschwere wurde für Zone 5, Wohnküche mit Ecklüftung (Fenster Ost und Süd) und einer Mindestbefensterung gemäß OIB RL 3, die innere Speichermasse der raumbildenden Aufbauten variiert und deren Einfluss auf den Kühlbedarf verglichen. Die Darstellung blauer Säulen steht dabei für die schwere Bauweise mit massiven Innen- und Außenwänden, gelbe Säulen stellen die leichte Bauweise dar (siehe Abbildung 103). Die Bauteilliste befindet sich im Anhang A.3.

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass die leichte Bauweise bei Betrachtung der Basisvariante ohne passive Maßnahmen vor sommerlicher Überwärmung einen deutlich größeren Kühlbedarf hervorruft als die schwere Bauweise. Weiters steigt der Kühlbedarf bis 2050 aufgrund der höheren durchschnittlichen Außenlufttemperaturen und dem höheren Strahlungsantrieb verglichen mit dem IST-Klima weiter an.

Auf die Basisvariante aufbauend folgen zusätzliche Sonnenschutzmaßnahmen: In der zweiten Auswertungsgruppe von links wird die große Reduktion des Kühlbedarfs ersichtlich, welche durch die automatisierte Verschattung trotz geringem Fensterflächenanteil (Immissionsfläche) ermöglicht wird. Es zeigt sich, dass beim IST-Klima signifikante Unterschiede zwischen leichter und schwerer Bauweise im Vergleich zur Basisvariante bestehen bleiben und die Speichermasse auf die operative Temperatur weiterhin dämpfend wirkt. Beim Ausblick auf 2050 zeigt sich eine ähnlich hohe Differenz beim Indikator für den Kühlbedarf zwischen den beiden Bauweisen.

Anzumerken ist, dass bei einer detaillierteren Betrachtung der Verteilung der Kelvinstunden über das Jahr im Szenario 2050 diese bereits früher und auch noch etwas später im Jahr anfallen als im IST-Klima.

Es ist festzuhalten, dass die außenliegende Verschattung als alleinige Maßnahme den Kühlbedarf nicht gänzlich auf Null senkt.

In der dritten Auswertungsgruppe von links wird gegenüber der Basisvariante eine ausschließliche Nachtlüftung dargestellt, ohne Berücksichtigung einer Verschattungseinrichtung. Klar erkennbar ist die unterschiedliche Größenordnung des Kühlbedarf: Die Nachtlüftung senkt den Kühlbedarf bei beiden Bauweisen und auch 2050 praktisch auf Null, wo hingegen eine alleinige außenliegende Verschattung noch gewisse Kühlbedarfe zur Folge hat. Rechnerisch sind kurze Zeiträume mit sehr geringem Kühlbedarf bei leichter Bauweise zu verzeichnen.

Der Vollständigkeit halber wurden beide passive Maßnahmen kombiniert: Die Zone 5 – Wohnküche bleibt gänzlich frei von Kühllasten, siehe rechte Auswertungsgruppe im nachfolgenden Diagramm:

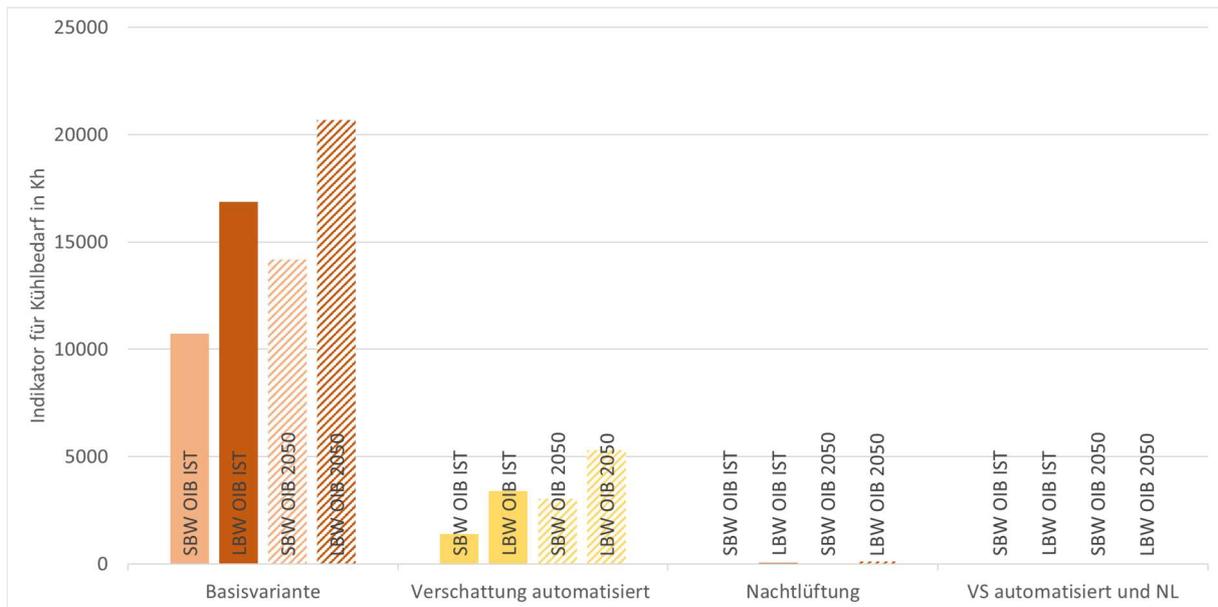


Abbildung 103: Vergleich schwere (SBW) vs. leichte (LBW) Bauweise, IST-Klima und Klimaszenario 2050

5.2.2.4. Potential der Nachtlüftung (Kippstellung vs. Fenster ganz geöffnet)

Anhand der nachfolgenden Gegenüberstellung werden die Potentiale einer Nachtlüftung eines gekippten und eines gänzlich geöffneten Fensters der Zone 5 – Wohnküche herausgearbeitet. Ausgehend von jeweils gleichartig geöffneten, über Eck liegenden Fenstern (siehe Abbildung 96) mit einer Mindestbefensterungsfläche laut OIB RL 3 ergeben sich folgende Öffnungsflächen der beiden Fenster:

- gänzlich geöffnete Fenster (mit Drehflügel): 5,2 m² (Summe aus Strömungsquerschnitt Fenster Süd und Ost mit 3,5 m² bzw. 1,7 m², anteilig ermittelt auf Basis der jeweiligen Fassadenflächengröße)
- gekippte Fenster: 0,95 m² (Summe aus Strömungsquerschnitt Fenster Süd und Ost mit 0,63 m² bzw. 0,32 m²; basierend auf einer Öffnung der Hauptschließkante von ca. 9 cm; anteilig ermittelt auf Basis der jeweiligen Fassadenflächengröße)

Die Variante mit gekippten Fenstern erlaubt demnach nur ca. ein Fünftel des maximal möglichen Strömungsquerschnitts. Strömungswiderstände bzw. sich verändernde Luftströmungen im Leibungsbereich waren nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Die nachfolgende Abbildung 104 weist grundsätzlich beinahe keinen Kühlbedarf auf, siehe Skalierung der Ordinate im Vergleich zu den vorhergehenden Abbildungen. Unabhängig der Fensterflügelstellung während der Nachtlüftung werden in beiden Fällen die Grenzwerte für die operative Temperatur der Komfortkategorie III selten bis nie erreicht, womit auch defacto kein nennenswerter Kühlbedarf anfällt. Die rechnerisch niedrigeren Indikatoren für das jeweilige Szenario 2050 resultieren aus den etwas höheren zulässigen Grenzwerten der operativen Temperatur, basierend auf den durchschnittlich höheren Außentemperaturen 2050 (vgl. 5.1.3). Des Weiteren ist im Szenario 2050 bereits früher im Jahresverlauf und danach auch häufiger ein Nachtlüftungsbedarf gegeben, was in den Rohdaten der Simulationsergebnisse abgelesen werden kann.

Eine fixe Temperaturgrenze bzw. der Ansatz der Komfortkategorie II statt III würde ein etwas differenzierteres Ergebnisbild bzw. höhere Kühlbedarfe zur Folge haben.

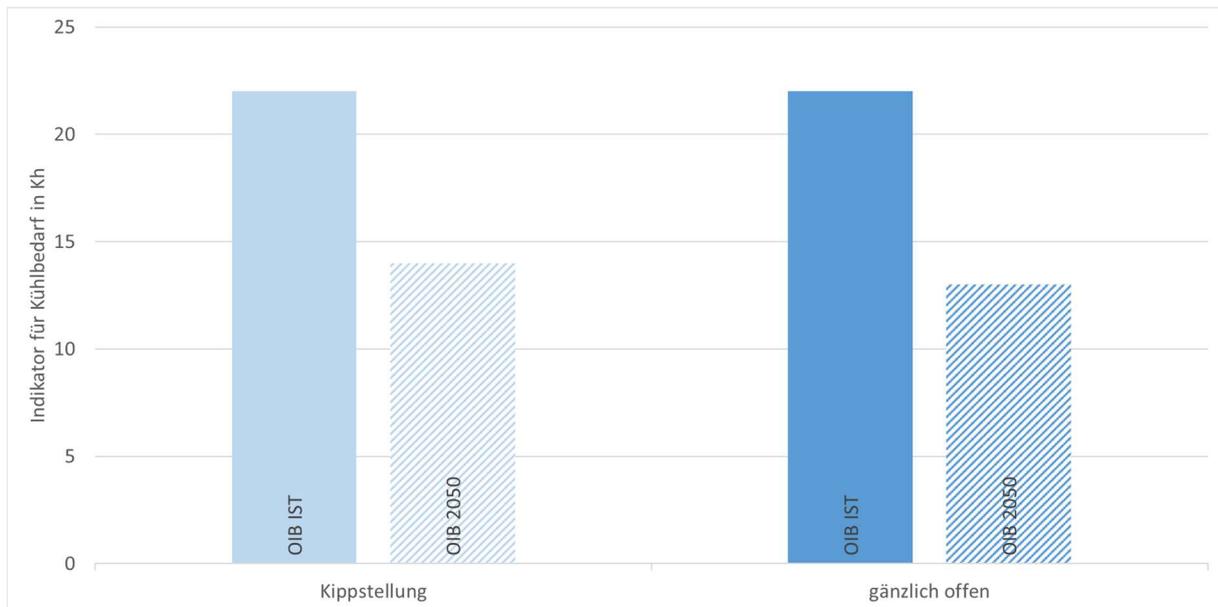


Abbildung 104: Vergleich Kippstellung vs. Fenster ganz geöffnet, IST-Klima und Klimaszenario 2050

5.2.2.5. Lage und Art der Steuerung der Verschattungseinrichtungen

In die Planungsphase des sommerlichen Wärmeschutzes wirken diverse Überlegungen bzw. Randbedingungen hinein. Zentral liegt oftmals die Frage, ob ein außenliegender oder innenliegender Sonnenschutz (Abschluss) Umsetzung finden soll bzw. muss. Dieser Abschnitt geht noch einen Schritt weiter und versucht auch die Frage zu klären, welches zusätzliche Potential eine entsprechende Automatisierung der Sonnenschutzmaßnahme generieren kann. Die acht nachfolgenden Varianten sind ohne Berücksichtigung einer Nachtlüftung simuliert.

Verglichen werden im nachstehenden Diagramm in den beiden linken Säulengruppen manuelle, von Nutzer:innen bediente Verschattungseinrichtungen. Naturgemäß sind im Szenario 2050 die Indikatoren für den Kühlbedarf höher als für das IST-Klima, hingegen ist der Unterschied hinsichtlich der Verschattungsart bzw. Lage dieser am Fenster nicht signifikant. Der Kühlbedarf der Zone 5 – Wohnküche ist in beiden Fällen, unabhängig ob außen oder innen verschattet sehr deutlich. Die Randbedingungen der manuellen Bedienung der Verschattungseinrichtungen sind in Abschnitt 5.2.1.3 definiert. Die Verschattung wird dabei aus bauphysikalischer Sicht häufig zu spät im Tagesverlauf aktiviert. Dies trägt jedoch dem Umstand Rechnung, dass die Nutzer:innen die Direktstrahlung erst in der Zone empfinden müssen.

Ein deutlich anderes Ergebnisbild liefert die Automatisierung der Verschattung. Diese wird im nachfolgenden Diagramm in den beiden rechten Säulengruppen repräsentiert. Bereits ab einer Direktstrahlung von 150 W/m² auf die Verglasungen schließt die Verschattung nach den Regeln in Abschnitt 5.2.1.3. Erwartungsgemäß ist ein außenliegender Abschluss effektiver in der Abhaltung der Solarstrahlung als ein innenliegender und kann mittels Automatisierung i.d.R. zeitlich optimal auf solare Einstrahlung orientierungsabhängig reagieren, was sich hier in den Simulationsergebnissen auch widerspiegelt. Bereits rechtzeitig in der Früh wird die Solarstrahlung am Eindringen in die Wohnküche gehindert, unabhängig der Lage der Verschattung.

Wie in der dritten Säulengruppe ersichtlich führt ein außenliegender Abschluss in Kombination mit einer Automatisierung zum niedrigsten Kühlbedarf in diesem Variantenvergleich, wenngleich dieser nicht Null ist. Der Indikator liegt je nach verwendetem Klimadatensatz jedoch ca. $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ niedriger als mit einer automatisierten innenliegenden Verschattung.

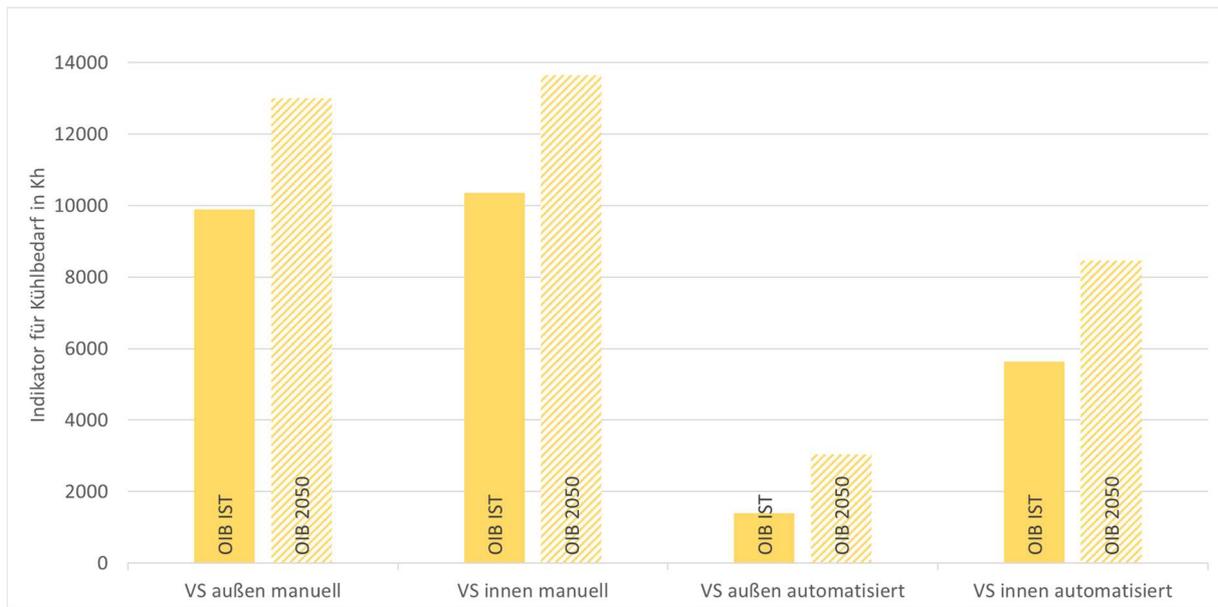


Abbildung 105: Vergleich innenliegender vs. außenliegender bzw. manueller vs. automatisierter Sonnenschutz, IST-Klima und Klimaszenario 2050

5.2.2.6. Potentialvergleich zwischen automatisierter Verschattung und Nachtlüftung bei unterschiedlichen Fenstergrößen

In diesem Abschnitt wird die Wirksamkeit einer automatisierten außenliegenden Verschattung im Vergleich zu einer ausschließlichen Nachtlüftung mit vollständig geöffneten Fenstern behandelt. Gleichzeitig gelangen unterschiedliche Fenstergrößen in die Betrachtung, wobei die resultierenden Indikatoren für den Kühlbedarf entsprechend analog den vorausgegangenen Abschnitten verglichen werden.

Die nachfolgende Abbildung spiegelt anhand der Zone 5 unmissverständlich wider, dass eine Nachtlüftung das weitaus größere Potential zur Minimierung des Kühlbedarfs hat als eine automatisierte Verschattung, unabhängig der beiden betrachteten Fensteranteile an der Außenwand sowie unabhängig vom verwendeten Klimadatensatz.

Die Beschränkung auf eine derartige Verschattungseinrichtung ohne begleitende Maßnahmen wie z.B. eine entsprechende Nachtlüftung erweist sich in diesem Fall als ungenügend. Im Hinblick auf die kürzlich erschienene OIB RL 6 Ausgabe 2023 Abschnitt 4.9.1 (b) wird ein zulässiger Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Wohngebäude dadurch vereinfachend ermöglicht, „wenn alle Leiteintrittsflächen im Aufenthaltsraum mit außenliegenden Abschattungseinrichtungen mit $g_{tot} \leq 0,15$ ausgestattet werden.“ Diese wären zu 100 % anzusetzen. Im Vergleich zu den im Projekt verwendeten Schließgrad von 75 % in Verbindung mit dem $g_{tot} = 0,05$ für den außenliegenden Abschluss ergibt sich ein effektiver g_{tot} von 0,17, das ungefähr z.B. einem hellen Lamellenbehang mit 90° offenen Lamellen entsprechen würde (vgl. Abschnitt

Tabelle 17).

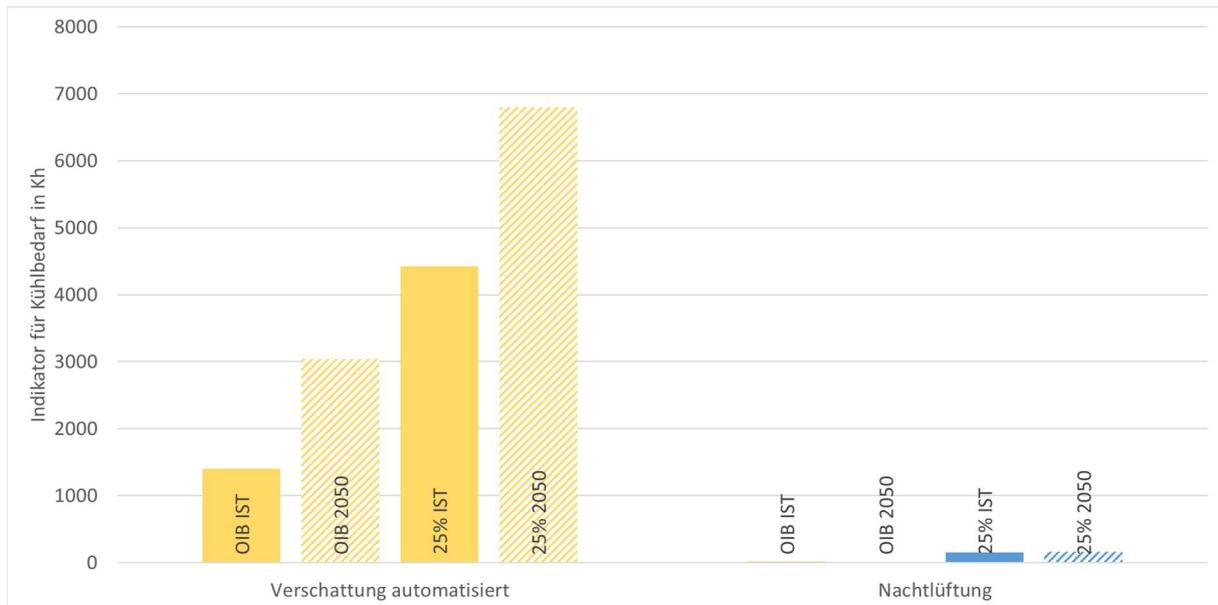


Abbildung 106: Potentialvergleich automatisierter Verschattung und Nachtlüftung bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen, IST-Klima und Klimaszenario 2050

Aus den Ergebnissen von Zone 5 ist erwartungsgemäß ablesbar, dass ein höherer Fensterflächenanteil auch zu einem höheren Kühlbedarf führt, unabhängig ob die Fenster verschattet sind oder eine Nachtlüftung umgesetzt ist. Wo hingegen die alleinige Nachtlüftung bei Mindestbefensterung auch 2050 noch ausreicht, so ist diese bei einem höheren Verglasungsanteil an der Außenwandfläche nicht mehr im Stande, punktuelle Überschreitungen der Komfortkategorie III hintanzuhalten (siehe obige Abbildung 106, Säulengruppe Nachtlüftung, blaue Balken).

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass bei automatisierter Verschattung in Kombination mit einer auf 20 W/m^2 limitierten Kühlung bei Betrachtung des Klimaszenario 2050 die Komfortgrenze der Kategorie II nicht eingehalten werden kann. Der Wechsel der Betrachtung der Anforderungsgrenze von Kategorie III auf II wird dadurch begründet, dass bei Vorhandensein einer technischen Kühlmaßnahme sich Nutzer:innen die möglichst dauerhafte Einhaltung von niedrigeren Temperaturen im Raum erwarten.

Trotz Anwendung der höheren Anforderungskategorie II (obere Grenzwerte sind um 1 K reduziert gegenüber jenen in Kategorie III) unter gleichzeitiger Ausnutzung der begrenzten Kühlleistung von 20 W/m^2 ist eine deutliche Reduktion des Indikators für den Kühlbedarf im direkten Vergleich zu den Ergebnissen in Abbildung 106 zu erkennen.

Weiters festzuhalten gilt: Während mit IST-Klima auch bei höherem Fensterflächenanteil damit de-facto die Kategorie II eingehalten werden kann (Indikator nahe Null), so wird trotz Ansatz der max. Kühlleistung von 20 W/m^2 bereits bei Mindestbefensterung nach OIB RL 3 die Kategorie II im Szenario 2050 überschritten, siehe nachfolgende Abbildung 107. Anzumerken ist, dass ohne technischem Kühlansatz die operativen Raumtemperaturen im Vergleich naturgemäß höher zu liegen kommen, gleichzeitig sind auch die zulässigen Temperaturen in der Kategorie III höher. Maßgeblich zur Senkung der Indikatoren trägt der Kühlansatz bei, wobei ein bloßer Betrachtungswechsel von Kategorie II auf III ebenfalls die Indikatoren geringfügig senken würde.

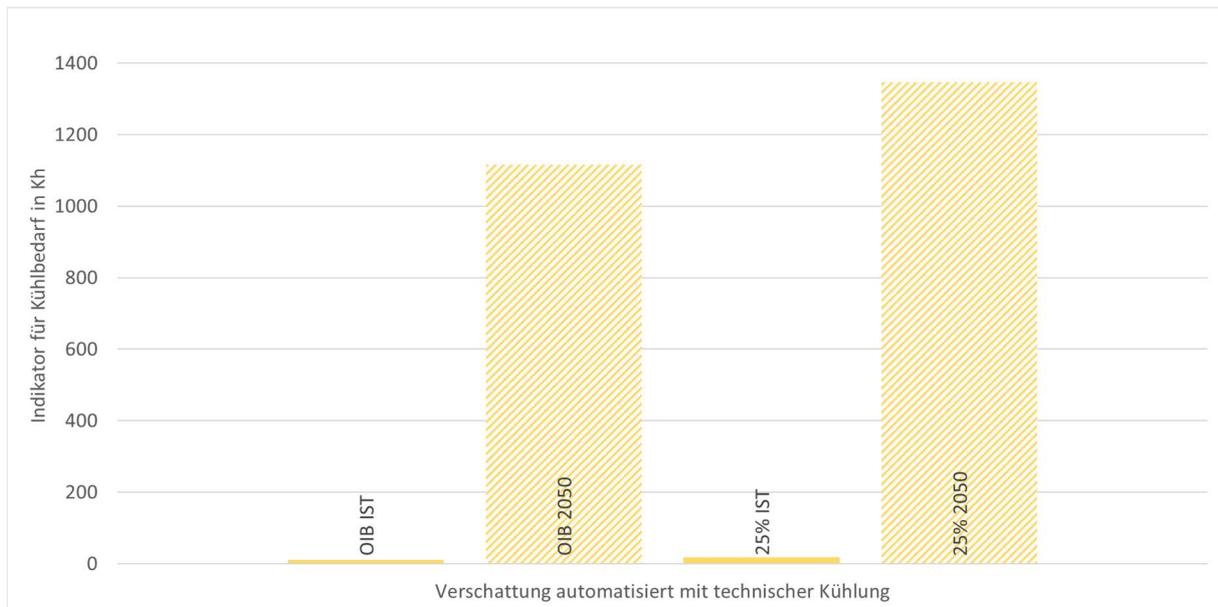


Abbildung 107: Vergleich unterschiedlicher Fensterflächenanteile bei automatisierter Verschattung zur Einhaltung der Komfortgrenze der Kategorie II unter Ansatz einer max. Kühlleistung von 20 W/m², IST-Klima und Klimaszenario 2050

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass zur Einhaltung der Kategorie II des adaptiven Komfortmodells (siehe 5.1.33) ein nicht deckbarer Restkühlbedarf in kWh, sowohl für das IST-Klima als auch für 2050 übrigbleibt, da das Kühlsystem mit einer maximalen Leistung von 20 W/m² begrenzt wurde.

Mit ungünstigerem Klimadatensatz (2050) sowie größeren Fensterflächenanteilen resultieren erwartungsgemäß die Anstiege der notwendigen Kühlenergie zur Einhaltung der Komfortgrenze II (siehe Abbildung 108).

Der verbleibende Kühlenergiebedarf zeigt deutlich, v.a. für 2050, dass eine Kombination eines außenliegenden automatisierten Sonnenschutzes mit einer bereitgestellten maximalen Kühlleistung von 20 W/m² nicht ausreicht, um Komfortkategorie II einzuhalten. Hier wird eine weitere Maßnahme erforderlich (siehe Abschnitt 5.2.2.8).

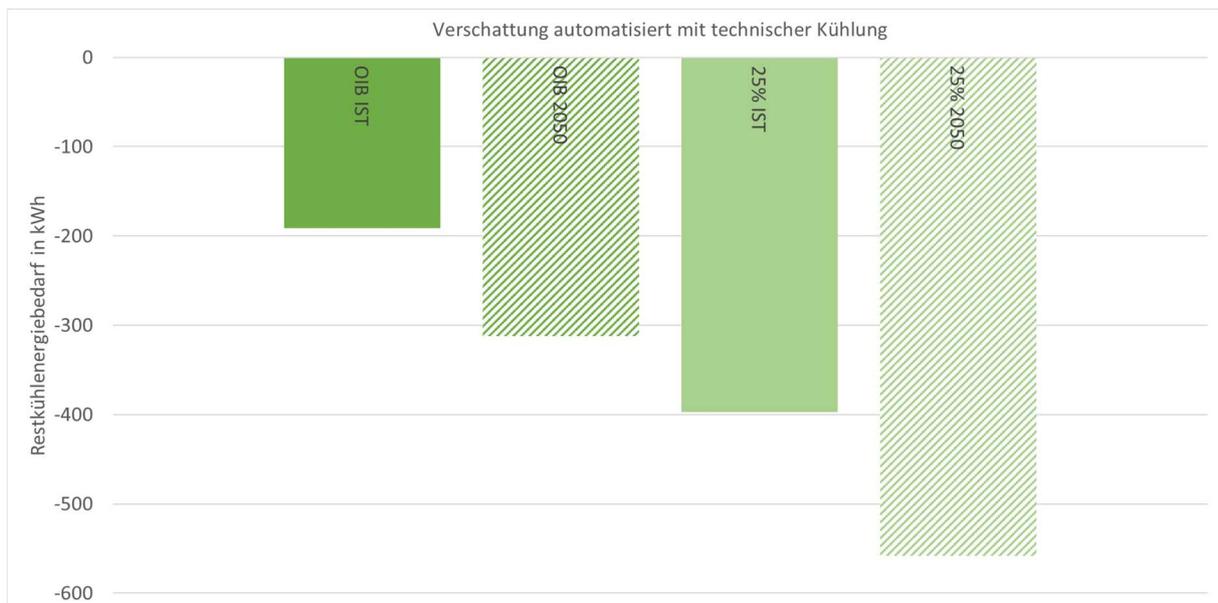


Abbildung 108: Nicht deckbarer Restkühlenergiebedarf bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen und automatisierter Verschattung zur Einhaltung der Komfortgrenze der Kategorie II, IST-Klima und Klimaszenario 2050

5.2.2.7. Einfluss von Raumnutzungsprofilen

Der Fokus in diesem Abschnitt liegt auf den Auswirkungen unterschiedlicher Nutzungsarten auf den Kühlbedarf der entsprechenden Zonen. Es werden hierzu die Nutzungszonen 5 – Wohnküche, 2 –

Kinderzimmer und 1 – Schlafzimmer dargestellt und gegenübergestellt. Die Fensteranzahl und deren Anordnung im Simulationsmodell ist nachfolgender Abbildung 109 entnehmbar. Die Profile der inneren Wärmelasten aus Personen und Geräten sind in Abschnitt 6 dokumentiert.

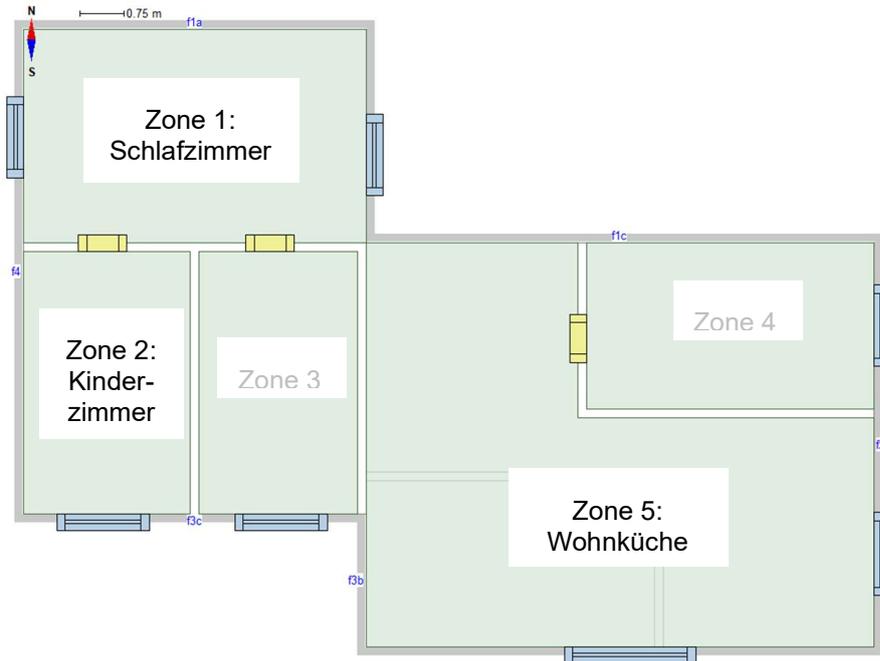


Abbildung 109: Zonierung des Wohnungsmodells mit Fensteranzahl und -anordnung

In nachfolgender Abbildung ist zunächst die naturgemäß hohe Wirksamkeit der außenliegenden automatisierten Verschattung für alle drei Aufenthaltszonen ersichtlich, gegenübergestellt den unverschatteten Basisvarianten mit deutlich ausgeprägten Kühlbedarfen. In keiner Variante ist dabei eine dezidierte Nachtlüftung zwecks passiver Kühlung angewandt.

Die Wohnküche weist, unabhängig des verwendeten Klimadatensatzes, einerseits in Summe höhere interne Lasten im Vergleich zu den anderen beiden Zonen auf, andererseits bewirken weitere Faktoren wie Fensterorientierung und Anzahl den in diesem Fall etwas über den anderen beiden Zonen liegenden Kühlbedarf. Für das Überwärmungsrisiko der Räume ist die Rolle der Verschattung jedoch deutlich größer als die Art der Raumnutzung, wie aus dem nachstehenden Diagramm entnehmbar ist.

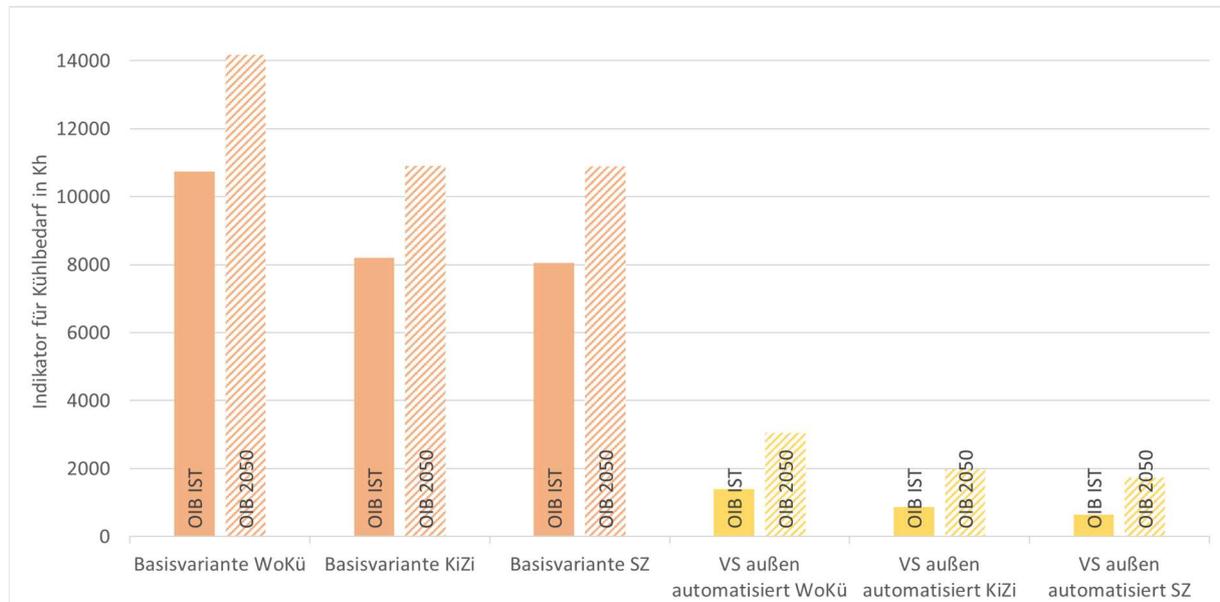


Abbildung 110: Einfluss von Raumnutzungsprofilen, IST-Klima und Klimaszenario 2050

Weiters anzumerken ist, dass es in den drei betrachteten Zonen, unabhängig deren Nutzungsarten, ohne dezidierte Nachtlüftung zu einer Überschreitung der Komfortkategorie III kommt. Die hygienisch erforderliche, mitberücksichtigte Lüftung ist dazu nicht ausreichend.

Analog zu Abschnitt 5.2.2.6 sei hier erneut auf die OIB RL 6 Ausgabe 2023 hingewiesen, welche den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes von Aufenthaltsräumen mittels außenliegenden Abschattungseinrichtungen mit einem $g_{tot} \leq 0,15$ als erfüllt betrachtet.

5.2.2.8. Kaskadierung passiver Maßnahmen zur Gebäudekühlung

Auf Basis der obigen Simulationsvarianten kann eine Kaskadierung der Einzelmaßnahmen vorgenommen werden, die einen sinnvollen Pfad zur Minimierung des Kühlbedarfs bis 2050 aufzeigt. Beginnend bei der Basisvariante stellt die nachfolgende Abbildung die sinnvollen technischen Maßnahmen und -kombinationen dar, die zu einer Hintanhaltung der sommerlichen Überwärmung führen. Für den Pfad diente erneut die Zone 5 – Wohnküche in schwerer Bauweise, die jeweils anfallenden Kelvinstunden im Diagramm drücken dabei erneut den Kühlbedarf der jeweiligen Variante aus. Die Übersicht über die unterschiedlichen Maßnahmen gibt Tabelle 20 wieder.

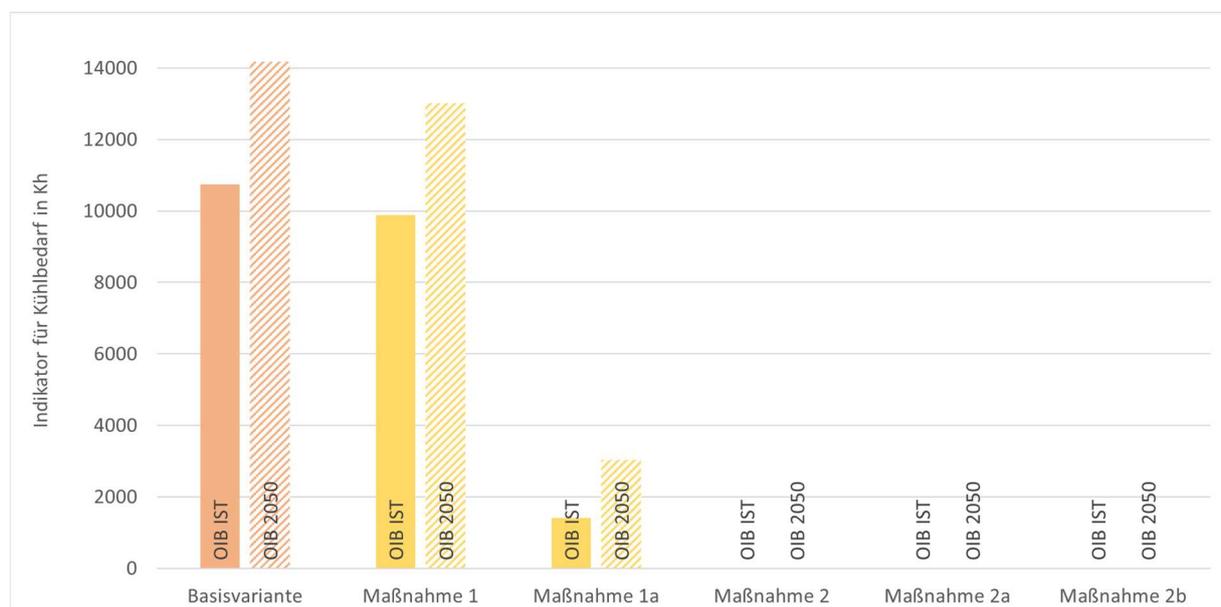


Abbildung 111: Kaskadierung passiver Maßnahmen zur Gebäudekühlung, IST-Klima und Klimaszenario 2050

Die Basisvariante, ganz links im obigen Diagramm, stellt die Ausgangslage ohne Maßnahmen dar, weder eine Verschattung noch eine Nachtlüftung sind verfügbar. Einzig die hygienisch erforderliche Luftwechselrate bzw. der Frischluftstrom folgt darin dem definierten Anwesenheitsprofil (siehe Abbildung 98 in Abschnitt 5.2.1.1).

Die Maßnahme 1 umfasst die manuell bediente außenliegende Verschattung, direkt gegenübergestellt derselben, jedoch in 1a automatisiert. Die deutliche Reduktion des Kühlbedarf durch die Automatisierung der Verschattung wird in Abschnitt 5.2.2.5 näher dargestellt, dort ergänzt um die Varianten einer innenliegenden Verschattungseinrichtung. 1a weist noch einen Kühlbedarf auf.

Die Maßnahme 2 bzw. die darin abgebildete Kombination aus Nachtlüftung mittels zweier Fenster über Eck und manueller außenliegender Verschattung ergibt eine anzustrebende Lösung, da der Kühlbedarf auch für das Szenario 2050 Null ist.

Ebenso sind die Maßnahmen 2a und 2b, jeweils mit Nachtlüftung, zielführende Maßnahmen, wobei 2a ohne und 2b mit einer automatisierten Verschattung simuliert ist. In beiden Fällen ist kein Kühlbedarf vorhanden.

Die Kaskadierung zeigt, dass zunächst eine außenliegende automatisierte Verschattung eine sehr wirksame und auch zielführende Maßnahme darstellt, um den Kühlbedarf in der Wohnküche deutlich, wenn auch nicht auf Null, zu senken (Maßnahme 1a). Da ein gewisses Maß an solarer Wärmestrahlung weiterhin in die verschattete Zone dringt und gleichzeitig auch interne Wärmelasten vorhanden

sind, ist ergänzend eine weitere passive Maßnahme wie die Nachtlüftung erforderlich, um den Kühlbedarf zu vermeiden. Weiters gilt für diese Zone mit schwerer Bauweise und Mindestbefensterung, dass bei einer vorhandenen Nachtlüftung das Auslangen auch ohne Verschattung gefunden werden kann. Dies gilt jedoch bei z.B. einem höheren Fensterflächenanteil nicht mehr (siehe Abschnitt 5.2.2.6).

6. Zusammenfassung und Fazit (ALLE)

Zusammenfassung

- Es wurde eine vergleichende Betrachtung für zwei Standorte und zwei Klimaszenarien vorgenommen (s. 4.2.3.2 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.1**).
- Dabei steht Salzburg repräsentativ für ein sommerlich gemäßigtes Klima und St. Pölten für ein eher sommerheißes Klima.
- Neben einem aktuellen Klimadatensatz wird je Standort auch ein Zukunftsszenario für 2050 verwendet. Dies basiert auf den IPCC-Daten für RCP2.6.
- Es wurden unterschiedliche Nutzungsprofile innerhalb einer Wohnung betrachtet. Dabei wurde grundsätzlich zwischen einer Wohnküche und einem Schlafzimmer unterschieden (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.2** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.1**).
- Für ausgewählte Bauweisen wurden an einem Einzonen-Modell Simulationsberechnungen durchgeführt. Dabei wurden immer die gleichen Maßnahmen kaskadierend bewertet (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.3**).
- Die Bewertung erfolgt auf Basis von EN 16798-1.
- Die Bewertung erfolgt qualitativ für unterschiedliche Zeiträume. Einerseits wird ein ganzes Jahr und andererseits nur eine Hitzeperiode betrachtet. Zusätzlich wird eine Unterscheidung vorgenommen nach Kühلتauglichkeit und Kühlhäufigkeit. Für den Parametervergleich wurde eine entsprechende Darstellungsform entwickelt (s. Abbildung und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.5**).

Nutzung: Wohnküche Bauart: leicht g-Wert: 0,53 Orientierung: Ost Fensterflächenanteil: 25%		Ausgangsfall															
		Salzburg								St. Pölten							
		ohne Maßnahmen				mit Nachtlüftung				ohne Maßnahmen				mit Nachtlüftung			
		mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt
Klima 2019																	
Überhitzung	Jahr	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
	Hitzeperiode	[Green]				[Green]				[Red]				[Green]			
Kühlperiode	Kühلتauglichkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
Hitzeepisode	Kühلتauglichkeit	[Green]				[Green]				[Orange]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Orange]				[Green]			
Klima 2050																	
Überhitzung	Jahr	[Yellow]				[Green]				[Orange]				[Green]			
	Hitzeperiode	[Red]				[Green]				[Red]				[Green]			
Kühlperiode	Kühلتauglichkeit	[Yellow]				[Green]				[Orange]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Yellow]				[Green]				[Orange]				[Green]			
Hitzeepisode	Kühلتauglichkeit	[Yellow]				[Green]				[Red]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Yellow]				[Green]				[Red]				[Green]			

Abbildung 25: Darstellung eines beispielhaften Ergebnisdatenblatts; Quelle: eigene Darstellung

- Auf diese Weise kann der Einfluss von Bauweise, Nutzung, Standort, Klimaszenario und Maßnahmen untereinander verglichen werden.

- Die Kühltauglichkeit bewertet, ob mit einer Kühlleistung von 20 W/m² die ermittelte Kühllast abgeführt werden kann. Mit der Kühlhäufigkeit wird eine Aussage hinsichtlich der Betriebszeit während der Kühlperiode getroffen.
- Es wurde ergänzend ein Mehrzonenmodell erarbeitet, das die Ansätze aus dem Einzonenmodell berücksichtigt (s. 5.2).
- Zusätzlich wurde ein Vergleich marktüblicher Technologien für Wohngebäude vorgenommen (s. 4.4).
- Die zuvor entwickelte Methode wurde für die Bewertung ausgewählter Technologien angewendet.

Fazit

- Die Klimaveränderungen können grundsätzlich zu einer Verschlechterung der Behaglichkeit bzw. des Komforts in Wohnräumen führen. Es besteht sogar zunehmend die Gefahr, dass sich während Hitzeepisoden gesundheitsschädliche Zustände in Wohnräumen einstellen können.
- Die Ausprägung der Veränderungen ist jedoch abhängig von der Bauweise, der Nutzung sowie des Gebäudestandorts/Klimaregion.
- Die verwendeten Klimaszenarien zeigen, dass eine stärkere Auswirkung in klimaheißen Regionen zu erwarten ist.
- Die Maßnahmenkombination aus Nachtlüftung und außenliegendem Sonnenschutz zeigt grundsätzlich die größte Wirkung.
- Die Möglichkeit der Nachtlüftung ist jedoch nicht grundsätzlich gegeben. Beispielsweise an Gebäudestandorten mit einem hohen Außenlärmpegel ist diese bei Schlafräumen in der Regel nicht anwendbar.
- Die Wirksamkeit des außenliegenden Sonnenschutzes hängt von dessen Aktivierungsgrad ab. Das im Rahmen der Simulationsberechnungen modellierte Nutzungsverhalten geht von einer nicht präventiv handelnden Nutzer:in aus. Dies ist auch ursächlich für das auffällige hohe Verbesserungsmaß, wenn eine strahlungsintensitätsabhängige Sonnenschutzsteuerung anstelle der manuellen Steuerung in den Simulationsrechnungen berücksichtigt wird.
- Eine automatisierte Sonnenschutzsteuerung kann jedoch durch die Nutzer:in auch übersteuert werden.
- Auch in Verbindung mit einer Gebäudekühlung sind passive Maßnahmen zu berücksichtigen. Diese verringern die Laufzeit der Kältemaschine. Weiters kann durch die Berücksichtigung passiver Maßnahmen die erforderliche Kälteleistung reduziert und damit Kosten minimiert werden.
- Die Leistung von Flächenkühlssystemen ist aus unterschiedlichen Gründen begrenzt. Auch dies ist ein Grund dafür, dass ausreichend passive Maßnahmen zu berücksichtigen sind.
- Auch kann dadurch insbesondere während der Hitzeperiode der Deckungsanteil einer passiven Kühlung (Free cooling) erhöht werden.
- Die unterschiedlichen Nutzungsprofile innerhalb einer Wohnung zeigen einen deutlichen Einfluss auf die Behaglichkeitsbewertung. Allerdings ist nutzungsspezifische Auslegung der Räume einer Wohnung nicht unbedingt praxisgerecht, da die Nutzer:in eine andere Belegung wählen kann.
- Eine differenzierte Bewertung nach Jahr und Hitzeperiode ist erforderlich, um den zunehmenden Extremwetterereignissen infolge der Klimaveränderungen Rechnung zu tragen.
- Eine Anpassung des Anforderungswertes in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ist in ungekühlten Wohngebäuden gegenüber einem festen Grenzwert den Vorzug zu geben, da durch eine

angepasste Erwartungshaltung der Nutzer:in an den Komfort angemessenere Lösungen gefunden werden können.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standortrandbedingungen der untersuchten Standorte	311
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Monatsmitteltemperaturen basierend auf ÖNORM B 8110-5 und der Werte aus den Klimadatensätzen nach Meteororm Version 8	322
Tabelle 3: Gegenüberstellung der monatlichen Globalstrahlungssummen basierend auf ÖNORM B 8110-5 und der Werte aus den Klimadatensätzen nach Meteororm Version 8	333
Tabelle 4: Definition von nachfolgend verwendeten Klimaindizes; Quelle: Endbericht. ÖKS 15 – Klimaszenarien für Österreich, S. 15f.....	344
Tabelle 5: Auswertung von Klimaindizes für die Standorte Salzburg und St. Pölten und verschiedene Klimarandbedingungen; oben: Absolutwerte; unten: relative Veränderung zur Gegenwart	366
Tabelle 6: Parameterpriorisierung mittels Educated Guess	38
Tabelle 7: Vorschau auf in der Untersuchung behandelte Varianten	400
Tabelle 8: Kaskadierung der abgebildeten passiven Maßnahmen	400
Tabelle 9: Bewertungskriterien für den Fall, dass keine Gebäudekühlung installiert ist („oK“ = ohne Kühlung)	444
Tabelle 10: Bewertungsgrundlage für die Kategorien I bis III mit θ_o = operative Innentemperatur und θ_m = gleitender Mittelwert der Außentemperatur, beides in ° C; Quelle: EN 16798-1.....	444
Tabelle 11: Bewertungskriterien für Gebäude mit Gebäudekühlung („mK“ = mit Kühlung).....	455
Tabelle 12: Gegenüberstellung einer Auswertung der ÜTH(365) mit der Bewertungsmethodik nach EN 16798-1 mit öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahren	476
Tabelle 13 Auswertung des Teillastfaktors für die Variante WoKü_L_053_O_50%_NL während des Kühlbetriebs über den Zeitraum der Kühlperiode	900
Tabelle 14 Auswertung des Teillastfaktors für die Variante WoKü_L_053_O_50%_NL während des Kühlbetriebs über den Zeitraum der Hitzeperiode	922
Tabelle 15 Norn-Nennbedingungen nach EN 14511-2 für den Kühlbetrieb ausgewählter Wärmeträger-Kombinationen	977
Tabelle 16 Technologieabhängige Kälteleistungszahlen EER für wasser- und luftgekühlte Kompressionskältemaschinen nach ÖNORM H 5058-1 und DIN V 18599-7	988
Tabelle 17: Gesamtenergiedurchlassgrade für äußere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen (ÖNORM B 8110-6-1).....	114
Tabelle 18: Gesamtenergiedurchlassgrade für innere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen (ÖNORM B 8110-6-1).....	114
Tabelle 19: Abfolge passiver Maßnahmen zur Gebäudekühlung.....	115
Tabelle 20: Grobe Übersicht untersuchter Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpakete.....	116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 112: Leistungsbereiche der befragten Personen.....	11
Abbildung 113: Fragenbereich - Klimawandel	12
Abbildung 114: Fragenbereich - Klimaresiliente Planung	12
Abbildung 115: Fragenbereich - Passive Maßnahmen	13
Abbildung 116: Fragenbereich - Passive Maßnahmen nach Bundesländern	13
Abbildung 117: Fragenbereich - Aktive Maßnahmen	14
Abbildung 118: Fragenbereich - Potenzial aktiver Kühlsysteme ...	14
Abbildung 8: Fragenbereich – Kühlgrenzbedingungen (Anm: 4-6 Grad Delta bedeutet 4-6 Grad Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur)	15
Abbildung 119: Fragenbereich – Bewertung (Anm.: SFP = Seasonal Performance Factor (Jahresarbeitszahl)	15
Abbildung 120: Fragenbereich – Feedback Nutzer:innen ...	16
Abbildung 121: Fragenbereich – Hemmnisse	16
Abbildung 122: Fragenbereich – Gesetzgebung/Förderung	17
Abbildung 123: Fragenbereich – Trends/Marktpotenzial	17
Abbildung 124: Fragenbereich – Forschung	18
Abbildung 125: Themenfeld – Nutzer:innenverhalten – Ergebnisse am Whiteboard	19
Abbildung 126: Themenfeld – Passive Maßnahmen – Ergebnisse am Whiteboard	21
Abbildung 127: Themenfeld – Aktive Maßnahmen - – Ergebnisse am Whiteboard	23
Abbildung 18: Themenfeld – Thermische Gebäudesimulation – Ergebnisse am Whiteboard	24
Abbildung 19: Durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung mit Hervorhebung von Wohnformen, die dem Wohnbau zuzuordnen sind, und der in der Untersuchung behandelten Standorte; Quelle: nach Statistik Austria (2021)	277
Abbildung 20: Ausgabeform für die Auswertung eines Klimadatensatzes. Weitere Auswertungen im Anhang; Quelle: eigene Darstellung.....	355
Abbildung 21: Bildung von Basisvarianten für die Simulationsbetrachtung über die identifizierten Hauptparameter; Quelle: eigene Darstellung	39
Abbildung 22: Pfad einer Simulationsvariante entlang aller Abfragen; Quelle: eigene Darstellung ...	422
Abbildung 23: Schematischer Aufbau der Geschoßdecke mit Lage der Rohrleitungen und erforderliche Vorlauf-temperaturen [°C] bei 20 W/m ² Kühlleistung; Baustoffdaten (Schichtdicke, Rohdichte, Wärmeleitung und -kapazität) entsprechend den Bauteilaufbauten im Simulationsmodell (siehe Anhang) bzw. anhand handelsüblicher Produkte für die Bodenbeläge; Quelle: eigene Darstellung..	433

Abbildung 24: Darstellung eines beispielhaften Jahresverlaufs der operativen Raumtemperatur (grau) und der Temperaturgrenze der Kategorie III nach EN 16798-1	455
Abbildung 25: Darstellung der Simulationsauswertungen in einer Ergebnisübersicht; Abkürzungen: SSV = Sonnenschutzvorrichtung, SSSt = Sonnenschutzsteuerung; Quelle: eigene Darstellung	500
Abbildung 26: Einzonenmodell mit Bemaßung, wobei die Breite des Fensters variieren kann; Quelle: eigene Darstellung.....	511
Abbildung 27: Tageszeitabhängige Anwesenheit der Nutzer:innen bei Wohnnutzung nach ÖNORM 8110-3; Quelle: eigene Darstellung.....	522
Abbildung 28: Tageszeitabhängige Anwesenheit der Nutzer:innen bei Wohnnutzung nach EN 16798-1; Abkürzungen: WT = Werktag; WE = Wochenende; Quelle: eigene Darstellung	522
Abbildung 29: Tageszeitabhängig anfallende Wärmelasten aus Geräten bei Wohnnutzung nach ÖNORM 8110-3; Quelle: eigene Darstellung	533
Abbildung 30: Tageszeitabhängig anfallende Wärmelasten aus Geräten bei Wohnnutzung nach EN 16798-1; Quelle: eigene Darstellung	533
Abbildung 31: Generierter Belegungsplan für die Personenanwesenheit; Quelle: eigene Darstellung	544
Abbildung 32: Jahresgerätelastprofil für die Gesamtwohnung; Quelle: eigene Darstellung.....	56
Abbildung 33: Tägliche Wärmeeinträge aus Personen- und Geräthewärmeleistung für die Wohnküche; Quelle: eigene Darstellung	57
Abbildung 34: Tägliche Wärmeeinträge aus Personen- und Geräthewärmeleistung für das Schlafzimmer; Quelle: eigene Darstellung	57
Abbildung 35: Tägliche Wärmeeinträge aus Personen- und Geräthewärmeleistung für das Kinderzimmer; Quelle: eigene Darstellung.....	58
Abbildung 36: Grundstruktur für die Entwicklung von Lüftungsprofilen; Quelle: eigene Darstellung....	60
Abbildung 37: Im Simulationsprogramm hinterlegtes Lüftungsregime für die Raumnutzung "Wohnküche"; Quelle: IDA ICE, modifiziert.....	61
Abbildung 38: Im Simulationsprogramm hinterlegtes Lüftungsregime für die Raumnutzung "Schlafzimmer"; Quelle: IDA ICE, modifiziert	62
Abbildung 39: Grundstruktur für die Entwicklung des Sonnenschutzprofils; Quelle: eigene Darstellung	64
Abbildung 40: Im Simulationsprogramm hinterlegtes Sonnenschutzregime für alle Raumnutzungen; Quelle: IDA ICE, modifiziert.....	65
Abbildung 41: Beispielhaftes Ergebnisdatenblatt für einen spezifischen Betrachtungsfall (linke obere Ecke); Quelle: eigene Darstellung	66
Abbildung 42: Ergebnispaaere der siebentägigen und der ganzjährigen Überschreitungshäufigkeit aller untersuchten Varianten und Darstellung der Toleranzgrenzen nach ISO 17772-2:2018 (rote Linien) sowie der verwendeten (grüne und gelbe Felder) Überschreitungstoleranzen für sieben Tage und für ein Jahr; Quelle: eigene Darstellung	68
Abbildung 43: Variantenergebnisse für eine Raumnutzung als Wohnküche; Quelle: eigene Darstellung	69
Abbildung 44: Variantenergebnisse für eine Raumnutzung als Schlafzimmer, wobei alle Werte für $\dot{U}TH_{365,ok}$, die einen Wert von 24 % überschreiten, zur Darstellung auf diesen Wert normiert wurden; Quelle: eigene Darstellung	70
Abbildung 45: Variantenergebnisse für eine Raumnutzung als Kinderzimmer; Quelle: eigene Darstellung	71
Abbildung 46: Variantenergebnisse für den Standort Salzburg (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	72

Abbildung 47: Variantenergebnisse für den Standort St. Pölten (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	72
Abbildung 48: Variantenergebnisse für den gegenwärtigen Betrachtungszeitraum (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	73
Abbildung 49: Variantenergebnisse für den Betrachtungshorizont 2050 (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	73
Abbildung 50: Variantenergebnisse für schwere Bauweise (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	74
Abbildung 51: Variantenergebnisse für leichte Bauweise (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	75
Abbildung 52: Variantenergebnisse bei 25 % Fensterflächenanteil (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	76
Abbildung 53: Variantenergebnisse bei 50 % Fensterflächenanteil (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	76
Abbildung 54: Variantenergebnisse bei süd-orientierter Fassade (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	77
Abbildung 55: Variantenergebnisse bei west-orientierter Fassade (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	78
Abbildung 56: Variantenergebnisse bei ost-orientierter Fassade (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	78
Abbildung 57: Ergebnisdarstellung für den Fall „Wohnküche leicht 0,53 Süd 50 %“, die beispielhaft den hohen Einfluss der automatischen Sonnenschutzsteuerung zur Vermeidung von Überhitzung und zur Minimierung des Kühlaufwands dokumentiert; Quelle: eigene Darstellung.....	79
Abbildung 58: Eine Betrachtung der zuvor behandelten Variante zeigt für den 2. Juni keine Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung im Falle einer manuellen Bedienung aufgrund der Unterschreitung des Schwellenwertes von 250 W/m ² für die Direktstrahlungsleistung (Punktlinie); Quelle: eigene Darstellung.....	80
Abbildung 59: Im Falle einer automatischen Sonnenschutzsteuerung ist die Sonnenschutzvorrichtung bei derselben Ausgangssituation von morgens bis in den Nachmittag aufgrund der Überschreitung des Schwellenwertes von 150 W/m ² Gesamtstrahlungsleistung (Punktlinie) hinein aktiviert; Quelle: eigene Darstellung.....	80
Abbildung 60: Variantenergebnisse ohne Sonnenschutzvorrichtung (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	81
Abbildung 61: Variantenergebnisse bei innenliegender Sonnenschutzvorrichtung (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	82
Abbildung 62: Variantenergebnisse bei außenliegender Sonnenschutzvorrichtung mit manueller Bedienung (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	82
Abbildung 63: Variantenergebnisse bei außenliegender Sonnenschutzvorrichtung mit automatischer Sonnenschutzsteuerung (Raumnutzung Wohnküche); Quelle: eigene Darstellung.....	83
Abbildung 64: Variantenergebnisse bei angesetzter Nachtlüftung (alle Raumnutzungen); Quelle: eigene Darstellung.....	84
Abbildung 65: Variantenergebnisse ohne Nachtlüftung (alle Raumnutzungen); Quelle: eigene Darstellung.....	84
Abbildung 66: Kühlbedarf nach Gebäudekategorien unter den Klima-Annahmen von RCP8.5-hot, Österreich 2030 bis 2050; Quelle: [Klima- und Energiefonds, Zukünftige Entwicklung der Raumkühlung durch Klimawandel bis 2050, Wien, 2022].....	85
Abbildung 67: Kreisprozess einer Kompressionskältemaschine [Maurer, T.: Kältetechnik für Ingenieure. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GmbH, 2016].....	86

Abbildung 68: Fernkältesysteme in Europäischen Großstädten (aus: The World Factbook-CIA) [Panos Konstantin, Margarete Konstantin; Praxisbuch der Fernwärme- und Fernkälteversorgung Systeme, Netzaufbauvarianten, Kraft-Wärme- und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Kostenstrukturen und Preisbildung, 2.Auflage; Springer Vieweg, 2022]	88
Abbildung 69: Ergebnisdatenblatt für die Basisvariante Wohnküche leicht g = 0,53 Ost 50% Fensterflächenanteil; Quelle: eigene Darstellung	89
Abbildung 70: Geordnete Dauerline der Kühlleistung und der Teillastfaktoren der Variante WoKü_L_053_O_50%_NL für beide Gebäudestandorte und Klimaszenarien über den Auswertzeitraum der Kühlperiode ; Quelle: eigene Darstellung	90
Abbildung 71: Geordnete Dauerline der Kühlleistung und der Teillastfaktoren der Variante WoKü_L_053_O_50%_NL für beide Gebäudestandorte und Klimaszenarien über den Auswertzeitraum der Hitzeepisode ; Quelle: eigene Darstellung.....	91
Abbildung 72: Vergleich des Kennwertes der Kühlhäufigkeit während der Kühlperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	91
Abbildung 73: Vergleich des Kennwertes der Kühlhäufigkeit während der Hitzeepisode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	91
Abbildung 74: Vergleich des Kennwertes der Kühltauglichkeit während der Kühlperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	93
Abbildung 75: Vergleich des Kennwertes der Kühltauglichkeit während der Hitzeepisode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	93
Abbildung 76: Relativer Vergleich des Kühlbedarfs während der Kühlperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	94
Abbildung 77: Relativer Vergleich des Kühlbedarfs während der Kühlperiode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Klimaszenarien und die Gebäudestandorte Salzburg (links) sowie St. Pölten (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	94
Abbildung 78: Relativer Vergleich des Kühlbedarfs während der Hitzeepisode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Gebäudestandorte und die Klimaszenarien 2019 (links) sowie 2050 (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	95
Abbildung 79: Relativer Vergleich des Kühlbedarfs während der Hitzeepisode für die Basisvariante WoKü_L_053_O_50% für beide Klimaszenarien und die Gebäudestandorte Salzburg (links) sowie St. Pölten (rechts) für alle Maßnahmen (NL: Nachtlüftung, IL: innenliegender Sonnenschutz; AL: außenliegender Sonnenschutz, SSt: Sonnenschutzsteuerung); Quelle: eigene Darstellung	95
Abbildung 80: Schematische Darstellung der Komponenten eines Gebäudekühlsystems; Quelle: eigene Darstellung.....	96
Abbildung 81: Vereinfachte Darstellung des Energieflusses einer Kompressionskältemaschine	97
Abbildung 82: Marktanteile der Wärmequellsysteme bis 2022 von jeweils neu installierten Heizungswärmepumpen im Inlandsmarkt Quelle: ENFOS (2023); Grafik aus [P. Biermayr, E. Prem; Wärmepumpen Marktentwicklung 2022, Innovative Energietechnologien in Österreich; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien, 2023]	99

Abbildung 83: Stichprobenhafte Auswertung produktspezifischer Kälteleistungszahlen von reversiblen Luft/Wasser-Wärmepumpen für Temperaturen am Innenwärmeübertrager von 7°C (links) und 18°C (rechts) [eigene Darstellung]	99
Abbildung 84: Vereinfachte Darstellung des Energieflusses an einer Fernkälteübergabestation.....	101
Abbildung 85: 3-dimensionales fiktives Wohnungsmodell (IDA ICE).....	102
Abbildung 86: Entwicklung durchschnittliche Oberflächentemperatur (IPCC, 2014: <i>Climate Change 2014: Synthesis Report</i>)	103
Abbildung 87: jährliche CO ₂ -Emissionen nach Szenarien (IPCC, 2014: <i>Climate Change 2014: Synthesis Report</i>)	103
Abbildung 88: IST-Klima und Klimaszenario RCP 2.6 2050 für den Standort St. Pölten	104
Abbildung 89: Außentemperaturvergleich einer Sommerwoche (09.07. – 15.07.) für den Standort St. Pölten, IST-Klima und 2050.....	105
Abbildung 90: IST-Klima und Klimaszenario RCP 2.6 2050 für den Standort Salzburg.....	105
Abbildung 91: Komfortkategorien des adaptiven Komfortmodells gemäß ÖNORM EN 16798-1 für Gebäude ohne maschinelle Kühlung (adaptiert).....	107
Abbildung 92: Komfort-Kategorien I bis III im Jahresverlauf (IST-Klima, St. Pölten).....	108
Abbildung 93: Komfort-Kategorien und überlagerte Außenlufttemperatur im Jahresverlauf (IST-Klima, St. Pölten).....	108
Abbildung 94: Vergleich der Temperaturgrenzen gemäß ÖNORM B 8110-3 vs. adaptives Komfortmodell mit Kategorie III nach ÖNORM EN 16798-1 für den Standort St. Pölten	1099
Abbildung 95: Beispielberechnung der Kelvinstunden über adaptiver Komfortgrenze der Kategorie III	11010
Abbildung 96: Grundriss Erdgeschoß (links) und Obergeschoß (rechts) des Wohnungsmodells; hervorgehoben die Zone 5 – Wohnküche	1111
Abbildung 97: 3D-Ansicht des Modells aus Süd-Ost	111
Abbildung 98: Lüftungsprofil Wohnküche.....	112
Abbildung 99: Lüftungsprofil Kinderzimmer.....	113
Abbildung 100: Lüftungsprofil Schlafzimmer	113
Abbildung 101: Standortvergleich St. Pölten mit Salzburg, Mindestbefensterung gemäß OIB RL3:2019, IST-Klima und Klimaszenario 2050	118
Abbildung 102: Vergleich Mindestbefensterung vs. 25% der Fassadenfläche, IST-Klima und Klimaszenario 2050	119
Abbildung 103: Vergleich schwere (SBW) vs. leichte (LBW) Bauweise, IST-Klima und Klimaszenario 2050.....	120
Abbildung 104: Vergleich Kippstellung vs. Fenster ganz geöffnet, IST-Klima und Klimaszenario 2050	121
Abbildung 105: Vergleich innenliegender vs. außenliegender bzw. manueller vs. automatisierter Sonnenschutz, IST-Klima und Klimaszenario 2050	122
Abbildung 106: Potentialvergleich automatisierter Verschattung und Nachtlüftung bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen, IST-Klima und Klimaszenario 2050	123
Abbildung 107: Vergleich unterschiedlicher Fensterflächenanteile bei automatisierter Verschattung zur Einhaltung der Komfortgrenze der Kategorie II unter Ansatz einer max. Kühlleistung von 20 W/m ² , IST-Klima und Klimaszenario 2050	124
Abbildung 108: Nicht deckbarer Restkühlenergiebedarf bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen und automatisierter Verschattung zur Einhaltung der Komfortgrenze der Kategorie II, IST-Klima und Klimaszenario 2050	124
Abbildung 109: Zonierung des Wohnungsmodells mit Fensteranzahl und -anordnung	125

Abbildung 110: Einfluss von Raumnutzungsprofilen, IST-Klima und Klimaszenario 2050	125
Abbildung 111: Kaskadierung passiver Maßnahmen zur Gebäudekühlung, IST-Klima und Klimaszenario 2050	126

Literaturverzeichnis

Biermayr Peter, Prem Evelyne (2023). *Wärmepumpen Marktentwicklung 2022. Innovative Energietechnologien in Österreich*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Wien.

Boos, Ralf & Damberger, Bernhard & Hutter, Hans-Peter & Kundi, Michael & Moshhammer, Hanns & Tsappler, Peter & Twrdik, Felix & Wallner, Peter (2011). *Bewertung der Innenraumluft. Physikalische Faktoren. Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter*.

IEA International Energy Agency (2022). *World Energy Outlook 2022*.

Klima- und Energiefonds (2022). *ZEN Zukünftige Entwicklung der Raumkühlung durch Klimawandel bis 2050*. Wien.

Konstantin Panos & Konstantin Margarete (2022). *Praxisbuch der Fernwärme- und Fernkälteversorgung Systeme, Netzaufbauvarianten, Kraft-Wärme- und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Kostenstrukturen und Preisbildung*. 2.Auflage. Springer Vieweg.

Maurer, Thomas (2016). *Kältetechnik für Ingenieure*. Berlin, Offenbach. VDE Verlag GmbH.

Meteonorm (ohne Jahr). *Meteonorm Version 8*. Online verfügbar: <https://meteonorm.com/meteonorm-version-8>; letzter Aufruf: 28.07.2023, 16:45

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2022). *Gebäudereport 2022*.

Ohne Autor, ohne Jahr. *Endbericht. ÖKS 15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten – Methoden – Klimaanalyse*.

Passivhaus Institut. *Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)*. Online verfügbar: https://passiv.de/de/04_phpp/04_phpp.htm#PH9; letzter Aufruf: 28.07.2023, 16:45

Rouvel, Lothar (1984). *Wärmegewinne in Wohnungen aufgrund innerer Wärmequellen. Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik – gi. Heft 3*.

Schäppi, Bernd & Bogner, Thomas & Hauer, Karin (2019). *Energie und Kosten sparen bei Haushaltsgeräten. Tipps für Kauf und Nutzung*. Wien. ISBN 978-3-903129-92-4.

Schmidt, D.; Goetschkes, C.; Pollerberg, C.: *Kältetechnik in Deutschland – Steckbriefe zu Kältetechnologien*, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen, 2020.

Statistik Austria (2021). *Tabellenband Wohnen 2021*. Online verfügbar: https://www.statistik.at/fileadmin/pages/350/tabellenband_wohnen_2021.ods; letzter Aufruf: 22.06.2023, 15:00

Statistik Austria (2022). *WOHNEN. Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik*. Online verfügbar: <https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Wohnen-2021.pdf>; Letzter Aufruf: 22.06.2023, 14:50

Wien Energie (ohne Jahr). *Fernkälte*. Online verfügbar: <https://www.wienenergie.at/ueber-uns/unternehmen/energie-klimaschutz/energieerzeugung/fernkaelte>; letzter Aufruf: 28.07.2023, 16:45

Wosnitza, Franz & Hilgers, Hans Gerd (2012). *Energieeffizienz und Energiemanagement: Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten*. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag.

Zhang, Chen & Kazanci, Berk & Levinson, Ronnen & Heiselberg, Per & Olesen, Bjarne & Chiesa, Giacomo & Sodagar, Behzad & Ai, Zhengtao & Selkowitz, Stephen & Zinzi, Michele & Mahdavi, Ardeshir

& Teuffl, Helene & Kolokotroni, Maria & Salvati, Agnese & Bozonnet, Emmanuel & Chtioui, Feryal & Salagnac, Patrick & Ra-hif, Ramin & Attia, Shady & Zhang, G. (2021). Resilient cooling strategies – A critical review and qualitative assessment. *Energy and Buildings*.

Anhang

A.1. Rechenrandbedingungen

Berechnungszeitraum	Die Simulationsberechnung beginnt am 1. Januar, 00H00 und endet am 31. Dezember, 24H00 für ein Jahr mit 365 Tagen. Der erste Wochentag ist ein Montag. Eine Differenzierung in Arbeitstage und Wochenendtage wird nicht durchgeführt.
Berechnungszeitschritte	Die Länge eines Berechnungszeitschrittes wird auf maximal 1/10 h festgelegt.
Erdreichberührte Bauteile	Erdreichberührte Bauteile kommen bei den betrachteten Modellräumen nicht vor.
Temperaturen in angrenzenden Bereichen	Die Innenbauteile werden als adiabat betrachtet.
Einrichtungsgegenstände	Die Wärmespeicherfähigkeit von im Raum befindlichen Einrichtungsgegenständen wird im Rahmen der Simulationsberechnungen nicht berücksichtigt.
Umgebung	Es wird kein Einfluss der Topographie, des Windes und der umgebenden Bebauung auf den solaren Eintrag und den Luftaustausch berücksichtigt. Dies gilt auch für Fensterleibungen und -stürze. Bei Sonnenschutzvorrichtungen wird eine windunabhängige Betriebsweise betrachtet.
Betriebszeiten	Grundsätzlich ist der Betrieb gebäudetechnischer Anlagen auf folgende Zeiträume limitiert: Heizen: 01. Oktober bis 31. März Kühlen: 01. April bis 31. Oktober Raumluftechnische Anlage: keine Berücksichtigung Die Entscheidung, ob während der Betriebszeiträume geheizt oder gekühlt wird, erfolgt für jeden Zeitschritt automatisch beim Erreichen der Grenzwerte der Innenraumtemperatur für eine Aktivierung.
Sollwerte	Sollwerte der Innenraumtemperatur für den Heiz- und Kühlbetrieb: Heizen: 21 °C Kühlen: 26 °C
Freie Lüftung	Der Luftwechsel wird unabhängig von der Orientierung ermittelt. Es wird ein wind- und ein thermisch-induzierter Luftwechsel berücksichtigt. Der Volumenstrom wird unabhängig vom Öffnungsmaß mit einer Fensteröffnung von H x B = 1,30 m x 1,00 m berechnet. Die Infiltration wird mit einem n_{50} von $1,0 \text{ h}^{-1}$ berücksichtigt.
Wärmebrücken	Es wird kein Einfluss von Wärmebrücken berücksichtigt.
Simulationsprogramm	IDA ICE, Version 4.8

A.2. Auswertung Klimadatensätze

A.2.1 Gegenüberstellung der Monatsmitteltemperaturen aus den Klimadaten mit Normwerten

Vergleich der Temperatur- und Strahlungsdaten nach ÖNORM B 8110-5 und Meteonorm

Monatsmitteltemperaturen θ_e :

ÖNORM B 8110-5

Meteonorm Klimadatensätze

Datenbasis:

Messreihe Messreihe

1961 - 1990 2000 - 2019

Formel: $\theta_e = a + b \cdot h/100$ (5.2.1)

Standort: Region NF; h [m]: 435 Salzburg

SALZBURG	θ_e	a	b
Jänner	-0,8 °C	1,013	-0,423
Februar	1,1 °C	3,088	-0,458
März	5,1 °C	7,333	-0,521
April	9,7 °C	12,416	-0,613
Mai	14,0 °C	16,652	-0,602
Juni	17,4 °C	20,047	-0,610
Juli	19,2 °C	21,760	-0,597
August	18,6 °C	21,264	-0,607
September	15,3 °C	17,452	-0,495
Oktober	10,0 °C	11,752	-0,413
November	4,4 °C	6,499	-0,486
Dezember	0,4 °C	2,868	-0,566
Jahr (Mittel)	9,5 °C		

θ_e	θ_e
-1,4 °C	-0,4 °C
0,5 °C	1,1 °C
4,5 °C	5,4 °C
8,6 °C	10,2 °C
13,4 °C	14,3 °C
16,1 °C	18,1 °C
18,3 °C	19,4 °C
17,9 °C	19,1 °C
14,6 °C	14,5 °C
9,7 °C	10,3 °C
4,0 °C	5,0 °C
0,0 °C	1,1 °C
8,9 °C	9,8 °C

Standort: Region N; h [m]: 282 St. Pölten

ST. PÖLTEN	θ_e	a	b
Jänner	-0,8 °C	0,352	-0,423
Februar	0,9 °C	2,181	-0,458
März	5,1 °C	6,523	-0,521
April	10,1 °C	11,802	-0,613
Mai	14,5 °C	16,220	-0,602
Juni	17,9 °C	19,630	-0,610
Juli	19,8 °C	21,509	-0,597
August	19,2 °C	20,942	-0,607
September	15,5 °C	16,940	-0,495
Oktober	9,9 °C	11,030	-0,413
November	4,3 °C	5,648	-0,486
Dezember	0,4 °C	2,007	-0,566
Jahr (Mittel)	9,7 °C		

θ_e	θ_e
-2,3 °C	0,2 °C
-0,1 °C	1,9 °C
4,3 °C	5,9 °C
9,4 °C	11,4 °C
14,2 °C	15,7 °C
17,0 °C	19,5 °C
19,3 °C	21,1 °C
18,9 °C	20,6 °C
14,9 °C	15,6 °C
9,6 °C	10,4 °C
3,7 °C	5,8 °C
-0,3 °C	1,3 °C
9,1 °C	10,8 °C

A.2.2 Gegenüberstellung der Globalstrahlungswerte aus den Klimadaten mit Normwerten

Vergleich der Temperatur- und Strahlungsdaten nach ÖNORM B 8110-5 und Meteonorm

Mittlere Monatssummen der Globlastrahlung I_s / G_h :

ÖNORM B 8110-5

Meteonorm Klimadatenätze

Datenbasis:

Messreihe Messreihe
1961 - 1990 1996 - 2015

Formel: $I_s = a_2 * h^2 + a_1 * h + a_0$ (5.2.2.1)
 I_s = Globalstrahlung horizontal

Formel: $G_h = D_h + B_n * \sin(h_s)$

G_h = Globalstrahlung horizontal

D_h = Diffusstrahlung horizontal

B_n = Direktnormalstrahlung

h_s = Sonnenhöhe über Horizont

Standort: Region NF; h [m]: 435 Salzburg

SALZBURG	I_s	a_2	a_1	a_0
Jänner	30 kWh/m ²	-3,2E-06	1,9E-02	2,3E+01
Februar	50 kWh/m ²	-3,3E-06	2,2E-02	4,1E+01
März	83 kWh/m ²	-4,5E-06	3,2E-02	7,0E+01
April	111 kWh/m ²	-1,1E-06	2,2E-02	1,0E+02
Mai	148 kWh/m ²	6,4E-06	-8,6E-03	1,5E+02
Juni	144 kWh/m ²	5,9E-06	-1,1E-02	1,5E+02
Juli	153 kWh/m ²	5,0E-06	-1,2E-02	1,6E+02
August	136 kWh/m ²	-2,1E-06	9,9E-03	1,3E+02
September	99 kWh/m ²	-2,6E-06	2,5E-02	8,9E+01
Oktober	65 kWh/m ²	-2,3E-06	1,9E-02	5,7E+01
November	33 kWh/m ²	-5,1E-06	2,6E-02	2,3E+01
Dezember	23 kWh/m ²	-3,0E-08	1,1E-02	1,8E+01
Jahr (Summe)	1075 kWh/m²			

G_h	G_h
32 kWh/m ²	33 kWh/m ²
48 kWh/m ²	48 kWh/m ²
84 kWh/m ²	84 kWh/m ²
109 kWh/m ²	111 kWh/m ²
140 kWh/m ²	145 kWh/m ²
142 kWh/m ²	144 kWh/m ²
150 kWh/m ²	150 kWh/m ²
129 kWh/m ²	132 kWh/m ²
96 kWh/m ²	95 kWh/m ²
65 kWh/m ²	65 kWh/m ²
33 kWh/m ²	32 kWh/m ²
25 kWh/m ²	24 kWh/m ²
1052 kWh/m²	1063 kWh/m²

Standort: Region N; h [m]: 282 St. Pölten

ST. PÖLTEN	I_s	a_2	a_1	a_0
Jänner	26 kWh/m ²	5,1E-06	6,2E-04	2,6E+01
Februar	47 kWh/m ²	8,5E-06	-6,1E-03	4,8E+01
März	80 kWh/m ²	1,3E-05	-1,3E-02	8,3E+01
April	115 kWh/m ²	1,1E-05	-1,2E-02	1,2E+02
Mai	156 kWh/m ²	9,4E-06	-2,4E-02	1,6E+02
Juni	157 kWh/m ²	1,3E-05	-3,9E-02	1,7E+02
Juli	159 kWh/m ²	-5,0E-07	-1,5E-02	1,6E+02
August	140 kWh/m ²	-7,1E-06	4,8E-03	1,4E+02
September	98 kWh/m ²	9,3E-06	-8,9E-03	1,0E+02
Oktober	62 kWh/m ²	1,2E-05	-1,5E-02	6,5E+01
November	29 kWh/m ²	7,3E-06	-2,3E-03	2,9E+01
Dezember	20 kWh/m ²	5,2E-06	-4,0E-04	1,9E+01
Jahr (Summe)	1090 kWh/m²			

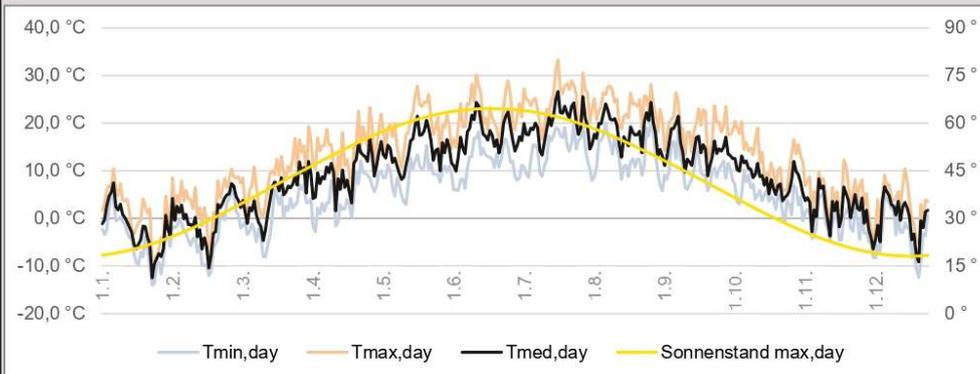
G_h	G_h
29 kWh/m ²	28 kWh/m ²
50 kWh/m ²	50 kWh/m ²
93 kWh/m ²	93 kWh/m ²
127 kWh/m ²	127 kWh/m ²
152 kWh/m ²	152 kWh/m ²
166 kWh/m ²	166 kWh/m ²
167 kWh/m ²	167 kWh/m ²
147 kWh/m ²	147 kWh/m ²
99 kWh/m ²	99 kWh/m ²
63 kWh/m ²	63 kWh/m ²
33 kWh/m ²	32 kWh/m ²
24 kWh/m ²	24 kWh/m ²
1150 kWh/m²	1149 kWh/m²

A.2.3 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort St. Pölten bei historischen Klimadaten

Auswertungen Klimadatenatz

Standort und Klimaszenario: St. Pölten 1961-1990, 48,2°N, 15,6°O, 282 m ü. NN

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
-2,3 °C	-0,1 °C	4,3 °C	9,4 °C	14,2 °C	17,0 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
19,3 °C	18,9 °C	14,9 °C	9,6 °C	3,7 °C	-0,3 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkenndaten:

Anzahl an Sommertagen:	39	Maximale stündl. Temperatur:	33,3 °C
Anzahl an Hitzetagen:	4	Mittlere Jahrestemperatur:	9,1 °C
Anzahl an Tropennächten:	3	Minimale stündl. Temperatur:	-14,0 °C
Anzahl an Hitzewellen:	0	Mittlere absolute Luftfeuchte:	7,0 g/m ³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	0	Mittlere relative Luftfeuchte:	74,6 %
Anzahl an Frosttagen:	104	Globalstrahlung in kWh/(m ² a):	1 150
Anzahl an Eistagen:	26	Anzahl an Vegetationstagen:	239

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

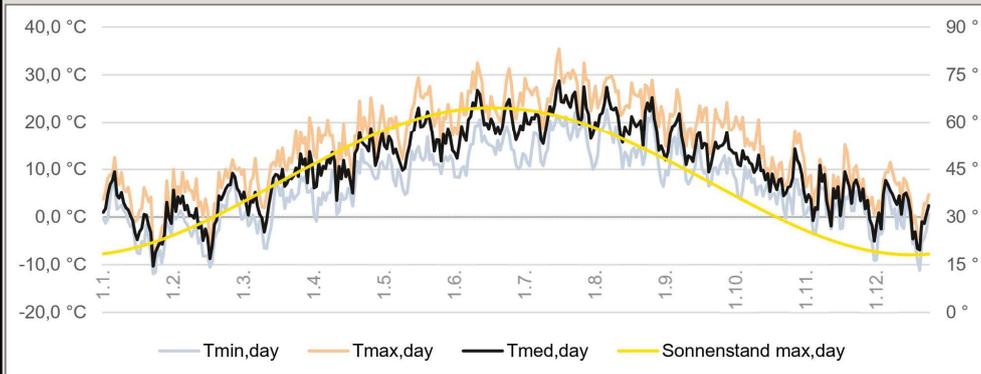
Erstellt am: 05.06.2023

A.2.4 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort St. Pölten bei gegenwärtigen Klimadaten

Auswertungen Klimadatenatz

Standort und Klimaszenario: St. Pölten 2000-2019, 48,2°N, 15,6°O, 282 m ü. NN

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
-0,1 °C	1,5 °C	5,8 °C	11,2 °C	15,8 °C	19,4 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
21,4 °C	20,9 °C	15,4 °C	10,4 °C	5,6 °C	1,1 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkennndaten:

Anzahl an Sommertagen:	63	Maximale stündl. Temperatur:	35,4 °C
Anzahl an Hitzetagen:	10	Mittlere Jahrestemperatur:	10,8 °C
Anzahl an Tropennächten:	11	Minimale stündl. Temperatur:	-11,9 °C
Anzahl an Hitzewellen:	0	Mittlere absolute Luftfeuchte:	7,6 g/m ³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	0	Mittlere relative Luftfeuchte:	72,8 %
Anzahl an Frosttagen:	78	Globalstrahlung in kWh/(m ² a):	1 149
Anzahl an Eistagen:	16	Anzahl an Vegetationstagen:	260

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

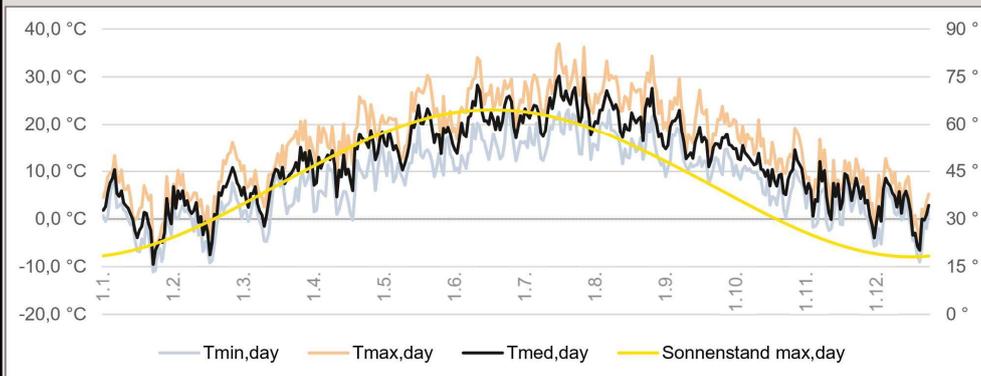
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.5 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort St. Pölten bei Klimaszenario RCP 2.6 mit Betrachtungshorizont 2050

Auswertungen Klimadatensatz

Standort und Klimaszenario: **St. Pölten RCP 2.6 (2050), 48,2°N, 15,6°O, 282 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
0,7 °C	2,9 °C	7,2 °C	12,2 °C	16,9 °C	20,7 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
22,9 °C	22,2 °C	16,9 °C	11,7 °C	6,8 °C	2,0 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkenndaten:

Anzahl an Sommertagen:	80	Maximale stündl. Temperatur:	36,9 °C
Anzahl an Hitzetagen:	17	Mittlere Jahrestemperatur:	12,0 °C
Anzahl an Tropennächten:	17	Minimale stündl. Temperatur:	-11,1 °C
Anzahl an Hitzewellen:	1	Mittlere absolute Luftfeuchte:	8,2 g/m³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	5	Mittlere relative Luftfeuchte:	72,8 %
Anzahl an Frosttagen:	62	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	1 213
Anzahl an Eistagen:	14	Anzahl an Vegetationstagen:	276

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

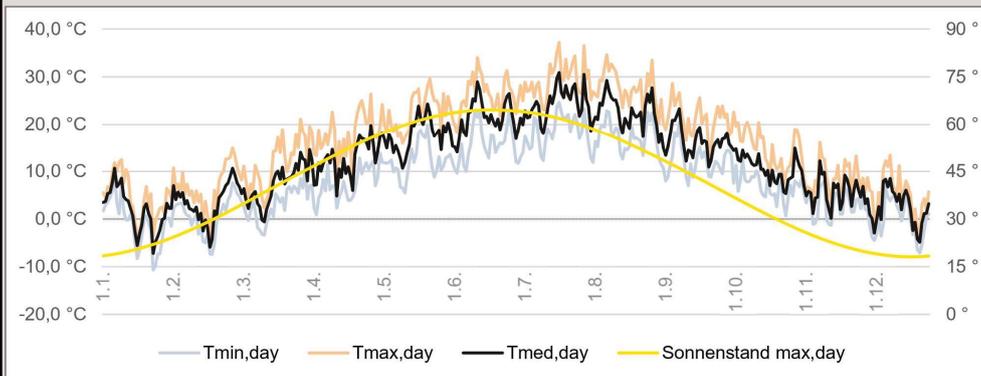
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.6 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort St. Pölten bei Klimaszenario RCP 4.5 mit Betrachtungshorizont 2050

Auswertungen Klimadatensatz

Standort und Klimaszenario: St. Pölten RCP 4.5 (2050), 48,2°N, 15,6°O, 282 m ü. NN

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1,7 °C	3,2 °C	7,0 °C	12,3 °C	17,1 °C	21,1 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
23,5 °C	23,2 °C	16,8 °C	11,6 °C	6,7 °C	2,6 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkenndaten:

Anzahl an Sommertagen:	93	Maximale stündl. Temperatur:	37,2 °C
Anzahl an Hitzetagen:	25	Mittlere Jahrestemperatur:	12,3 °C
Anzahl an Tropennächten:	24	Minimale stündl. Temperatur:	-10,7 °C
Anzahl an Hitzewellen:	4	Mittlere absolute Luftfeuchte:	8,4 g/m ³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	18	Mittlere relative Luftfeuchte:	72,7 %
Anzahl an Frosttagen:	52	Globalstrahlung in kWh/(m ² a):	1 194
Anzahl an Eistagen:	12	Anzahl an Vegetationstagen:	280

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

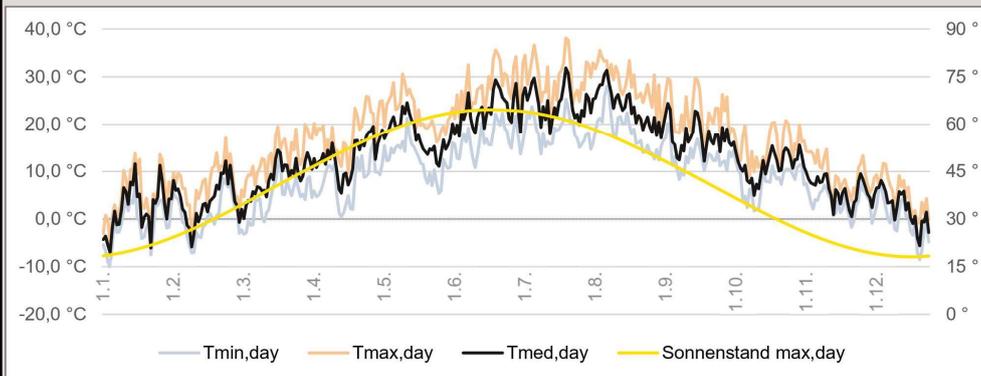
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.7 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort St. Pölten bei Klimaszenario RCP 8.5 mit Betrachtungshorizont 2050

Auswertungen Klimadatensatz

Standort und Klimaszenario: **St. Pölten RCP 8.5 (2050), 48,2°N, 15,6°O, 282 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1,9 °C	4,1 °C	7,6 °C	12,8 °C	17,5 °C	21,8 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
24,5 °C	24,3 °C	17,9 °C	12,2 °C	7,4 °C	3,1 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkennndaten:

Anzahl an Sommertagen:	96	Maximale stündl. Temperatur:	38,1 °C
Anzahl an Hitzetagen:	40	Mittlere Jahrestemperatur:	13,0 °C
Anzahl an Tropennächten:	29	Minimale stündl. Temperatur:	-10,0 °C
Anzahl an Hitzewellen:	4	Mittlere absolute Luftfeuchte:	8,7 g/m³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	22	Mittlere relative Luftfeuchte:	72,8 %
Anzahl an Frosttagen:	52	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	1 201
Anzahl an Eistagen:	8	Anzahl an Vegetationstagen:	290

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

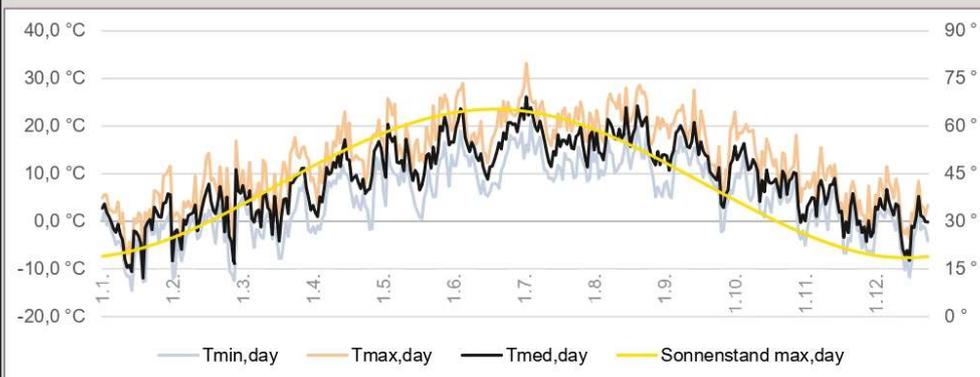
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.8 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort Salzburg bei historischen Klimadaten

Auswertungen Klimadatenatz

Standort und Klimaszenario: **Salzburg 1961-1990, 47,8°N, 13,0°O, 435 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
-1,4 °C	0,5 °C	4,5 °C	8,6 °C	13,4 °C	16,1 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
18,3 °C	17,9 °C	14,6 °C	9,7 °C	4,0 °C	0,0 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkennndaten:

Anzahl an Sommertagen:	<input type="text" value="30"/>	Maximale stündl. Temperatur:	<input type="text" value="33,2 °C"/>
Anzahl an Hitzetagen:	<input type="text" value="1"/>	Mittlere Jahrestemperatur:	<input type="text" value="8,9 °C"/>
Anzahl an Tropennächten:	<input type="text" value="1"/>	Minimale stündl. Temperatur:	<input type="text" value="-14,5 °C"/>
Anzahl an Hitzewellen:	<input type="text" value="0"/>	Mittlere absolute Luftfeuchte:	<input type="text" value="7,0 g/m³"/>
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	<input type="text" value="0"/>	Mittlere relative Luftfeuchte:	<input type="text" value="74,8 %"/>
Anzahl an Frosttagen:	<input type="text" value="105"/>	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	<input type="text" value="1 052"/>
Anzahl an Eistagen:	<input type="text" value="17"/>	Anzahl an Vegetationstagen:	<input type="text" value="239"/>

Datenstand: Meteororm 8 (2022)

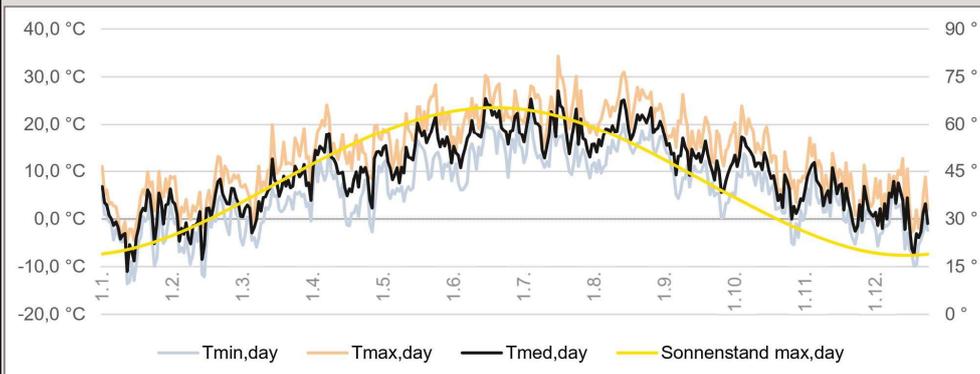
Erstellt am: 05.06.2023

A.2.9 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort Salzburg bei gegenwärtigen Klimadaten

Auswertungen Klimadatenatz

Standort und Klimaszenario: **Salzburg 2000-2019, 47,8°N, 13,0°O, 435 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
-0,5 °C	1,0 °C	5,4 °C	10,0 °C	14,4 °C	17,9 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
19,4 °C	19,1 °C	14,3 °C	10,4 °C	4,9 °C	1,2 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkennndaten:

Anzahl an Sommertagen:	38	Maximale stündl. Temperatur:	34,3 °C
Anzahl an Hitzetagen:	6	Mittlere Jahrestemperatur:	9,8 °C
Anzahl an Tropennächten:	5	Minimale stündl. Temperatur:	-13,6 °C
Anzahl an Hitzewellen:	0	Mittlere absolute Luftfeuchte:	7,2 g/m³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	0	Mittlere relative Luftfeuchte:	73,3 %
Anzahl an Frosttagen:	88	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	1 063
Anzahl an Eistagen:	17	Anzahl an Vegetationstagen:	253

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

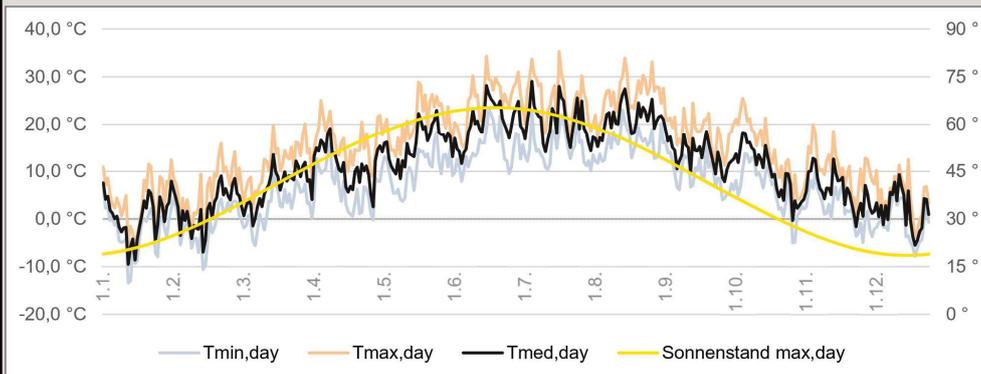
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.10 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort Salzburg bei Klimaszenario RCP 2.6 mit Betrachtungshorizont 2050

Auswertungen Klimadatensatz

Standort und Klimaszenario: **Salzburg RCP 2.6 (2050), 47,8°N, 13,0°O, 435 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
0,4 °C	2,1 °C	6,6 °C	10,8 °C	15,4 °C	19,3 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
21,1 °C	20,6 °C	15,6 °C	11,5 °C	5,8 °C	2,1 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkenndaten:

Anzahl an Sommertagen:	62	Maximale stündl. Temperatur:	35,3 °C
Anzahl an Hitzetagen:	13	Mittlere Jahrestemperatur:	11,0 °C
Anzahl an Tropennächten:	11	Minimale stündl. Temperatur:	-13,4 °C
Anzahl an Hitzewellen:	1	Mittlere absolute Luftfeuchte:	7,8 g/m³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	3	Mittlere relative Luftfeuchte:	73,7 %
Anzahl an Frosttagen:	72	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	1 118
Anzahl an Eistagen:	13	Anzahl an Vegetationstagen:	267

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

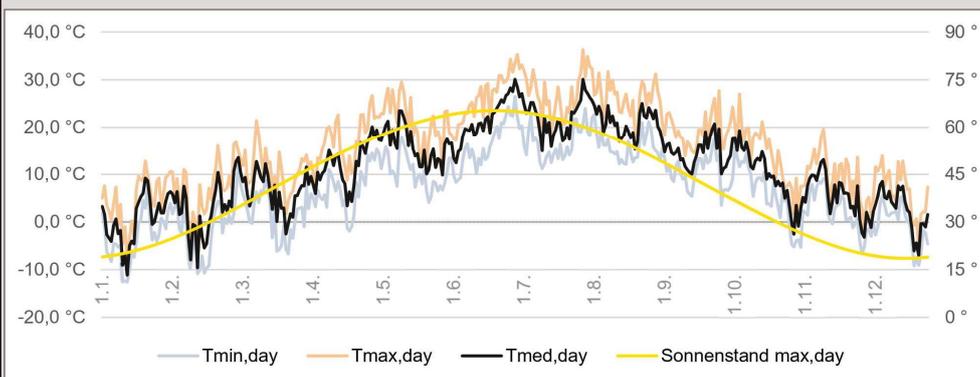
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.11 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort Salzburg bei Klimaszenario RCP 4.5 mit Betrachtungshorizont 2050

Auswertungen Klimadatenatz

Standort und Klimaszenario: **Salzburg RCP 4.5 (2050), 47,8°N, 13,0°O, 435 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
0,4 °C	1,8 °C	6,5 °C	11,3 °C	16,2 °C	20,2 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
22,2 °C	22,0 °C	16,1 °C	11,9 °C	5,8 °C	1,9 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkennndaten:

Anzahl an Sommertagen:	74	Maximale stündl. Temperatur:	36,3 °C
Anzahl an Hitzetagen:	22	Mittlere Jahrestemperatur:	11,4 °C
Anzahl an Tropennächten:	20	Minimale stündl. Temperatur:	-12,6 °C
Anzahl an Hitzewellen:	2	Mittlere absolute Luftfeuchte:	8,0 g/m³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	16	Mittlere relative Luftfeuchte:	73,7 %
Anzahl an Frosttagen:	77	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	1 106
Anzahl an Eistagen:	13	Anzahl an Vegetationstagen:	269

Datenstand: Meteonorm 8 (2022)

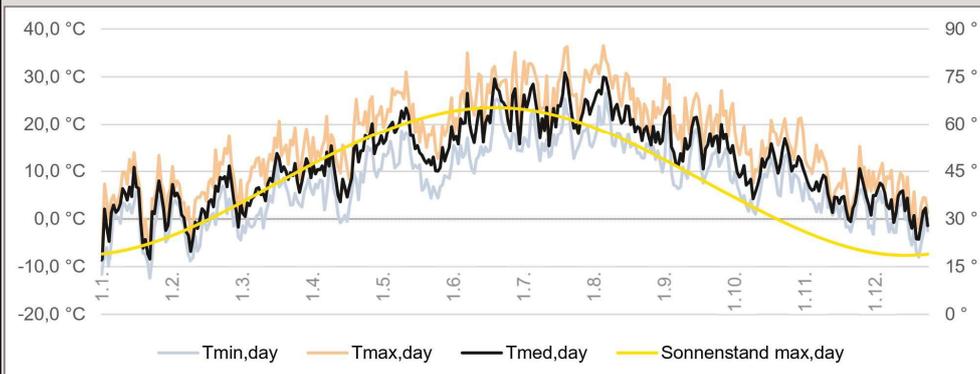
Erstellt am: 29.06.2022

A.2.12 Auswertung von Monatsmitteltemperaturen und Klimaindizes für den Standort Salzburg bei Klimaszenario RCP 8.5 mit Betrachtungshorizont 2050

Auswertungen Klimadatensatz

Standort und Klimaszenario: **Salzburg RCP 8.5 (2050), 47,8°N, 13,0°O, 435 m ü. NN**

Tageweise Betrachtung Temperatur und Sonnenstand:



Monatliche Durchschnittstemperatur:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1,2 °C	3,0 °C	6,8 °C	11,4 °C	16,1 °C	20,5 °C
Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
22,7 °C	22,6 °C	16,7 °C	12,1 °C	6,5 °C	2,9 °C

Betrachtung spezifischer Wetterkenndaten:

Anzahl an Sommertagen:	80	Maximale stündl. Temperatur:	36,5 °C
Anzahl an Hitzetagen:	32	Mittlere Jahrestemperatur:	11,9 °C
Anzahl an Tropennächten:	17	Minimale stündl. Temperatur:	-12,4 °C
Anzahl an Hitzewellen:	3	Mittlere absolute Luftfeuchte:	8,3 g/m³
Jährl. (Kern-)Hitzewellendauer:	16	Mittlere relative Luftfeuchte:	73,7 %
Anzahl an Frosttagen:	61	Globalstrahlung in kWh/(m²a):	1 115
Anzahl an Eistagen:	10	Anzahl an Vegetationstagen:	279

Datenstand: Meteororm 8 (2022)

Erstellt am: 29.06.2022

A.3. Bauteil-Aufbauten

Nachfolgend verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
MW, GW, SW	Mineral-, Glas-, Steinwolle
PT	Putzträgerplatte
EPS-F	Fassadendämmplatte aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum

A.3.1 Bauteilaufbau Außenwand „schwer“

Nr.	Bauteilschicht	Material- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- kapazität	Quelle: B 8110-7
	von innen nach außen	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/(kgK)	Tab., Zeile
01	Innenputz	10	1 400	0,57	1 000	Tab. 17, Z. 2
02	Stahlbeton	200	2 300	2,3	1 000	Tab. 4, Z. 23
03	Wärmedämmung EPS-F	200	15,8	0,040	1 450	Tab. 31, Z. 5
04	Putzmörtel armiert	8	1 800	1,05	1 000	Tab. 17, Z. 16

A.3.2 Bauteilaufbau Außenwand „leicht“:

Nr.	Bauteilschicht	Material- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- kapazität	Quelle: B 8110-7
	von innen nach außen	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/(kgK)	Tab., Zeile
01	Gipskartonplatte	15	1 400	0,57	1 000	Tab. 17, Z. 2
02	Gipskartonplatte	15	1 400	0,57	1 000	Tab. 17, Z. 2
03	Installationsebene					
	Glaswolle MW(GW)-W (90 %)	50	18	0,038	1 030	Tab. 30, Z. 8
	Nutzholz (475 kg/m ³) (10 %) (horizontal)	50	475	0,12	1 600	Tab. 72, Z. 2
04	Dampfbremse PE	0,2	920	0,5		
05	Holzspanplatte innen	18	650	0,13	1 700	Tab. 72, Z. 17
06	Holzständerwand					
	Mineralwolle MW(GW)-W (90 %)	200	18	0,038	1 030	Tab. 30, Z. 8
	Nutzholz (475 kg/m ³) (10 %) (vertikal)	50	475	0,12	1 600	Tab. 72, Z. 2
07	Holzspanplatten	16	650	0,13	1 700	Tab. 72, Z. 17
08	Steinwolle MW(SW)- PT 10	100	140	0,042	1 030	Tab. 29, Z. 17
09	Silikatputz	2	250	0,10	1 000	Tab. 17, Z. 29

A.3.3 Bauteilaufbau Innenwand „schwer“:

Nr.	Bauteilschicht	Material- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- kapazität	Quelle: B 8110-7
	von innen nach außen	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/(kgK)	Tab., Zeile
01	Innenputz	10	1 400	0,57	1 000	Tab. 17, Z. 2
02	Mauerwerk aus Ziegel (Dünnbettmörtel)	250	825	0,26	1 000	Tab. 4, Z. 23
03	Innenputz	10	1 400	0,57	1 000	Tab. 17, Z. 2

A.3.4 Bauteilaufbau Innenwand „leicht“:

Nr.	Bauteilschicht	Material- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- kapazität	Quelle: B 8110-7
	von innen nach außen	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/(kgK)	Tab., Zeile
01	Gipskartonplatte	12,5	700	0,21	1 000	Tab. 18, Z. 1
02	Mineralwolle (GW) hohlraumfüllend zwi- schen Metallprofilen	75	18	0,038	1 030	Tab. 30, Z. 8
03	Gipskartonplatte	12,5	700	0,21	1 000	Tab. 18, Z. 1

A.3.5 Bauteilaufbau Trenndecke „schwer“:

Nr.	Bauteilschicht	Material- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- kapazität	Quelle: B 8110-7
	von innen nach außen	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/(kgK)	Tab., Zeile
01	Laminat	8	700	0,13	2 000	
02	Trennlage Laminat	2	35	0,2	1 200	
03	Zementestrich	70	2 000	1,33	1 000	Tab. 27, Z. 2
04	Mineralwolle-Tritt- schalldämmplatte (SW)	30	100	0,038	1 030	Tab. 29, Z. 13
05	Ausgleichsschüttung EPS-(Recycling) Gra- nulat mit Bindemitteln oder zementgebunden	40	150	0,075	1 250	Tab. 63, Z. 6
06	Stahlbeton	200	2 300	2,3	1 000	Tab. 19, Z. 4
07	Innenputz	10	1 400	0,57	1 000	Tab. 17, Z. 2

A.3.6 Bauteilaufbau Trenndecke „leicht“:

Nr.	Bauteilschicht	Material- dicke	Roh- dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- kapazität	Quelle: B 8110-7
	von innen nach außen	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/(kgK)	Tab., Zeile
01	Laminat	8	700	0,13	2 000	
02	Trennlage Laminat	2	35	0,2	1 200	
03	Zementestrich	70	2 000	1,33	1 000	Tab. 27, Z. 2
04	Mineralwolle-Tritt- schalldämmplatte (SW)	30	100	0,038	1 030	Tab. 29, Z. 13
05	Ausgleichsschüttung EPS-(Recycling) Gra- nulat mit Bindemitteln oder zementgebunden	40	150	0,075	1 250	Tab. 63, Z. 6
06	Stahlbeton	200	2 300	2,3	1 000	Tab. 19, Z. 4
07	Luftschicht, ruhend	30	1,2	0,26	1 006	
08	Gipskartonplatte	12,5	700	0,21	1 000	Tab. 18, Z. 1

A.3.7 Kenngrößen Fenster

Kenngröße	Wert	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung U_g	0,50	W/(m ² K)
Rahmenanteil	0	%
Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens U_f	<i>n. relevant</i>	W/(m ² K)
Solartransmissionsgrad der Verglasung τ_e	45	%
Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g (senkrecht zur Verglasung) ¹	53	%

¹ Die Abminderung zur Berücksichtigung des nicht senkrechten Strahlungseinfalls erfolgt entsprechend dem Modell der Simulationsumgebung.

A.3.8 Kenngrößen Sonnenschutz

Bauteilschicht	Solartransmis- sionsgrad $\tau_{e,B}$	Solarreflexions- grad		g_{tot}	F_c -Wert
		$\rho_{e,B}$	$\rho'_{e,B}$		
Innenliegende Sonnen- schutzvorrichtung: Textilrollo	0,02	0,80	-	0,30 (nach EN ISO 52022-1)	0,57
Außenliegende Sonnen- schutzvorrichtung: Hinterlüftete Lamelle, 45°	0,083	0,236	0,163	0,05 (nach EN ISO 52022-3)	0,09

A.4. Ergebnisdatenblätter

Variantenvergleich Basisvarianten

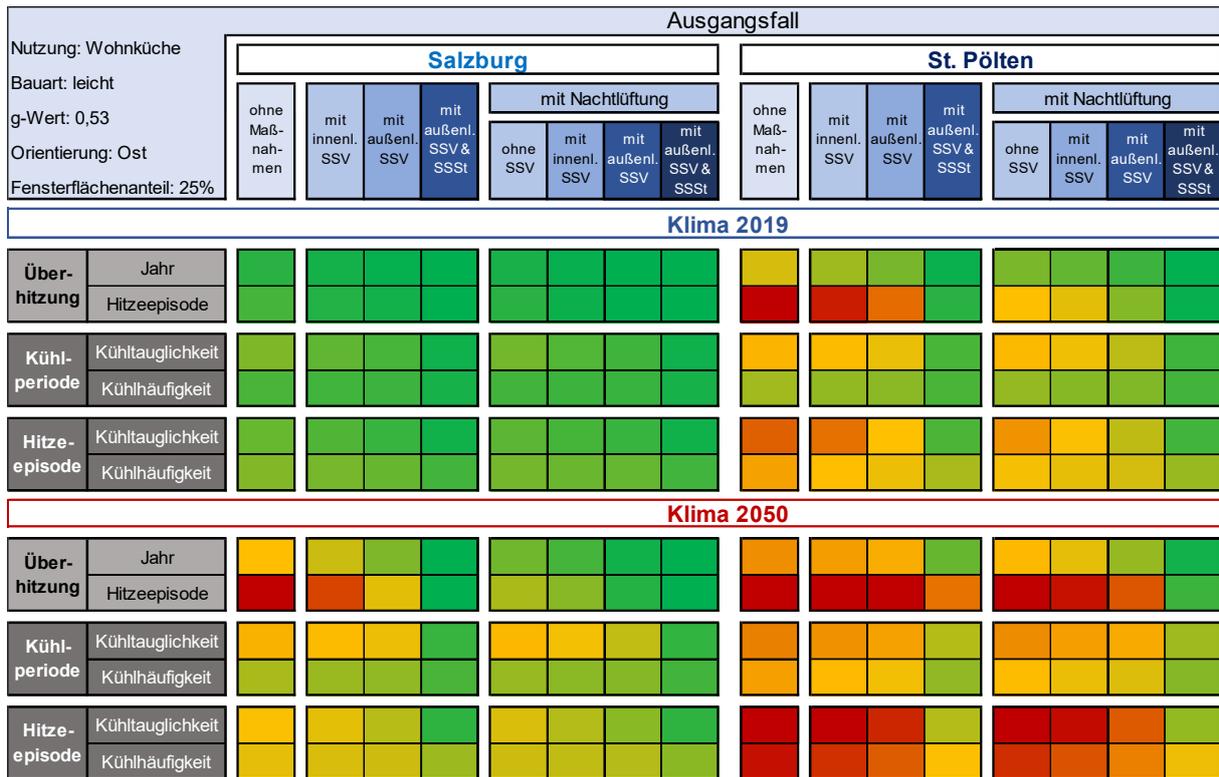
1	WoKü	L	25%	053	O
2	WoKü	L	50%	053	O
3	WoKü	S	25%	053	O
4	WoKü	S	50%	053	O
5	WoKü	L	25%	053	S
6	WoKü	L	50%	053	S
7	WoKü	S	25%	053	S
8	WoKü	S	50%	053	S
9	WoKü	L	25%	053	W
10	WoKü	L	50%	053	W
11	WoKü	S	25%	053	W
12	WoKü	S	50%	053	W
13	WoKü	L	25%	053	N
14	WoKü	L	50%	053	N
15	WoKü	S	25%	053	N
16	WoKü	S	50%	053	N
17	KinZ	S	50%	053	W
18	SchZ	L	50%	053	N
19	SchZ	L	50%	053	O
20	SchZ	S	50%	053	O
21	SchZ	S	50%	053	W
22	SchZ	L	25%	053	W
23	SchZ	S	25%	053	W

Legende

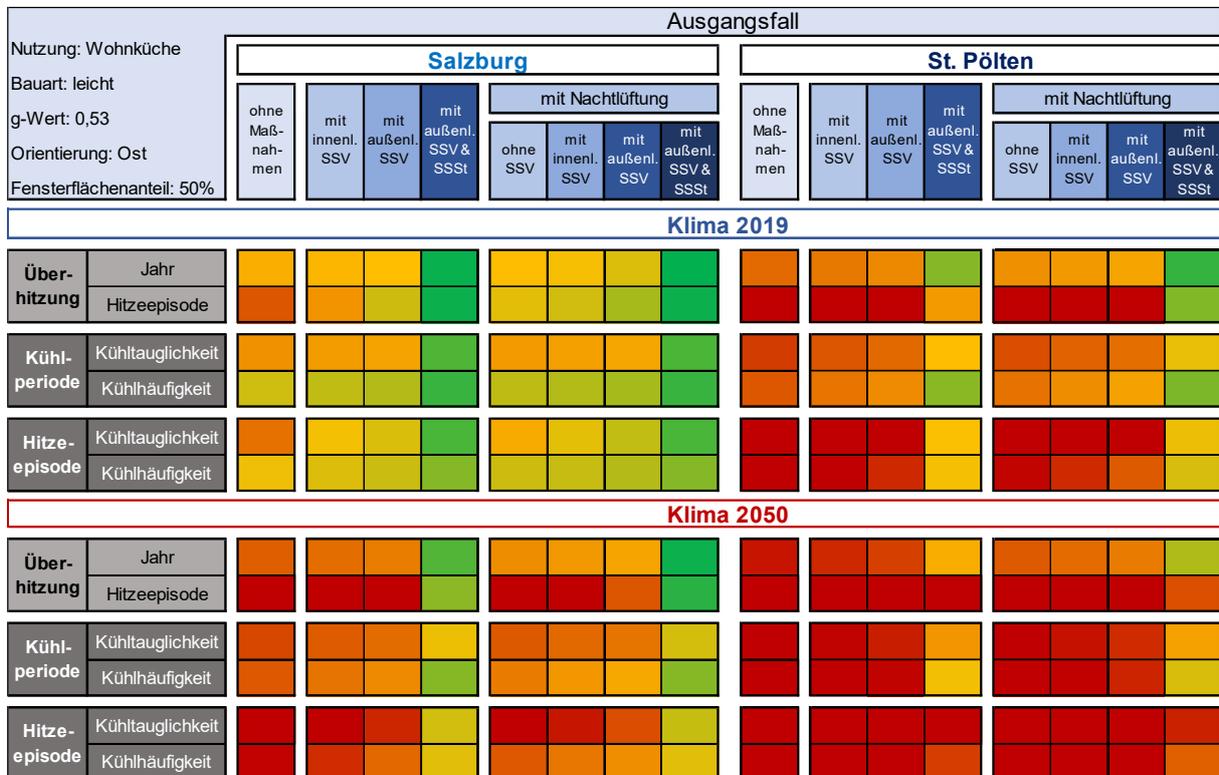
Nutzung	Wohnküche Schlafzimmer Kinderzimmer	WoKü SchZ KinZ
Orientierung	Nord Ost Süd West	N O S W
Bauschwere	leicht schwer	L S
Verglasung	g-Wert in %	053
Fensterflächenanteil	25% (Fassadenanteil) 25% (Fassadenanteil)	25% 50%
	Sonnenschutzvorrichtung	SSV
	Sonnenschutzsteuerung	SSSt

Abkürz.

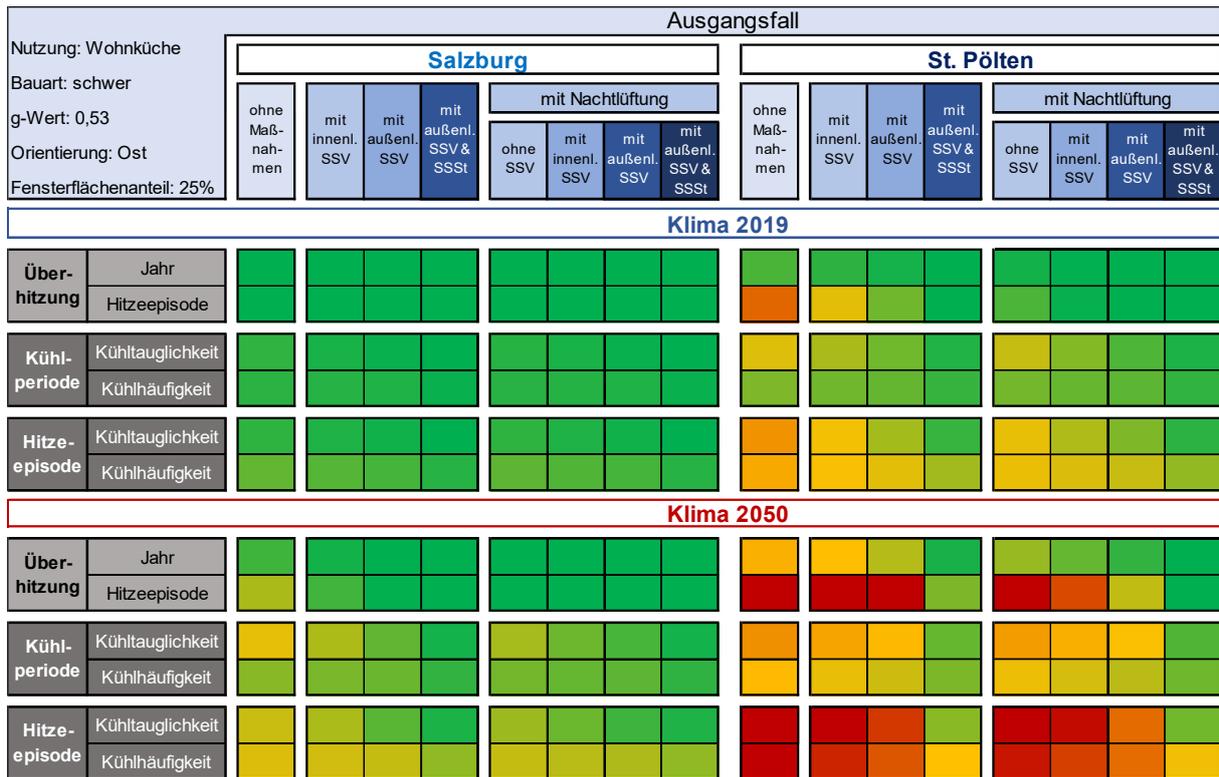
A.4.1 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | Ost | 25 %



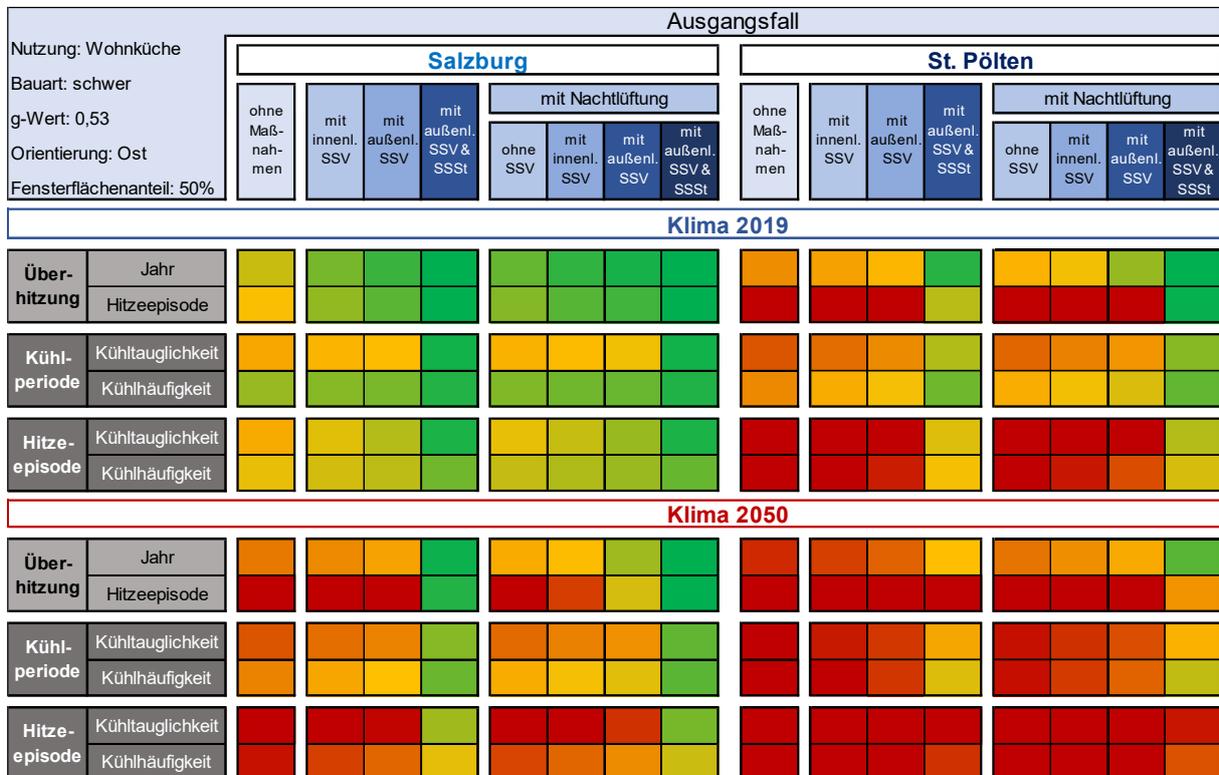
A.4.2 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | Ost | 50 %



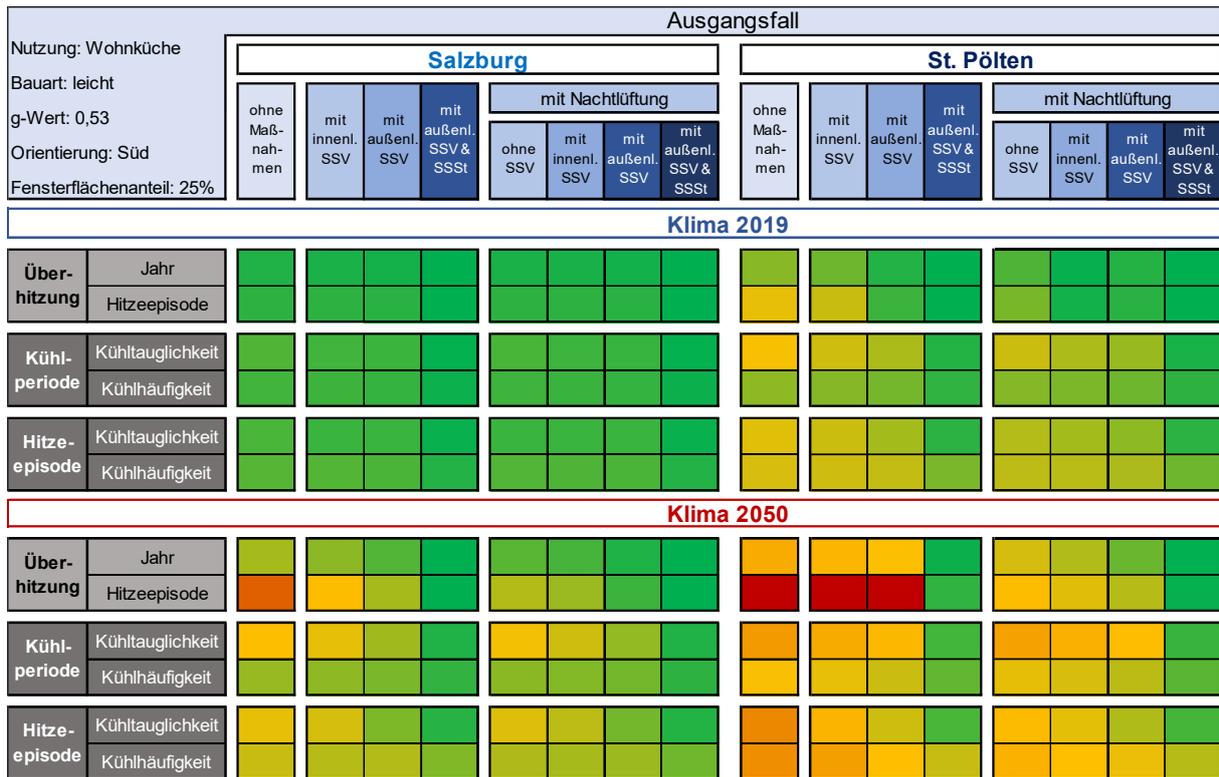
A.4.3 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | Ost | 25 %



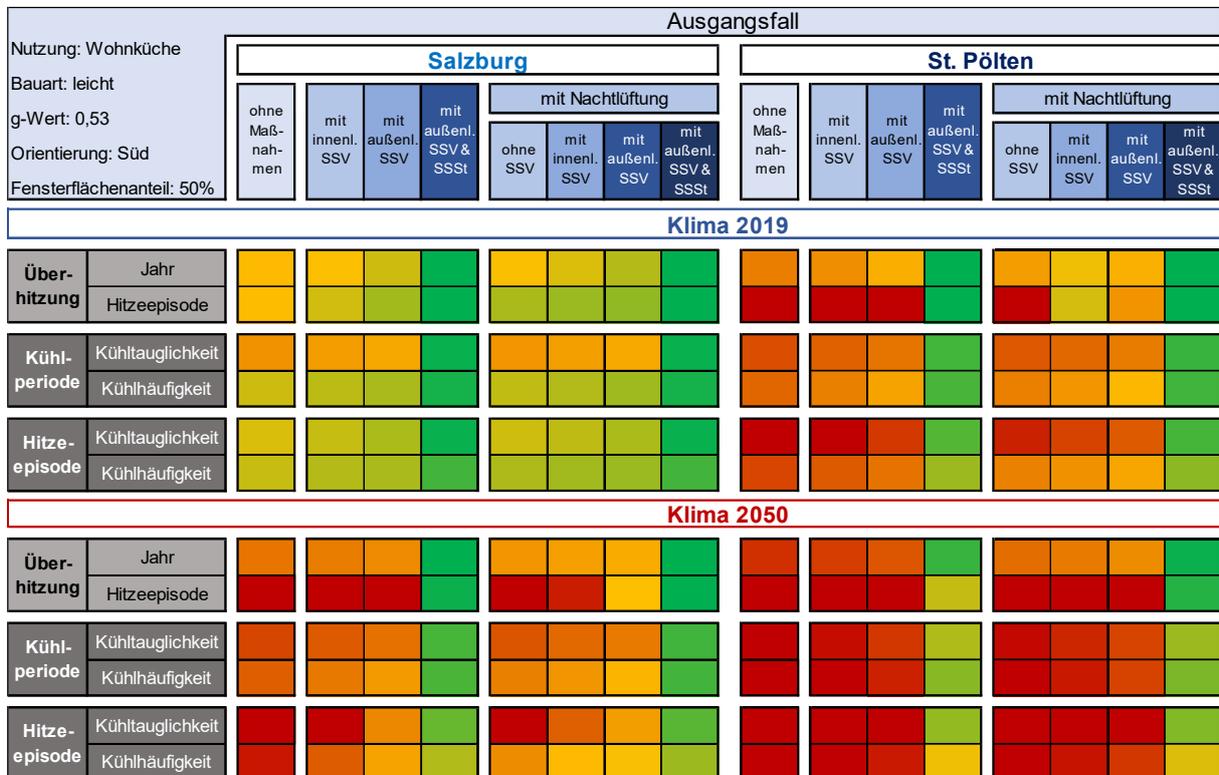
A.4.4 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | Ost | 50 %



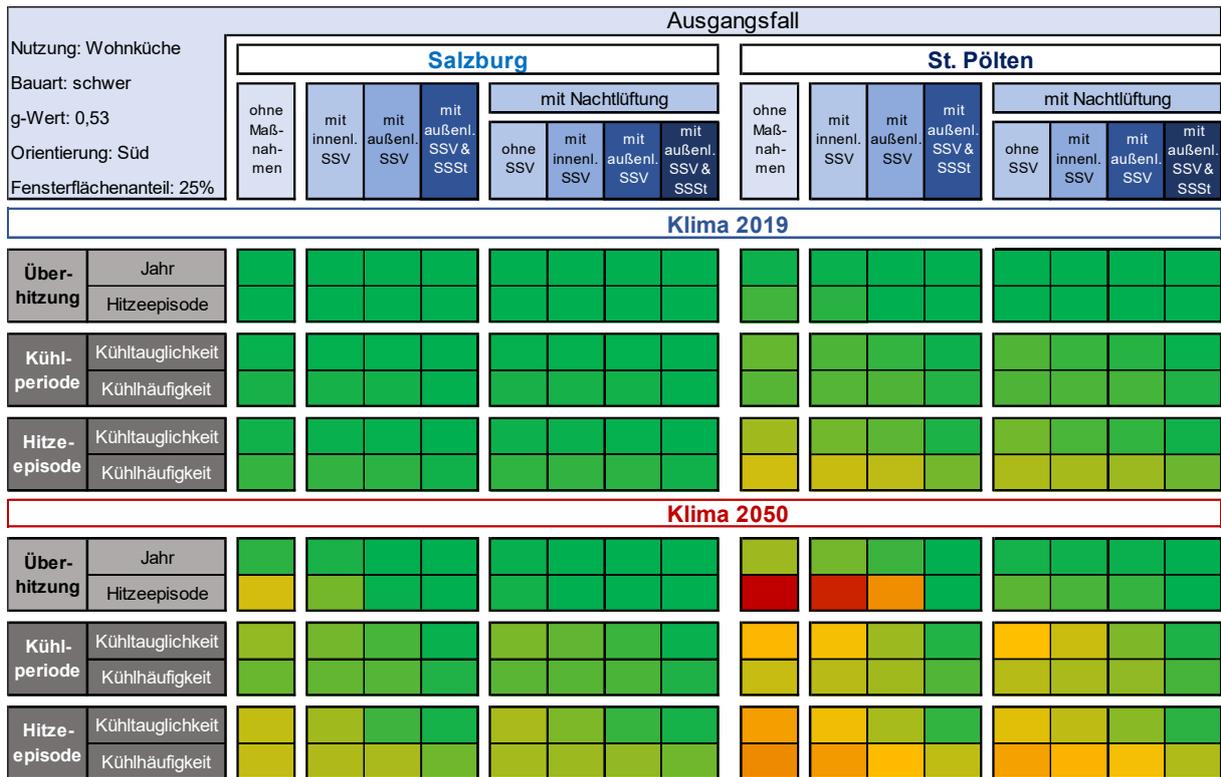
A.4.5 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | Süd | 25 %



A.4.6 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | Süd | 50 %



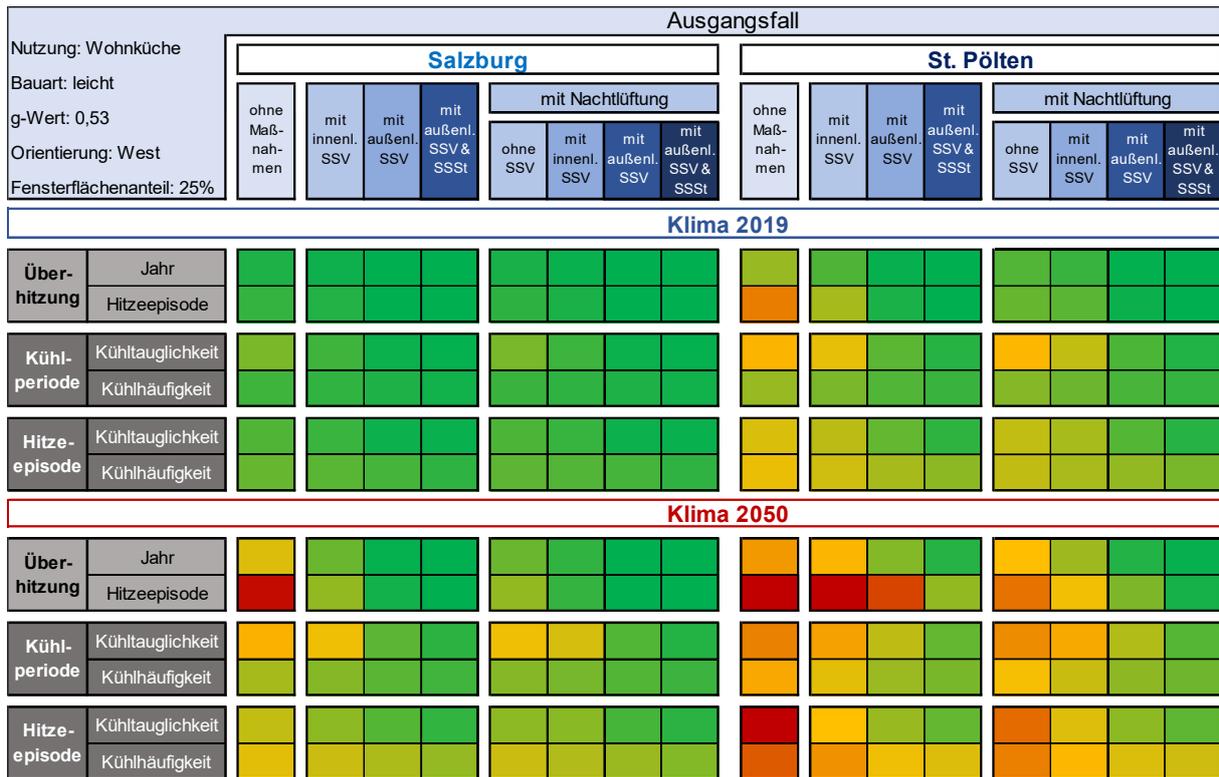
A.4.7 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | Süd | 25 %



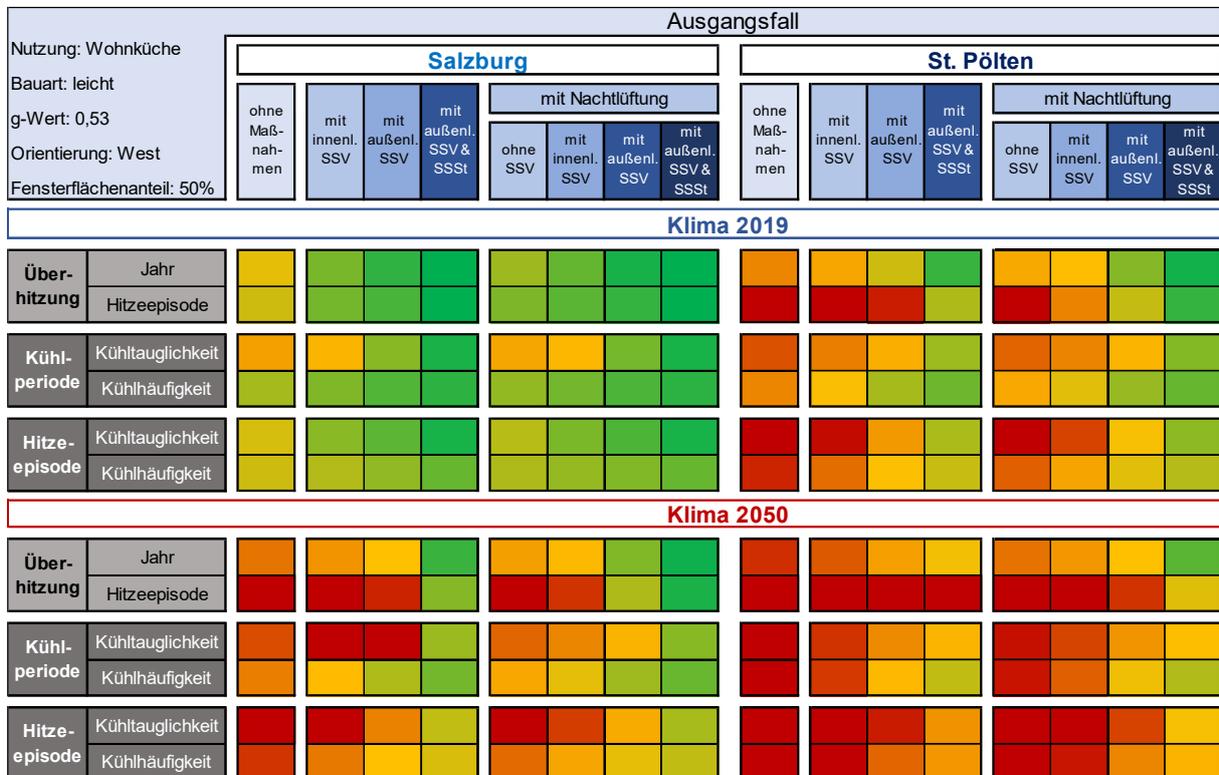
A.4.8 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | Süd | 50 %



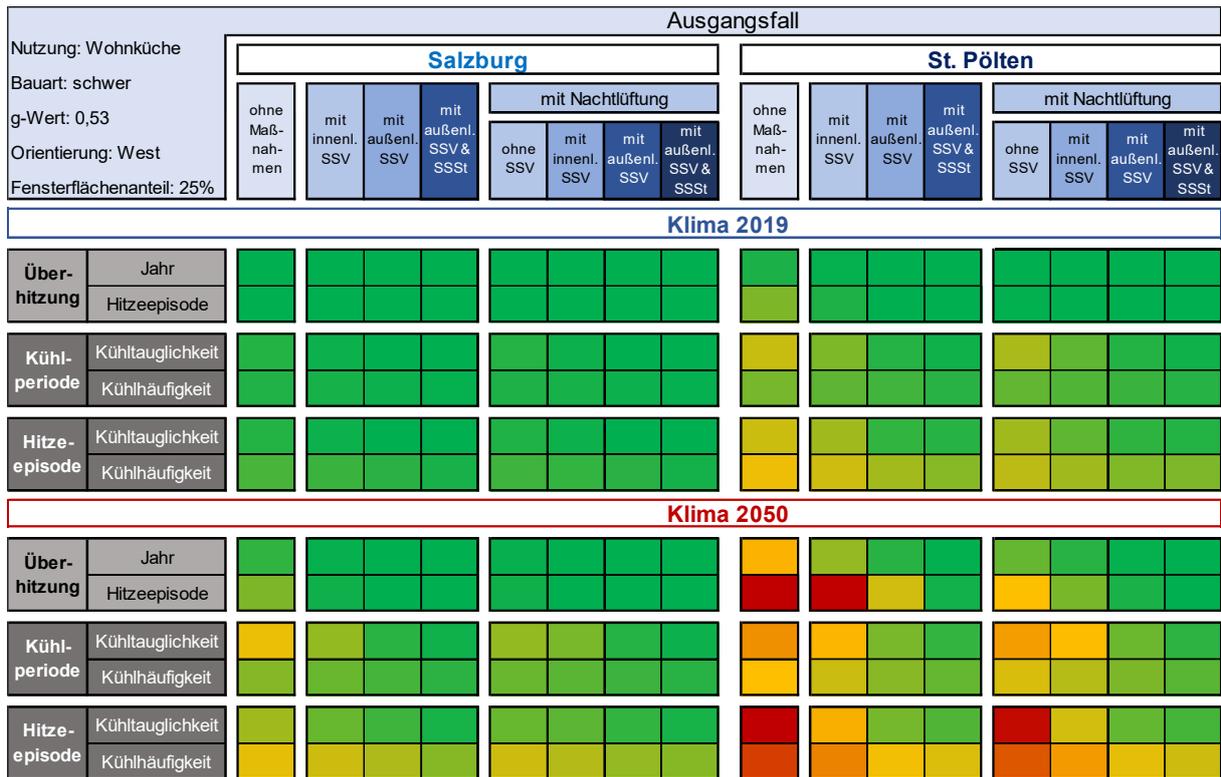
A.4.9 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | West | 25 %



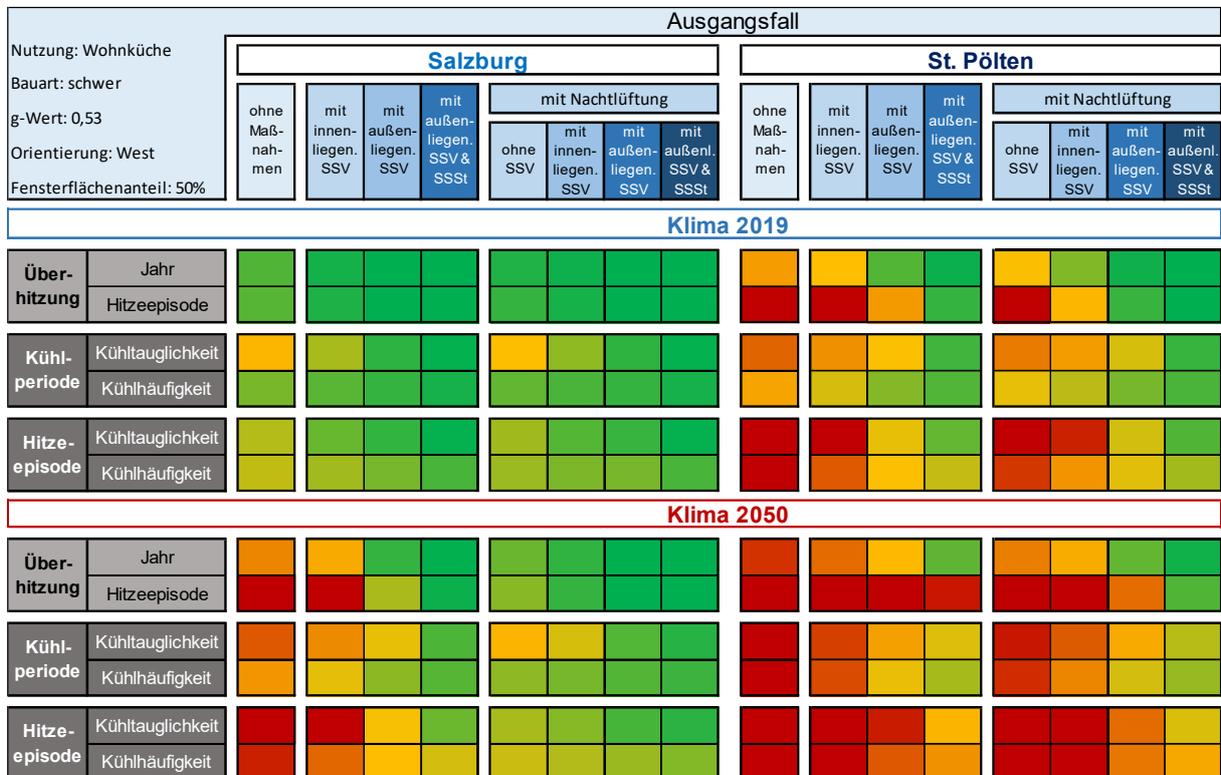
A.4.10 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | West | 50 %



A.4.11 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | West | 25 %



A.4.12 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | West | 50 %



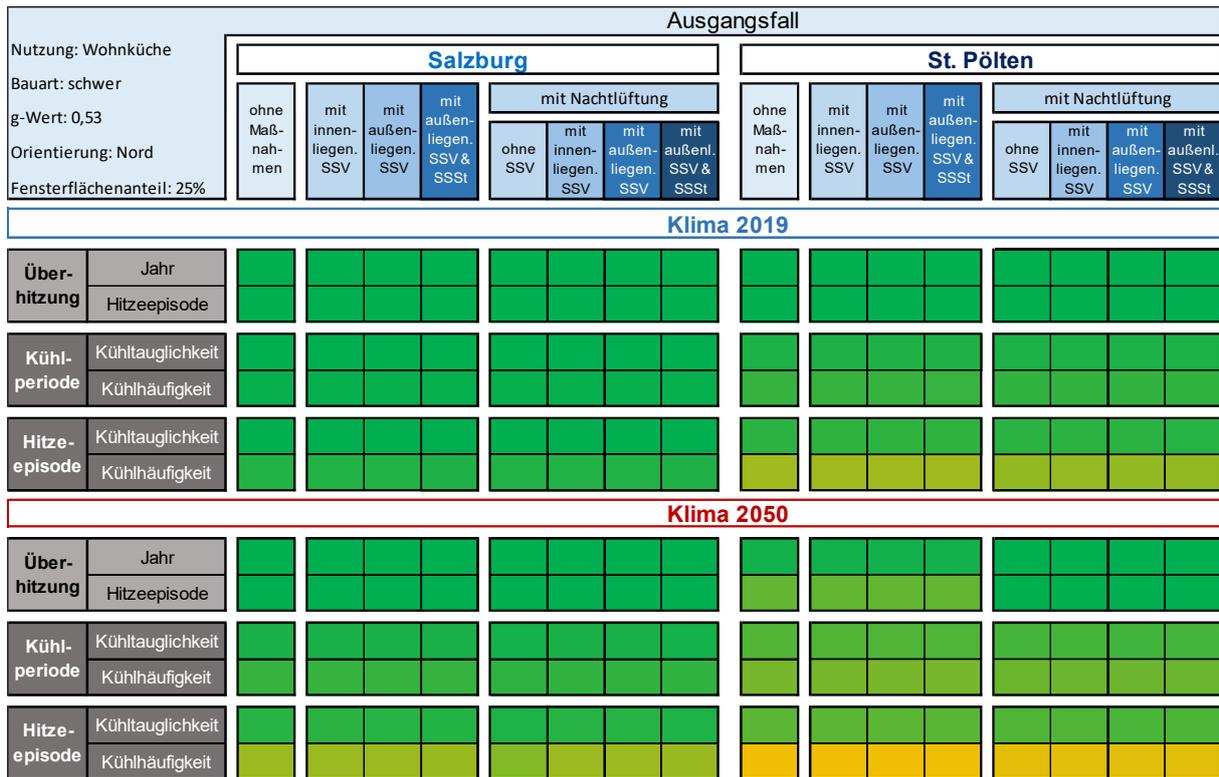
A.4.13 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | Nord | 25 %

Nutzung: Wohnküche Bauart: leicht g-Wert: 0,53 Orientierung: Nord Fensterflächenanteil: 25%		Ausgangsfall															
		Salzburg								St. Pölten							
		ohne Maßnahmen				mit Nachtlüftung				ohne Maßnahmen				mit Nachtlüftung			
		ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt
Klima 2019																	
Überhitzung	Jahr	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
	Hitzeepisode	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
Kühlperiode	Kühltauglichkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
Hitzeepisode	Kühltauglichkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
Klima 2050																	
Überhitzung	Jahr	[Green]				[Green]				[Orange]				[Green]			
	Hitzeepisode	[Green]				[Green]				[Orange]				[Green]			
Kühlperiode	Kühltauglichkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
Hitzeepisode	Kühltauglichkeit	[Green]				[Green]				[Green]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			

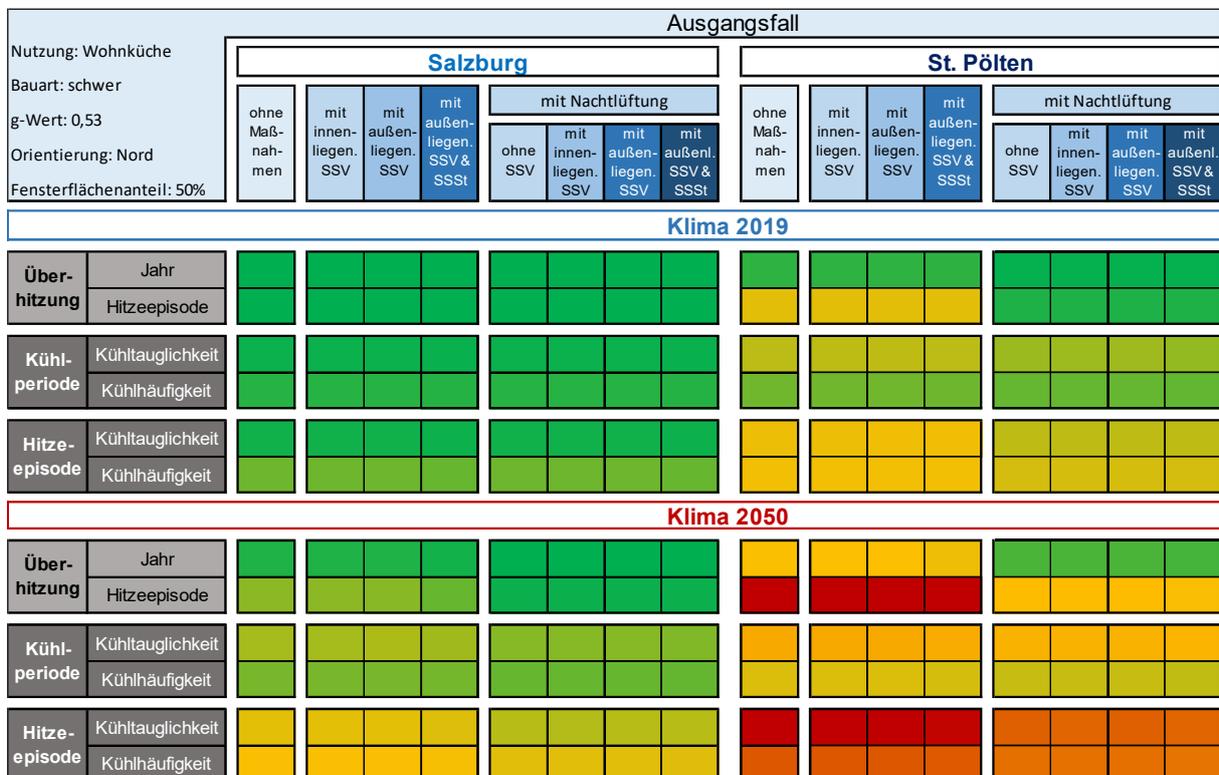
A.4.14 Basisvariante: Wohnküche | leicht | 0,53 | Nord | 50 %

Nutzung: Wohnküche Bauart: leicht g-Wert: 0,53 Orientierung: Nord Fensterflächenanteil: 50%		Ausgangsfall															
		Salzburg								St. Pölten							
		ohne Maßnahmen				mit Nachtlüftung				ohne Maßnahmen				mit Nachtlüftung			
		ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt	ohne SSV	mit innenl. SSV	mit außenl. SSV	mit außenl. SSV & SSSt
Klima 2019																	
Überhitzung	Jahr	[Green]				[Green]				[Orange]				[Green]			
	Hitzeepisode	[Green]				[Green]				[Orange]				[Green]			
Kühlperiode	Kühltauglichkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
Hitzeepisode	Kühltauglichkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Green]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
Klima 2050																	
Überhitzung	Jahr	[Yellow]				[Green]				[Red]				[Green]			
	Hitzeepisode	[Yellow]				[Green]				[Red]				[Orange]			
Kühlperiode	Kühltauglichkeit	[Yellow]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
	Kühlhäufigkeit	[Yellow]				[Green]				[Yellow]				[Green]			
Hitzeepisode	Kühltauglichkeit	[Yellow]				[Green]				[Red]				[Orange]			
	Kühlhäufigkeit	[Yellow]				[Green]				[Red]				[Orange]			

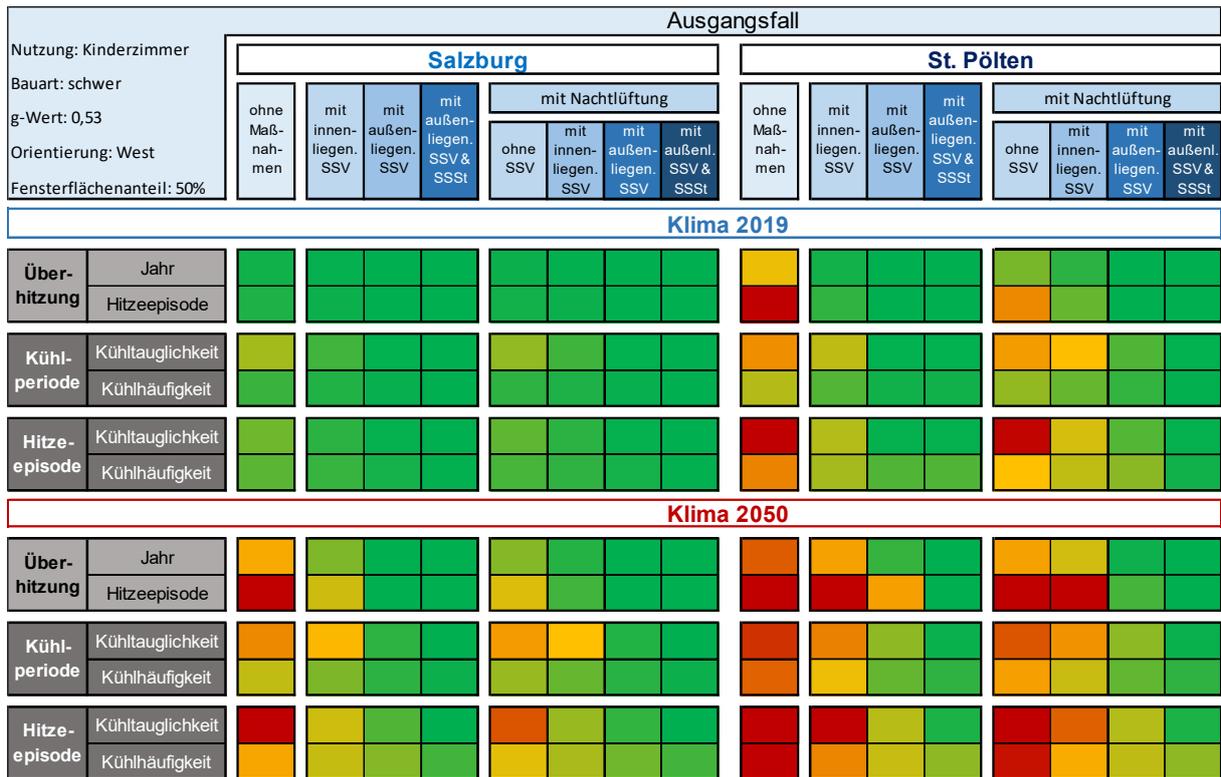
A.4.15 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | Nord | 25 %



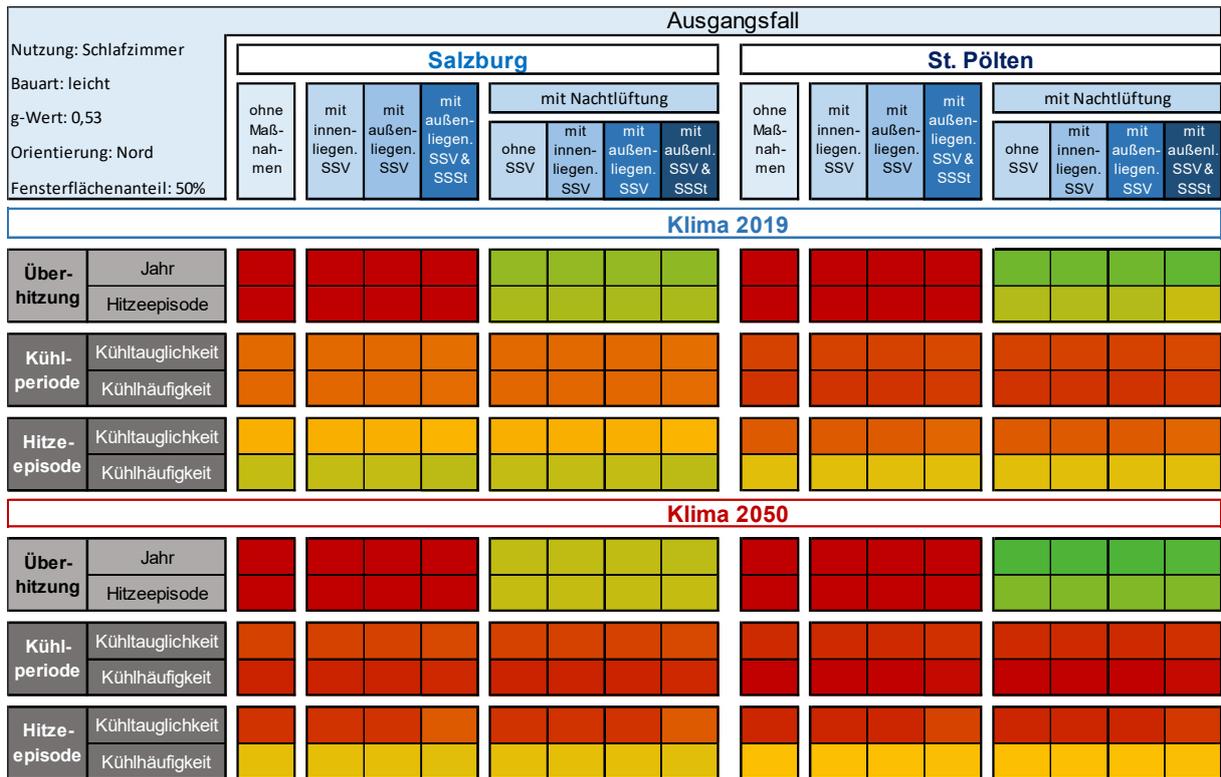
A.4.16 Basisvariante: Wohnküche | schwer | 0,53 | Nord | 50 %



A.4.17 Basisvariante: Kinderzimmer | schwer | 0,53 | West | 50 %



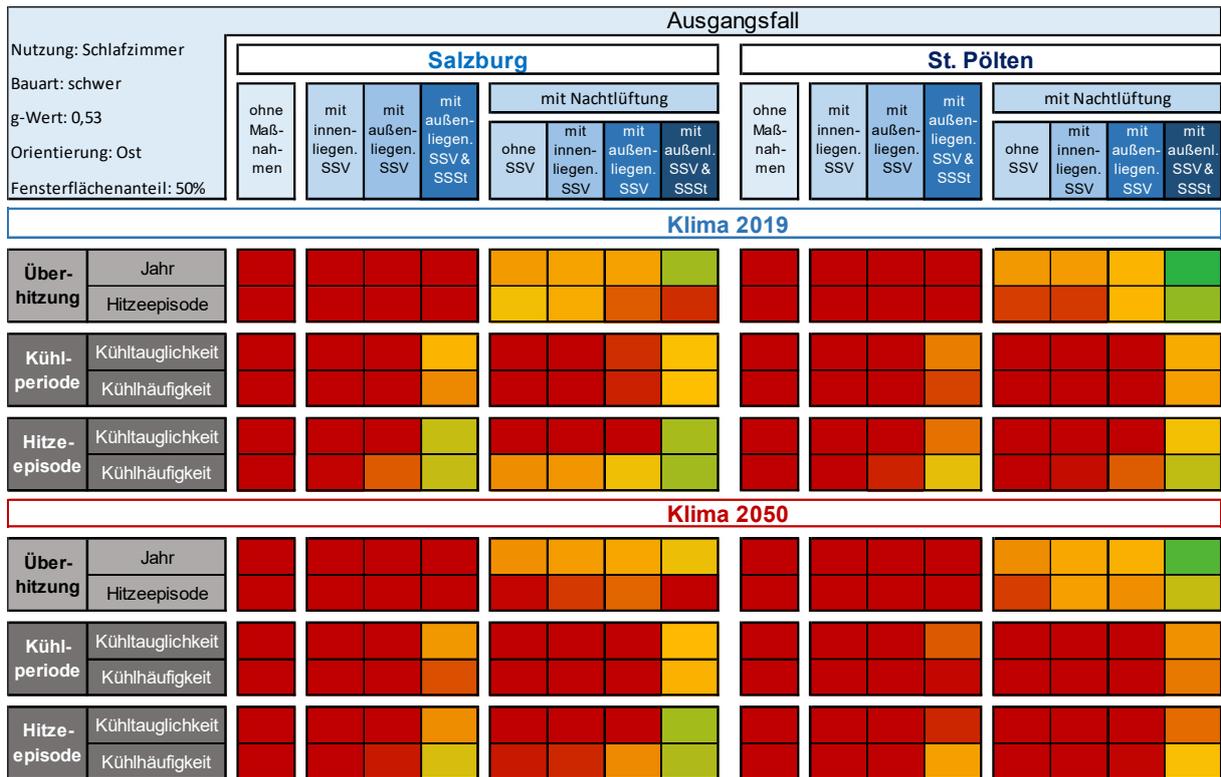
A.4.18 Basisvariante: Schlafzimmer | leicht | 0,53 | Nord | 50 %



A.4.19 Basisvariante: Schlafzimmer | leicht | 0,53 | Ost | 50 %



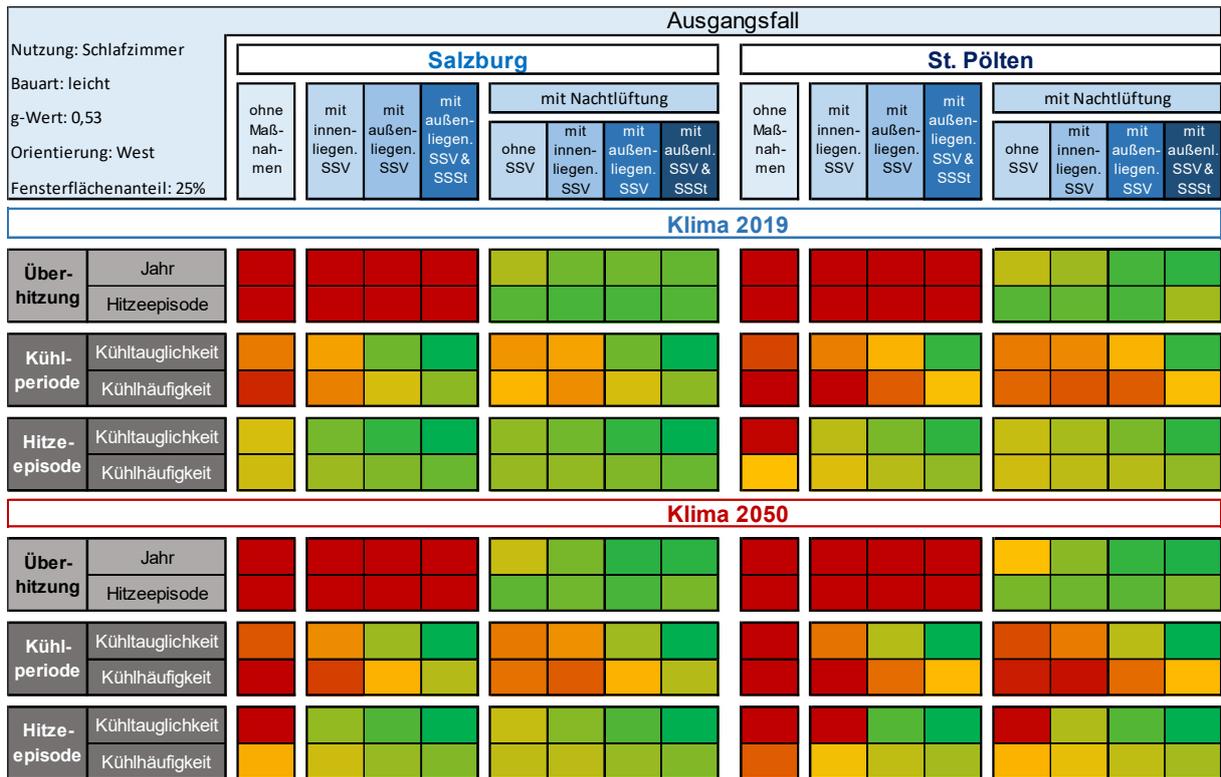
A.4.20 Basisvariante: Schlafzimmer | schwer | 0,53 | Ost | 50 %



A.4.21 Basisvariante: Schlafzimmer | schwer | 0,53 | West | 50 %



A.4.22 Basisvariante: Schlafzimmer | leicht | 0,53 | West | 50 %



A.4.23 Basisvariante: Schlafzimmer | schwer | 0,53 | West | 25 %



Statistik

Häufigkeitsverteilung

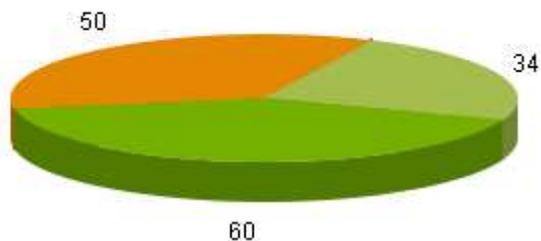
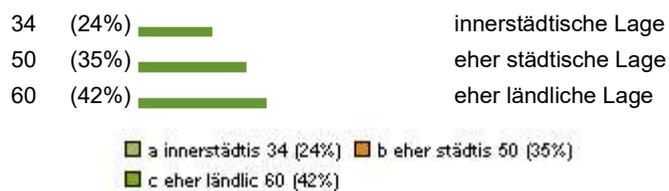
100% werden hier fragespezifisch berechnet als Probanden, welche eine Antwort bei der jeweiligen Frage abgegeben haben (also ohne missing).

Umfrage:	Cool*Buildings Nutzer:innenbefragung
Kontakte:	797, haben den Fragebogen geöffnet
Probanden mit Antworten:	144 (18%), haben mindestens eine Frage beantwortet

Frage 1

Wo liegt Ihre Wohnung?

Total Probanden: 144 für diese Frage

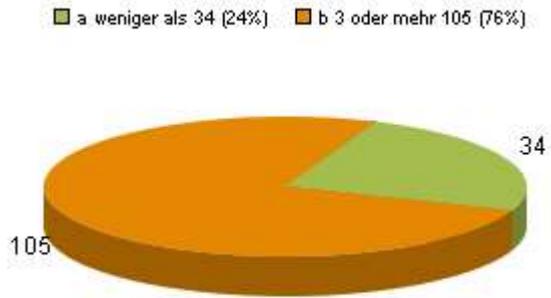


Frage 2

Wie lange wohnen Sie schon in Ihrer Wohnung?

Total Probanden: 139 für diese Frage

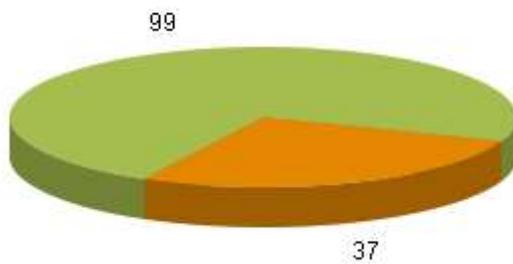
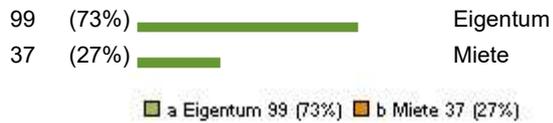




Frage 3

Wie wohnen Sie?

Total Probanden: 136 für diese Frage



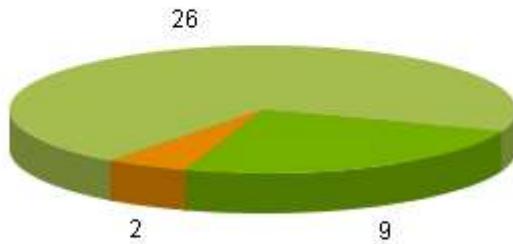
Frage 4

Welcher Art von Mietwohnung?

Total Probanden: 37 für diese Frage



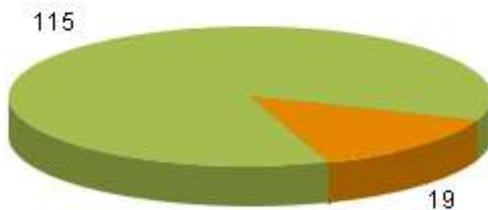
■ a Private Miet 26 (70%)
 ■ b Gemeindewohn 2 (5%)
 ■ c Genossenscha 9 (24%)



Frage 5

Verlassen Sie normalerweise tagsüber z.B. aus beruflichen Gründen regelmäßig Ihre Wohnung für mehr als fünf Stunden?

Total Probanden: 134 für diese Frage



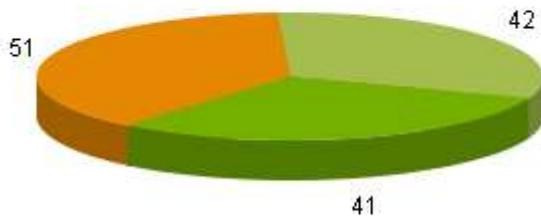
Frage 6

Wie empfinden Sie die Temperaturverhältnisse in Ihrer Wohnung im Sommer?

Total Probanden: 134 für diese Frage



■ a angenehm 42 (31%)
 ■ b in Ordnung 51 (38%)
 ■ c zu warm 41 (31%)



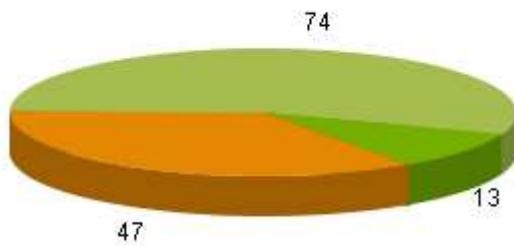
Frage 7

Wie empfinden Sie die Temperaturverhältnisse in Ihrer Wohnung im Winter?

Total Probanden: 134 für diese Frage

74	(55%)	■	angenehm
47	(35%)	■	in Ordnung
13	(10%)	■	zu kalt

■ a angenehm 74 (55%)
 ■ b in Ordnung 47 (35%)
 ■ c zu kalt 13 (10%)

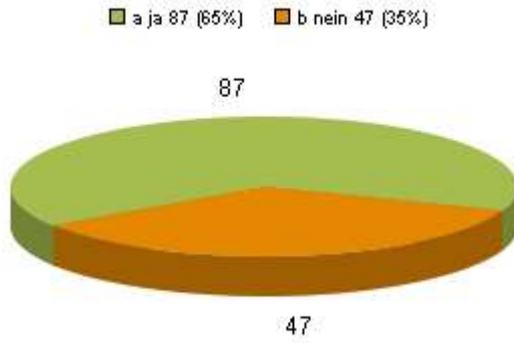


Frage 8

Messen Sie regelmäßig die Raumlufttemperatur in Ihrer Wohnung?

Total Probanden: 134 für diese Frage

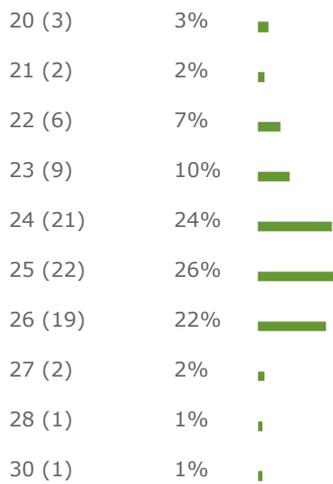
87	(65%)	■	ja
47	(35%)	■	nein



Frage 9

Welche Raumlufttemperatur (Höchstwert) empfinden Sie im Sommer als noch behaglich? Wählen Sie bitte die Temperatur aus

Total Probanden: 86 für diese Frage

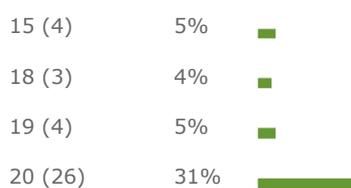


Werte: 86 - Summe: 2101 - arith. Mittel: 24.43 - arith. Mittel exkl. 0-Werten: 24.43 - Median: 25 - Median exkl. 0 Werten: 25 - Modalwert: 25 (22 mal)

Frage 10

Welche Raumlufttemperatur (Mindestwert) empfinden Sie im Winter als noch behaglich?

Total Probanden: 85 für diese Frage



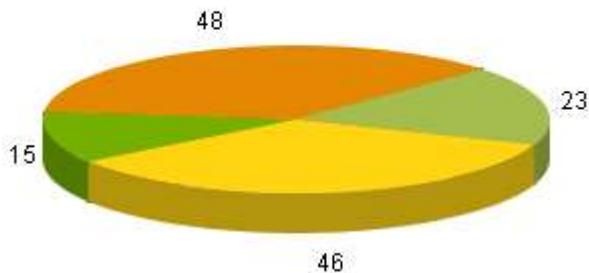
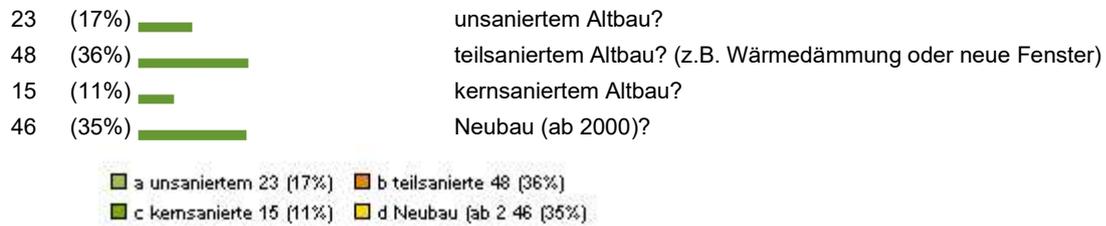
21 (22)	26%	
22 (17)	20%	
23 (7)	8%	
24 (1)	1%	
25 (1)	1%	

Werte: 85 - Summe: 1756 - arith. Mittel: 20.65 - arith. Mittel exkl. 0-Werten: 20.65 - Median: 21 - Median exkl. 0 Werten: 21 - Modalwert: 20 (26 mal)

Frage 11

Befindet sich Ihre Wohnung in einem ...

Total Probanden: 132 für diese Frage



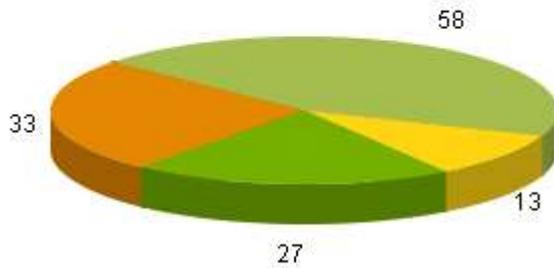
Frage 12

Wie viele Wohnungen befinden sich in Ihrem Haus?

Total Probanden: 131 für diese Frage



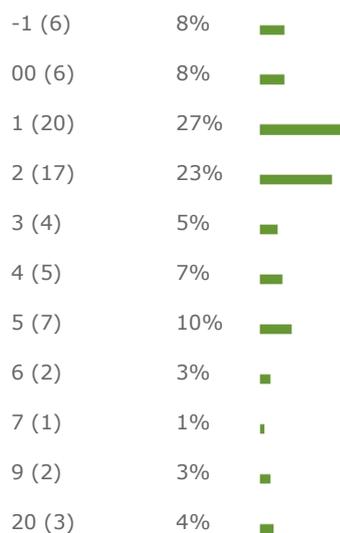
■ a Einfamilienh 58 (44%)
 ■ b 2 bis 10 Woh 33 (25%)
 ■ c 11 bis 20 Wo 27 (21%)
 ■ d Mehr als 20 13 (10%)



Frage 13

In welchem Geschoss befindet sich Ihre Wohnung (z.B. Erdgeschoss = 0, Souterrain = -1)?

Total Probanden: 73 für diese Frage



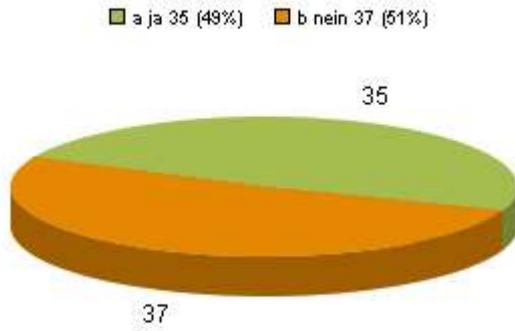
Werte: 73 - Summe: 212 - arith. Mittel: 2.9 - arith. Mittel exkl. 0-Werten: 3.16 - Median: 2 - Median exkl. 0 Werten: 2 -
 Modalwert: 1 (20 mal)

Frage 14

Wohnen Sie im obersten Geschoss Ihres Hauses bzw. in einem Dachgeschoss?

Total Probanden: 72 für diese Frage

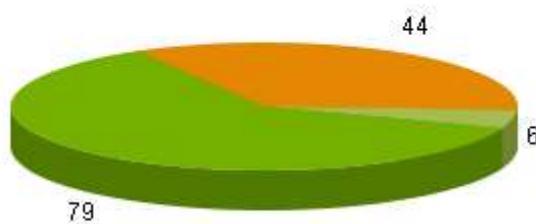
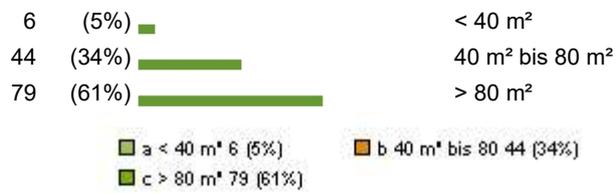




Frage 15

Wie groß ist Ihre Wohnung?

Total Probanden: 129 für diese Frage



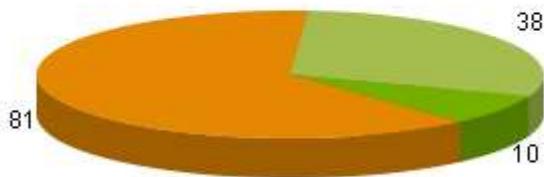
Frage 16

Wie wird Ihre Wohnung beheizt?

Total Probanden: 129 für diese Frage



■ a Überwiegend 38 (29%)
 ■ b Überwiegend 81 (63%)
 ■ c Sonstiges 10 (8%)



Frage 17

Haben Sie einen unmittelbaren Zugang zu einer Gartenfläche, einem Balkon oder einer Terrasse?

Total Probanden: 129 für diese Frage

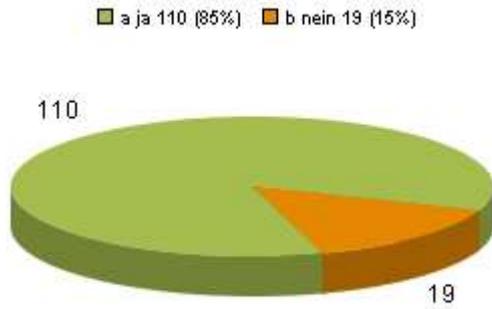


Frage 18

Können Sie Ihre Wohnung querlüften? Querlüften = Luftaustausch über Fenster in gegenüberliegenden Fassaden bei gleichzeitig geöffneten Innentüren.

Total Probanden: 129 für diese Frage

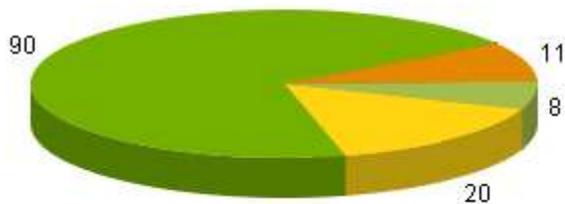
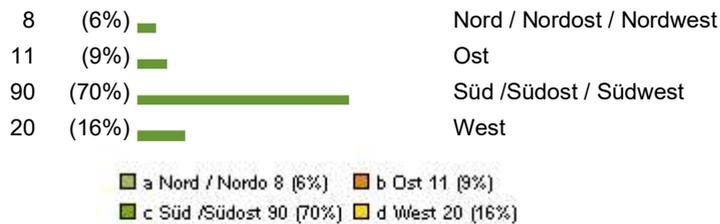




Frage 19

In welche Himmelsrichtung sind Ihre Aufenthaltsräume überwiegend orientiert? Zur Orientierungshilfe: Scheint die Sonne in die Aufenthaltsräume eher vormittags? -> Ost eher zu Mittag? -> Süd eher Nachmittag? -> West

Total Probanden: 129 für diese Frage



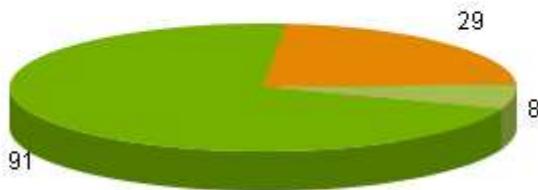
Frage 20

Werden im Sommer die Fenster Ihrer Aufenthaltsräume durch Nachbargebäude, Bäume, Berge oder ähnlichem stark verschattet?

Total Probanden: 128 für diese Frage



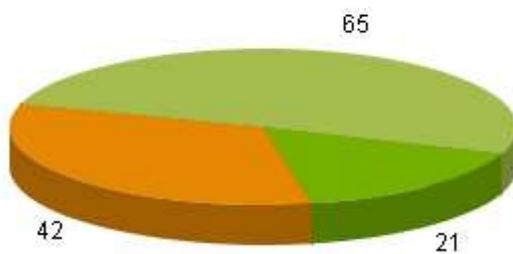
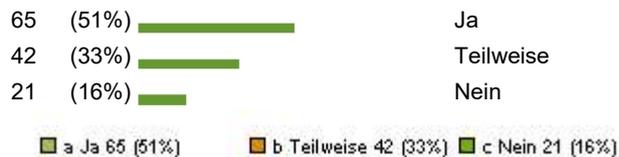
■ a Ja überwiegt 8 (6%)
 ■ b Ja teilweis 29 (23%)
■ c Nein eher n 91 (71%)



Frage 21

Haben Sie Sonnenschutzvorrichtungen oder andere bauliche Verschattungen (z.B. Vordach) an oder vor den Fenstern Ihrer Aufenthaltsräume?

Total Probanden: 128 für diese Frage



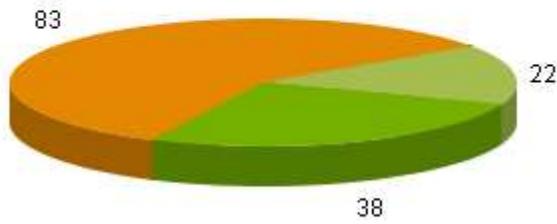
Frage 22

Welche überwiegende Art von Sonnenschutzvorrichtungen oder baulicher Verschattung haben Sie?

Total Probanden: 107 - Total Antworten: 143 - 2 Antworten möglich - % der Probanden / % der Antworten



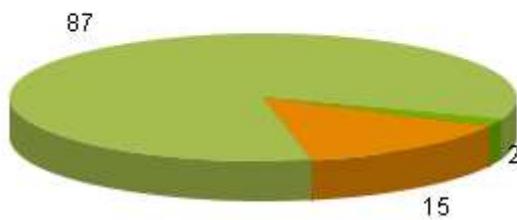
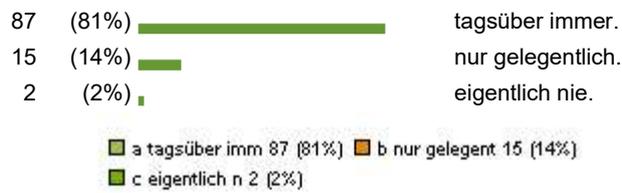
■ a Innenliegend - 22 (15%)
 ■ b Außenliegend - 83 (58%)
 ■ c Feststehende - 38 (27%)



Frage 23

Sie nutzen den Sonnenschutz an heißen Sommertagen ...

Total Probanden: 107 für diese Frage

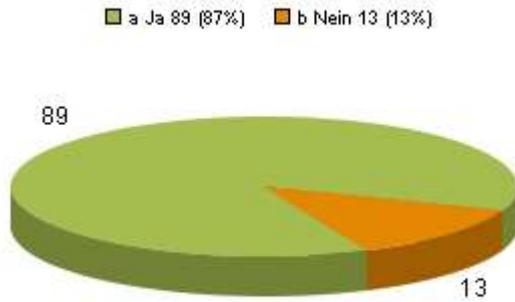


Frage 24

Nutzen Sie den Sonnenschutz an heißen Sommertagen auch wenn Sie außer Haus gehen?

Total Probanden: 102 für diese Frage

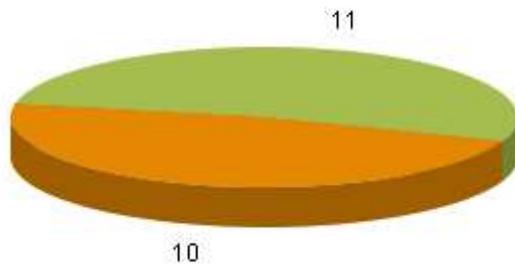




Frage 25

Wäre Ihres Erachtens nach eine (zusätzliche) Sonnenschutzvorrichtung für Ihre Wohnung notwendig?

Total Probanden: 21 für diese Frage

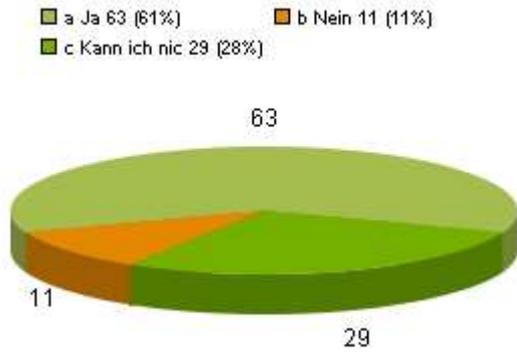


Frage 26

Wäre Ihres Erachtens nach der nachträgliche Einbau eines außenliegenden Sonnenschutzes möglich?

Total Probanden: 103 für diese Frage

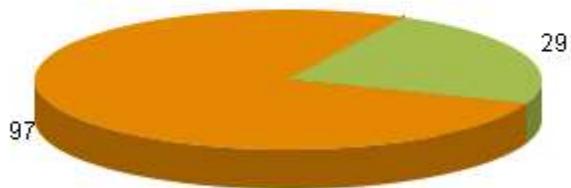




Frage 27

Ist Ihre Wohnung mit einer Lüftungsanlage (Zu- und Abluftanlage) ausgestattet?

Total Probanden: 126 für diese Frage



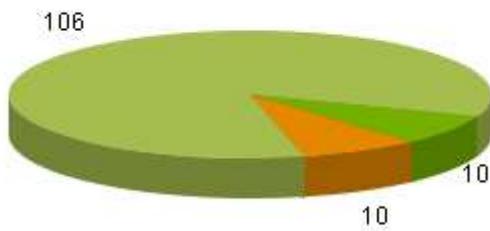
Frage 28

Ist Ihre Wohnung mit einer mobilen oder fest installierten Klimaanlage ausgestattet?

Total Probanden: 126 für diese Frage



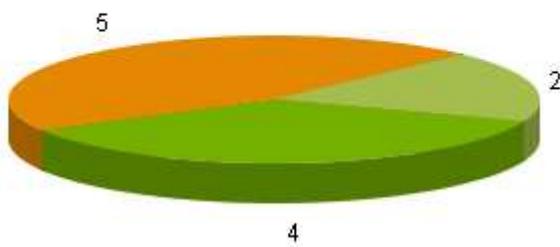
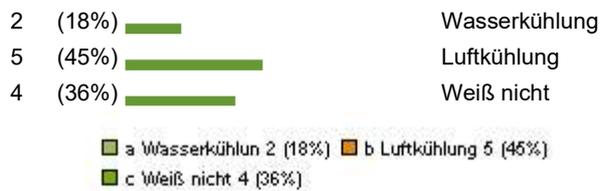
■ a Keine Klimaa 106 (84%)
 ■ b Mobiles Klim 10 (8%)
 ■ c Fest install 10 (8%)



Frage 29

Welche Technologie wird verwendet?

Total Probanden: 11 für diese Frage

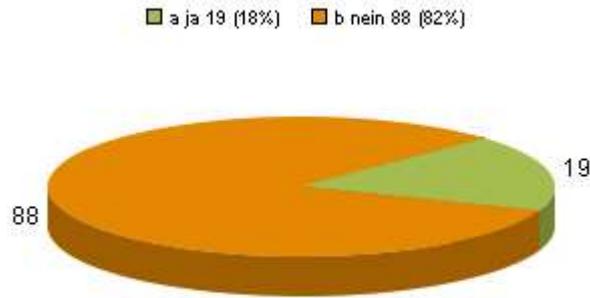


Frage 30

Halten Sie eine Klimaanlage in Ihrer Wohnung für notwendig?

Total Probanden: 107 für diese Frage





Frage 31

Können Sie im Sommer die Fenster nachts in Kippstellung zum Lüften geöffnet lassen?

Total Probanden: 124 für diese Frage



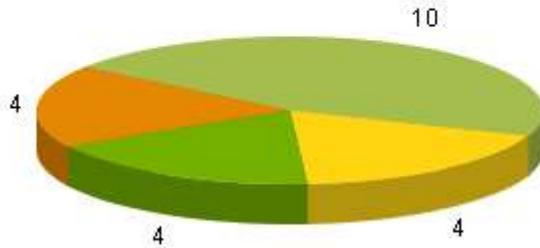
Frage 32

Warum nicht?

Total Probanden: 15 - Total Antworten: 22 - 3 Antworten möglich - % der Probanden / % der Antworten



■ a Außenlärm - 10 (45%) ■ b Sicherheitsb - 4 (18%)
■ c Wetter - 4 (18%) ■ d Sonstiges - 4 (18%)



Frage 33

Nutzen Sie die Möglichkeit der Nachtlüftung im Sommer?

Total Probanden: 116 für diese Frage



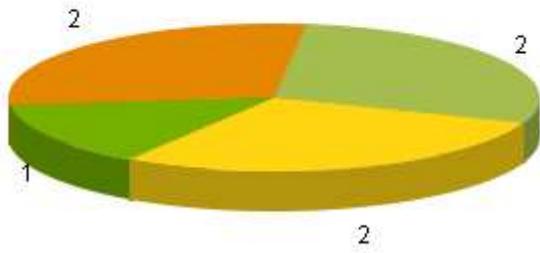
Frage 34

Warum nicht?

Total Probanden: 6 - Total Antworten: 7 - 3 Antworten möglich - % der Probanden / % der Antworten



■ a Außenlärm - 2 (29%) ■ b Sicherheitsb - 2 (29%)
■ c Wetter - 1 (14%) ■ d Sonstiges - 2 (29%)



Frage 35

In welchem Postleitzahlbereich befindet sich Ihre Wohnung? Es sind nur die ersten beiden Stellen der Postleitzahl notwendig.

Total Probanden: 122 für diese Frage

0 (1)	1%	■
10 (2)	2%	■
11 (3)	2%	■
12 (2)	2%	■
15 (1)	1%	■
22 (2)	2%	■
23 (2)	2%	■
25 (1)	1%	■
26 (1)	1%	■
27 (1)	1%	■
28 (1)	1%	■
30 (1)	1%	■
32 (1)	1%	■
34 (3)	2%	■
35 (2)	2%	■
39 (1)	1%	■
40 (2)	2%	■
46 (1)	1%	■
47 (1)	1%	■
48 (1)	1%	■
50 (12)	10%	■
51 (1)	1%	■

52 (6)	5%	■
53 (1)	1%	■
54 (7)	6%	■
62 (1)	1%	■
80 (2)	2%	■
82 (1)	1%	■
83 (3)	2%	■
85 (1)	1%	■
94 (1)	1%	■
1020 (1)	1%	■
1120 (1)	1%	■
1160 (1)	1%	■
1170 (2)	2%	■
1180 (1)	1%	■
1190 (1)	1%	■
1230 (1)	1%	■
2000 (1)	1%	■
2002 (1)	1%	■
2130 (1)	1%	■
2241 (1)	1%	■
2340 (1)	1%	■
2384 (1)	1%	■
2440 (1)	1%	■
2500 (1)	1%	■
3053 (1)	1%	■
3130 (1)	1%	■
3200 (1)	1%	■
3500 (1)	1%	■
3842 (1)	1%	■
3972 (1)	1%	■
4020 (1)	1%	■
4030 (1)	1%	■
4810 (2)	2%	■
4822 (1)	1%	■
5020 (16)	13%	■
5026 (2)	2%	■
5061 (1)	1%	■

5071 (1)	1%	█
5202 (1)	1%	█
5300 (1)	1%	█
5350 (1)	1%	█
5400 (2)	2%	█
5422 (1)	1%	█
5541 (1)	1%	█
5611 (1)	1%	█
6020 (1)	1%	█

Werte: 122 - Summe: 223124 - arith. Mittel: 1828.88 - arith. Mittel exkl. 0-Werten: 1844 - Median: 1165 - Median exkl. 0 Werten: 1170

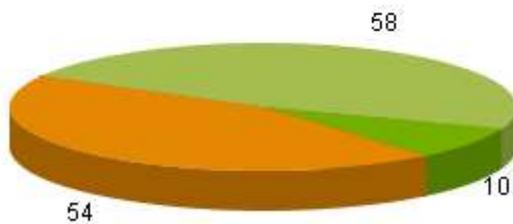
Frage 36

Alter

Total Probanden: 122 für diese Frage

58 (48%)	█	20 bis 40 Jahre
54 (44%)	█	41 bis 60 Jahre
10 (8%)	█	> 60 Jahre

█ a 20 bis 40 Ja 58 (48%)
 █ b 41 bis 60 Ja 54 (44%)
 █ c > 60 Jahre 10 (8%)



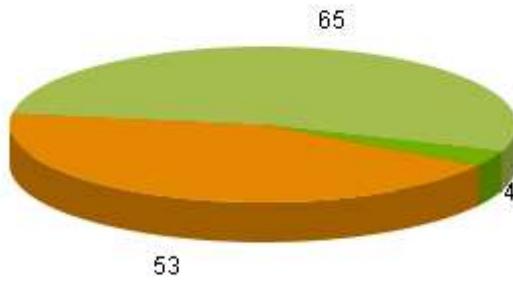
Frage 37

Geschlecht

Total Probanden: 122 für diese Frage

65 (53%)	█	Weiblich
53 (43%)	█	Männlich
4 (3%)	█	Divers

■ a Weiblich 65 (53%) ■ b Männlich 53 (43%) ■ c Divers 4 (3%)



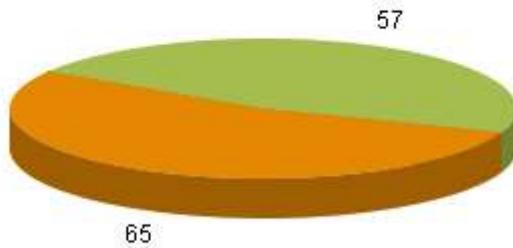
Frage 38

Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt?

Total Probanden: 122 für diese Frage

57 (47%) Bis zu zwei Personen
 65 (53%) Mehr als zwei Personen

■ a Bis zu zwei 57 (47%) ■ b Mehr als zwe 65 (53%)



Frage 39

Höchster Bildungsabschluss

Total Probanden: 119 für diese Frage

2 (2%) Noch kein Schulabschluss
 6 (5%) Hauptschulabschluss
 25 (21%) Schulabschluss bis Hochschulreife
 86 (72%) Hochschulabschluss

a Noch kein Sc 2 (2%) b Hauptschulab 6 (5%)
c Schulabschlu 25 (21%) d Hochschulabs 86 (72%)

