

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	NORM
Langtitel:	New Options for Resilient Measures for human health and well-being in the construction industry under climate change in Austria
Zitervorschlag:	
Programm inkl. Jahr:	ACRP - 12th Call, 2019
Dauer:	05.10.2020 bis 30.9.2022
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	bauXund forschung und beratung gmbh
Kontaktperson Name:	DI Mag. Lukas Clementschitsch
Kontaktperson Adresse:	Donau-City-Straße 1 A-1220 Wien
Kontaktperson Telefon:	01-36070-8805
Kontaktperson E-Mail:	clementsichitsch@bauXund.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	<ul style="list-style-type: none"> • Green4Cities GmbH, Wien • IBR & I Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH, Wien • Universität für Bodenkultur Wien - Institut für Meteorologie und Klimatologie, Wien • Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin, Zentrum für Public Health, Medizinische Universität Wien, Wien
Schlagwörter:	Klimawandel, Stadtklima, Anpassung, Sozialwissenschaft, Naturgefahren, Extreme, Pflanzen, Politik, Gesundheit, Resilienz, Modellierung
Projektgesamtkosten:	EUR 171.156,--
Fördersumme:	EUR 171.156,--
Klimafonds-Nr:	KR19AC0K17544
Erstellt am:	6.12.2022

B) Projektübersicht

1. Kurzfassung

1.1. Ausgangssituation / Motivation für das Projekt

Es ist die bebaute Umwelt, in der die Menschen, die meiste Zeit ihres Lebens verbringen und dem Klima ausgesetzt sind und vor ihm geschützt werden. Es ist wiederum die gebaute Umwelt, in der der größte Teil des Energieverbrauchs stattfindet oder bereitgestellt wird. Die Art und Weise, wie wir unsere gebaute Umwelt gestalten und betreiben, hat nicht nur einen großen Einfluss auf unsere gegenwärtige Gesundheit und unser Wohlbefinden, sondern auch auf unsere zukünftigen Lebensbedingungen, da sie entweder ein wichtiger Treiber oder ein starkes Hindernis für die Abschwächung des Klimawandels und die Anpassung darstellt. Aufgrund der langen Lebensdauer von Immobilien und Sanierungszyklen von mindestens 30 Jahren wirken sich entsprechende Investitionen sehr langfristig auf die Klimaresilienz städtischer Gebiete aus und erfordern daher eine genauere Betrachtung.

Aufgrund ihrer Schlüsselrolle für das menschliche Leben gibt es für die bebaute Umwelt eine Vielzahl von Vorschriften, Gesetzen und Normen, aber viele Vorschriften stammen aus den sechziger und siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts, sind nur unzureichend auf die neue Klimasituation vorbereitet.

1.2. Zielsetzung des Projekts

Das Projekt "New Options for Resilient Measures for human health and well-being in the construction industry under climate change in Austria" (NORM) befasst sich mit der menschlichen Gesundheit und dem Wohlbefinden in der gebauten Umwelt, sowohl in Innenräumen als auch im Außenraum, mit Schwerpunkt auf Thermophysiologie, Photophysiologie und Toxikologie (als Teil der Schadstoffemissionen aus den eingebauten Baumaterialien). Das Ziel von NORM ist die Entwicklung eines politischen Leitfadens für eine klimafreundliche Anpassung und Entwicklung von Vorschriften, Gesetzen und Normen, die für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden bei der Gestaltung und dem Betrieb der bebauten Umwelt in städtischen Gebieten relevant sind.

1.3. Projektstruktur und Methodik

Die Schritte zur Erreichung der Projektziele sind:

1. Überprüfung von Bauvorschriften, Gesetzen und Normen, die sich auf die Gesundheit und das Wohlbefinden beziehen und für die Gestaltung und den Betrieb von Gebäuden und Außenanlagen von Bedeutung sind.
2. Identifizierung relevanter Aspekte und notwendiger Qualitäten von Bauvorschriften, Gesetzen und Standards, die sich auf Gesundheit und Wohlbefinden beziehen, um positive Impulse für die Klimaanpassung zu geben.
3. Erarbeitung eines Simulationsmodells, das die wichtigsten städtischen Standardtypologien und Freiraumstrukturen einbezieht: Gebäude aus der Gründerzeit (ca. 1840-1900), 1950er Jahre mit und ohne Nachrüstung bis hin zu heutigen Gewerbe- und Wohngebäuden.

4. Integration von Klimawandelszenarien in das Simulationsmodell.
5. Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung von gesundheits- und gesundheitsfördernden Bauvorschriften, Gesetzen und Normen, um eine aktive Rolle bei der Ermöglichung und Durchsetzung eines Übergangs der gebauten Umwelt zu menschlicher Gesundheit und Wohlbefinden angesichts des Klimawandels zu übernehmen.

1.4. Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projekts

Die Simulationen haben gezeigt, dass sich unsere Städte in Zukunft bei Hitzewellen nicht ausreichend abkühlen werden. Dies führt zu einer hohen gesundheitlichen Belastung. In den Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 wird es in unseren heutigen städtischen Strukturen bei Hitzewellen keine Freiflächen mehr geben, die einen angenehmen Aufenthalt im Freien ohne Hitzestress ermöglichen. Die Simulationsergebnisse weisen Innsbruck, aufgrund seiner Tallage und der daraus resultierenden Hitzekumulation speziell über die Mittags- und frühen Nachmittagsstunden, als Standort mit dem höchsten thermophysiologischen Stress aus, unter dem von einem Aufenthalt im Freien abzuraten ist. Grüne Infrastrukturen können zur Verbesserung der Außenumgebung eingesetzt werden. Vor allem Entsiegelung und Baumpflanzungen können hier als wirksame Maßnahmen genannt werden und müssen jeweils auf den konkreten Ort bezogen werden. Der Einfluss von grünen Gebäuden auf das Innenraumklima sollte weiter untersucht werden. Die derzeitigen Simulationswerkzeuge bilden die Auswirkungen nicht ausreichend ab.

Für einen körperlich belastungsfreien Nachtschlaf hat die nächtliche Abkühlung eine große Bedeutung. Es zeigt sich jedoch, dass niedrige Innenraumtemperaturen durch die Maßnahme der Nachtlüftung in Wien und Graz mittelfristig nicht mehr sichergestellt werden können, während die Maßnahme in Innsbruck zielführend bleibt.

Im Zuge der Studie hat sich weiters klar gezeigt, dass bei Home-Office und Büronutzung ohne aktive Kühlungsmaßnahmen eine Überhitzung des Innenraumes nicht mehr verhindert werden kann. Als wichtige Einschränkung der Kühlung mit Strahlungsflächen, muss auch vor dem Hintergrund des Klimawandels die Kondensationsgefahr genannt werden. So ist es bauphysikalisch zwingend notwendig, dass die Temperatur der Raumbooberflächen deutlich über der Taupunkttemperatur der Raumluft bleibt. Insbesondere in Graz aufgrund der Beckenlage wird mit einer stärkeren Zunahme als zu den Vergleichsstandorten Wien und Innsbruck gerechnet.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf das Emissionsverhalten von Baustoffen und Bauprodukten wurde ein weitreichendes Fehlen belastbarer wissenschaftlicher Grundlage festgestellt. Es ist daher notwendig, dieses Wissen durch weitere Forschung bereitzustellen, um gezielte Aussagen speziell hinsichtlich der gesundheitlichen Relevanz eines möglichen geänderten Verhaltens zutreffen.

Generell ist festzustellen, dass weiterer Forschungsbedarf betreffend die Folgen des Klimawandels auf die physische und psychische menschliche Gesundheit besteht. Die Bereitstellung belastbarer Aussagen ist notwendig, um Anforderungen an das außen- und innenräumliche Klima sinnvoll zu formulieren.

2. Executive Summary

2.1. Initial situation / motivation of the project

It is the built environment, where people spend most of their lifetimes, being exposed to and protected from climate. Again, it is the built environment, where most of the energy consumption takes place or is provided for. The way we design and operate our built environment has not only a huge influence on our present health and well-being but has further great influence on our future living-conditions by posing either a key driver or a strong obstacle for climate-change mitigation as well as adaptation. Because of the long lifespan of real estate and refurbishment cycles of at least 30 years, respective investments have a very long-term effect on climate resilience of urban areas and thus call for a closer look at.

Due to its key role in human living, the built environment is a domain of multiple regulations, laws, and standards but many codes date back to the sixties and seventies of the 20th century, being poorly prepared to the new climate situation and being driven by the ideas of artificial well-being in indoor surroundings.

2.2. Objectives of the project

The project "New Options for Resilient Measures for human health and well-being in the construction industry under climate change in Austria" (NORM) addresses human health and well-being in the built environment, both indoors and outdoors, focused on thermophysiology, photophysiology and toxicology (as part of pollutant emissions from the built-in building materials). The objective of NORM is to develop a policy guide for a climate supportive adaption and development regulations, laws, and standards relevant to human health and well-being in the design and operation of the built environment in urban areas.

2.3. Project structure and methodology

The steps to reach the project objectives are:

1. Review of health and well-being related building regulations, laws and standards which are relevant to the design and operation of buildings as well as built outdoor structures.
2. Identification of relevant aspects and necessary qualities of health and well-being related building regulations, laws, and standards to deliver positive momentum towards climate adaption.
3. Elaboration of a simulation model that incorporates the most important urban standard typologies and open space structures: buildings from "Gründerzeit"-style buildings (approx. 1840-1900), 1950ies with and without retrofit to contemporary commercial and residential buildings.
4. Integration of climate change scenarios into the simulation model
5. Derivation of policy guidance for the further development of health and well-being related building regulations, laws, and standards, towards an active role to enable and enforce a transition of the built environment to human health and well-being, facing climate change.

2.4. Results and conclusions of the project

Simulations have shown that in the future our cities will not cool down sufficiently during heat waves. This will lead to a high health burden. In the climate scenarios RCP4.5 and RCP8.5, there will be no more open spaces in our current urban structures during heat waves that allow a pleasant stay outdoors without heat stress. The simulation results indicate Innsbruck, due to its valley location and the resulting heat accumulation especially over the midday and early afternoon hours, as a location with the highest thermophysiological stress under which outdoor stays are not recommended. Green infrastructure can be used to improve the outdoor environment. Especially unsealing and tree planting can be mentioned here as effective measures and must be related to the specific location. The impact of green buildings on indoor climate should be further investigated. Current simulation tools do not adequately represent the impact.

Nighttime cooling is of great importance for a physically stress-free nighttime sleep. However, it is shown that low indoor temperatures can no longer be ensured in the medium term by the measure of night ventilation in Vienna and Graz, while the measure in Innsbruck remains target oriented.

During the study, it became clear that in the case of home office and office use, overheating of the interior can no longer be prevented without active cooling measures. The risk of condensation must also be mentioned as an important limitation of cooling with radiant surfaces against the background of climate change. Thus, from the point of view of building physics, it is imperative that the temperature of the room surfaces remains well above the dew point temperature of the room air. In Graz in particular, due to its basin location, a stronger increase is expected than in the comparative locations of Vienna and Innsbruck.

When investigating the effects of climate change on the emission behavior of building materials and building products, a widespread lack of robust scientific basis was found. It is therefore necessary to provide this knowledge through further research to make targeted statements specifically regarding the health relevance of a possible change in behavior.

In general, there is a need for further research on the consequences of climate change on physical and mental human health. The provision of reliable statements is necessary to formulate requirements for the outdoor and indoor climate in a meaningful way.

3. Hintergrund und Zielsetzung

Zu den bereits beobachtbaren Auswirkungen des Klimawandels in städtischen Gebieten gehören längere, intensivere und häufigere Hitzewellen (Filho et al., 2021). Forschung zum städtischen Wärmeinseleffekt - einem mikroklimatischen Phänomen, das in Städten mehr Hitzestress verursacht als in ländlichen Gebieten (Oke, 1982; Depietri et al., 2011) - hat bereits gezeigt, dass es Zusammenhänge zwischen diesem Effekt und höheren Temperaturen und Hitzewellen gibt (Filho et al., 2018; Li et al., 2013; Founda et al., 2012; Zhao et al., 2018; Rogers et al., 2019). Dies hat besonders starke negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (Venter et al. 2020) und zwar weltweit (Watts et al., 2019). Der Einfluss von Hitze und Feuchtigkeit führt zu einem Anstieg von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, aber auch andere Erkrankungen werden häufiger (Mesquita et al., 2022). Studien haben bestätigt, dass dieser Effekt ebenso die Sterblichkeit erhöht (Laaidi et al., 2012; Gabriel et al., 2011). Hitzestress, thermische Erschöpfung, Hitzschlag und kardiovaskuläre Erkrankungen tragen alle zu dieser Entwicklung bei (Kleerekoper et al., 2012). Anthro-

gene Stressoren - wie die zunehmende Bodenversiegelung und die Verwendung von wärmeabsorbierenden Oberflächen - tragen erheblich zu diesen Problemen bei (Filho et al., 2021). Bisher haben Wissenschaftler:innen bestätigt, dass der Effekt in über 400 Städten auftritt (Santamouris, 2015; Santamouris, 2016). Auf lokaler Ebene kann der städtische Wärmeinseleffekt folgende Folgen haben: Zunahme des thermischen Unbehagens, höherer Energiebedarf aufgrund eines erhöhten Kühlbedarfs, Gesundheitsprobleme wie Hitzeschläge, schlechtere Luftqualität und erhöhte Anfälligkeit (Filho et al., 2017).

In Bezug auf die menschliche Gesundheit sind die zunehmende Nahrungsmittelknappheit und der Mangel an Trinkwasser definitiv ernst zu nehmende Probleme. Die Ausbreitung von - durch Vektoren übertragenen - Krankheiten und häufigere, länger andauernde und intensivere Hitzewellen gehören ebenfalls zu den schwierigsten Auswirkungen des Klimawandels (IPCC, 2007; Watts et al., 2019). Die verschiedenen - oft katastrophalen - Auswirkungen des Klimawandels können Flora, Fauna und die menschliche Gesundheit auf vielfältige Weise schädigen, wobei die Gesundheitsrisiken ungleich verteilt sind (Ingole, 2022). Sozioökonomisch schwache, chronisch kranke Menschen, Menschen mit psychischen Erkrankungen, ältere Menschen, Schwangere, Wöchnerinnen, Kinder, Menschen mit eingeschränkter Mobilität, Menschen mit kognitiven Behinderungen, Obdachlose, Migranten und Flüchtlinge, aber auch Notfallhelfer, Umweltforscher und Therapeuten sind von den Folgen des Klimawandels oft stärker betroffen als der Rest der Bevölkerung (Berry et al., 2010 in Schaffernicht, 2021; Clark et al., 2020 in Schaffernicht, 2021; Watts et al., 2015 in Schaffernicht, 2021). Ältere Menschen (Gasparrini et al., 2012), Menschen, die bereits Krankheiten haben (Page et al., 2012), sozial isolierte Menschen (Fouillet et al., 2012), Menschen, die in Dachgeschosswohnungen und in Pflegeheimen leben (Kovats et al., 2003; Taylor et al., 2015), sind am meisten von den zunehmenden Hitzewellen in Europa betroffen. Die Auswirkungen von Hitze auf die allgemeine Sterblichkeit (Gasparrini et al., 2017; Hajat et al., 2010) und auf die kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität (Moghadaminia et al., 2017; Phung et al., 2016; Ye et al., 2012; Silveira et al., 2021) wurden bereits in verschiedenen wissenschaftlichen Studien dokumentiert. Zu den eher unerwarteten Auswirkungen des Klimawandels und von Naturkatastrophen im Allgemeinen gehören die Effekte, die sich negativ auf die menschliche Psyche auswirken (Clark et al., 2020 in Schaffernicht, 2021; Watts et al., 2015 in Schaffernicht, 2021), was in den letzten Jahren zunehmend wissenschaftliche Aufmerksamkeit erhalten hat (Berry et al., 2010; Clayton, 2020; Cunsolo et al., 2018; Cianconi et al., 2020). Im Zusammenhang mit dem Klimawandel können sich beispielsweise Psychopharmaka negativ auf die Homöostase eines Menschen auswirken und zu Schäden oder sogar zum Tod führen (Clark et al., 2020, S. 2). Es gibt bereits erste Studien, die bestätigen, dass höhere Temperaturen und vermehrte Niederschläge mit einer Verschlechterung der psychischen Gesundheit korrelieren (Obradovich et al., 2018 in Schaffernicht, 2021; Cianconi et al., 2020 in Schaffernicht, 2021). Tiefgreifende emotionale Reaktionen oder Störungen wie ökologische Trauer, Angst, Verlustgefühle, Schuldgefühle, Hoffnungslosigkeit, Stress, Hilflosigkeit, Scham, Verzweiflung und Neid können durch den Klimawandel ausgelöst oder verstärkt werden (Hoggett, 2019 in Schaffernicht, 2021), wobei direkte (z. B. Stürme und Überschwemmungen) und indirekte (z. B. landwirtschaftliche Ernteverluste) Folgen des Klimawandels auftreten können (Watts et al., 2015, S. 4).

Wissenschaftler:innen haben gezeigt, dass ein dringender Handlungsbedarf besteht und dass die wirksamste Strategie gegen den städtischen Wärmeinseleffekt darin besteht, städtische Grün- und Wasserflächen zu vergrößern oder bereits vorhandene grüne und blaue Infrastruktur im privaten und öffentlichen Bereich weiter auszubauen (Lehmann,

2014; Lin et al., 2016; Livesley et al., 2016; Norton et al., 2015; Antoszewski et al., 2020). Natürliche und naturnahe Landschaftselemente - wie Parks, Felder, Sportanlagen, Gärten, Bäume, grüne Fassaden, Teiche oder Weiher - werden als grüne und blaue Infrastruktur bezeichnet (Capari et al., 2022; Lehmann, 2014; Menon et al., 2010; Shou et al., 2012; Xiao et al., 2015; Lee et al., 2011). Capari et al. (2022) analysieren die Bedeutung, die grüne und blaue Infrastruktur im Kampf gegen die negativen Auswirkungen des städtischen Wärmeinseleffekts haben kann. Neben technischen Maßnahmen gewinnen in diesem Zusammenhang naturbasierte Interventionen an Bedeutung, da sie das Potenzial haben, zur Gesundheitsförderung und zum Wohlbefinden der Stadtbevölkerung beizutragen. Grüne und blaue Infrastrukturen haben den Vorteil, dass sie gleichzeitig zur Anpassung an den Klimawandel und zu dessen Eindämmung beitragen können (Capari et al., 2022). Die städtische Vegetation kann beispielsweise als Filter gegen Luftverschmutzung dienen und so die körperliche Gesundheit fördern. Gleichzeitig hat dies in der Regel auch positive Auswirkungen auf die menschliche Psyche (Andreucci et al. 2019 in Capari et al., 2022).

Die Art und Weise, wie wir unsere gebaute Umwelt gestalten und betreiben, hat nicht nur, wie bereits erwähnt, einen großen Einfluss auf unsere gegenwärtige Gesundheit und unser Wohlbefinden, sondern auch auf unsere zukünftigen Lebensbedingungen, indem sie entweder eine wichtige Triebkraft oder ein starkes Hindernis für die Abschwächung des Klimawandels und die Anpassung daran darstellt. Aufgrund der langen Lebensdauer von Immobilien und Sanierungszyklen von mindestens 30 Jahren wirken sich entsprechende Investitionen sehr langfristig auf die Klimaresilienz von Stadtgebieten aus und bedürfen daher einer genaueren Betrachtung. Der Aspekt der Klimaresilienz wird noch relevanter, wenn man bedenkt, dass mehr als 70% der österreichischen Bevölkerung in einer Stadt lebt und diese städtischen Gebiete überproportional vom Klimawandel betroffen sind (Revi et al. 2014). Resilienz der gebauten Umwelt (im Innen- und Außenbereich) kann als die Fähigkeit verstanden werden, den Menschen unter einem sich ändernden Klima und variablen Wetterbedingungen, mit Schwerpunkt auf Hitzewellen, durch ihre Gestaltung Gesundheit und Wohlbefinden zu bieten. Aufgrund ihrer Schlüsselrolle für das menschliche Leben gibt es für die gebaute Umwelt zahlreiche Vorschriften, Gesetze und Normen, doch viele Vorschriften stammen aus den sechziger und siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts, sind schlecht auf die neue Klimasituation vorbereitet und werden von der Idee des künstlichen Wohlbefindens in Innenräumen bestimmt. Angesichts der hohen Komplexität der Auswirkungen des Klimawandels auf die gebaute Umwelt und die menschliche Lebensqualität ist es von entscheidender Bedeutung, nicht nur die Gebäudehüllen und die Energieversorgung zu verändern, sondern dies auf eine stringente Art und Weise zu tun, um die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen nachhaltig zu gewährleisten.

Das Projekt NORM befasst sich mit der menschlichen Gesundheit und dem Wohlbefinden in der bebauten Umwelt, sowohl in Innenräumen als auch im Freien, mit Schwerpunkt auf Thermophysiologie, Photophysiologie und Toxikologie (als Teil der Schadstoffemissionen aus den eingebauten Baumaterialien).

Das Ziel von NORM ist die Entwicklung eines politischen Leitfadens für eine klimafreundliche Anpassung und Entwicklung von Vorschriften, Gesetzen und Normen, die für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden bei der Gestaltung und dem Betrieb der bebauten Umwelt in städtischen Gebieten relevant sind.

4. Projektinhalt und Ergebnis(se)

4.1. Ergebnisse Klimadaten

Bei der Auswahl der Klimadaten ging es darum, einerseits sowohl für die historische Entwicklung als auch für zukünftige Klimaszenarien alle notwendigen meteorologischen Variablen, in der von den Modelliergruppen benötigten, zeitlichen Auflösung, zur Verfügung zu stellen. Dabei sollten unterschiedliche Gegebenheiten in Österreich abgebildet werden als auch unterschiedliche Klimaszenarien betrachtet werden. Dies alles vor dem Hintergrund, dass aufgrund des hohen Rechenbedarfs einzelner Modelle, nur eine möglichst kleine Anzahl an Episoden berechnet werden konnte.

Um mögliche Kumulationseffekte bei der Untersuchung von Hitzewellen zu berücksichtigen, wurde beschlossen, Episoden mit einer Gesamtlänge von fünf Tagen zu untersuchen. Außerdem sollten nicht die extremsten Hitzewellen untersucht werden, sondern Ereignisse, die immer wieder zu erwarten sind und daher eine Anpassung notwendig ist. Daher wurde der Fünf-Tage-Mittelwert der täglichen Höchsttemperatur zur Definition der Hitzewellen herangezogen, und es wurden Ereignisse mit einer zweijährigen Wiederholungswahrscheinlichkeit ausgewählt. Da derzeit der Zeitraum 1981-2000 als Referenz für Temperaturgrenzwerte in Österreich festgelegt ist, wurde die Wiederholungswahrscheinlichkeit für diesen Zeitraum bestimmt und aus Gründen der Konsistenz auch für alle anderen Zeiträume 20 Jahre verwendet. Zusätzlich zu 1981-2000 wurde der Zeitraum 2001-2020 zur Quantifizierung des bereits eingetretenen Klimawandels untersucht, sowie die Zeiträume 2041-2060 für die Jahrhundertmitte und 2071-2090 für das Jahrhundertende für die Klimaszenarien.

Da nur zwei verschiedene Klimaszenarien umgesetzt werden konnten, wurde ein niedriges Szenario definiert, das repräsentativ für die Entwicklung bis zur Mitte des Jahrhunderts bzw. für die Einhaltung des Pariser Klimaschutzabkommens (RPC 2.6) ist, sowie ein hohes Szenario (RCP 8.5), das die mögliche Bandbreite der Entwicklung bis zum Ende des Jahrhunderts abdeckt.

4.1.1. Auswahl der Standorte

Aufgrund der Limitierungen der Modellanwendungen konnten drei verschiedene Standorte ausgesucht werden. Wien als einzige Millionenstadt in Österreich mit einem sehr stark ausgeprägten „Urban Heat Island“ Effekt war die erste Auswahl.

Hierbei ist Wien aber auch ein typisches Beispiel für Städte die in gut ventilierten Tieflagen, wie dem Donautal liegen. Bei den beiden anderen Standorten sollten Beispiele für Inneralpine Tallagen sowie für die großen alpinen Becken gefunden werden. Inneralpine Tallagen zeichnen sich durch einen wesentlich stärkeren Tagesgang bei der Temperatur aus und Beckenlagen sind häufig sehr windschwach. Für die Tallagen wurde Innsbruck ausgewählt und für die Beckenlagen Graz.

Aufgrund der direkten Berechnung aus Beobachtungsdaten für die beiden historischen Perioden sowie die Addition des Klimaänderungssignales bestimmt aus den Ensemblewerten der ÖKS15 (Chimai et al., 2016) Szenarien wurden die Mitteltemperaturen der untersuchten Hitzewellen bestimmt. Diese sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Bereits im Beobachtungszeitraum sind die Hitzewellentemperaturen markant gestiegen. Da die Definition auf der Tagesmaximumtemperatur beruht ist diese in Innsbruck etwa gleich hoch wie in Wien, in Graz ist sie in etwa um 1.5 Grad niedriger. Dies liegt daran, dass sich das Inntal unter

Tags sehr stark aufheizt und damit ähnlich hohe Temperaturen erreicht wie Wien, das doch mehrere hundert Meter niedriger liegt.

Tabelle 1: Mitteltemperatur fünftägiger Hitzewellen mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von zwei Jahren.

Periode/Ort	1981-2000	2001-2020	Szenario niedrig	Szenario hoch
Graz	30.4	32.3	33.6	36.7
Innsbruck	31.2	33.9	35.6	37.9
Wien	31.7	33.9	35.4	37.9

4.1.2. Auswertungen zum Taupunkt

Neben der Aufbereitung der meteorologischen Eingabedaten für die Modelle wurde in diesem Teil auch die Entwicklung der Taupunkttemperatur untersucht. Hintergrund hierfür ist, dass bei passiven Kühlsystemen eine Fußboden- oder Deckenkühlung erfolgt, wobei die Temperatur häufig auf etwa 20 °C abgekühlt wird. Ist jedoch die Luftfeuchtigkeit so hoch, dass die Taupunkttemperatur 20 °C übersteigt, muss bei derartigen Kühlsystemen mit Kondenswasserbildung und im Extremfall Schimmelbildung gerechnet werden.

Eine Analyse der heutigen Situation zeigt, dass derartige Luftfeuchtwerte noch sehr selten erreicht werden, diese aber durch den Klimawandel bereits deutlich zugenommen haben (siehe Abbildung 1 links). In Innsbruck war dies im Zeitraum 1981-2000 überhaupt noch ein zehnjähriges Ereignis und in den letzten 20 Jahren kam es bereit einmal pro Jahr vor. In Wien liegen die Werte deutlich höher, aber am feuchtesten ist es in Graz, wo etwa 2 derartige Ereignisse pro Jahr vorkommen. Dies ist doch einigermaßen erstaunlich, da die Hitzewellen insgesamt doch deutlich kühler verlaufen als an den beiden anderen Standorten. Hier scheint die Beckenlage und die niedrigen Windgeschwindigkeiten den Abtransport der Feuchte zu verhindern. Betrachtet man die Szenarien für Graz (Abbildung 1 rechts), so muss durch den Klimawandel mit einer massiven Zunahme von Tagen mit zumindest 20 °C Taupunkttemperatur gerechnet werden. Im Extremszenario erfolgt dies im Mittel mehr als 16-mal pro Jahr und in Extremjahren sogar länger als ein Monat.

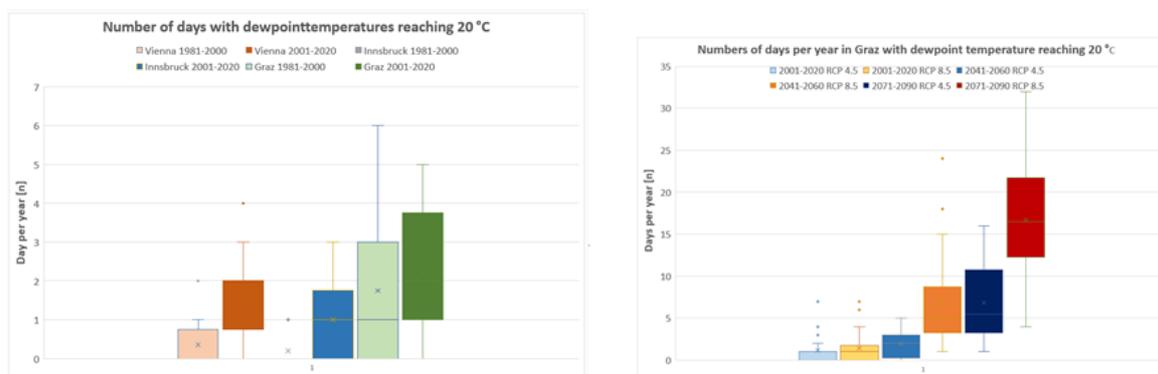


Abbildung 1: Links: Anzahl an Tagen mit Taupunkttemperaturen über 20 °C für den Zeitraum 1981-2000 sowie 2001-2020 an den drei Standorten. Sowie rechts Klimaszenarien basierend auf ausgewählten Modellen die dem Ensemblemittel der Emissionsszenarien RCP4.5 und 8.5 entsprechen für Graz.

4.2. Ergebnisse Außenraumsimulation

4.2.1. Übersicht Klimaszenarien

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Klimaeingangsdaten (gestrichelte Linie), die Simulationsausgangsdaten (durchgezogene Linie) und die mittleren Simulationsausgangsdaten (gepunktete Linie) für verschiedene Zeiträume während einer Hitzewelle für Wien. Die blauen Linien zeigen die Ergebnisse der aktuellen Klimaperiode, die gelben Linien repräsentieren das Klimaszenario RCP4.5 für das Jahr 2050 und die roten Linien RCP8.5 für 2080. Diese Grafik gibt den Wärmeinseleffekt anschaulich wieder, denn durch die Aufheizung der Gebäude ist die Ausgangstemperatur der Simulation vor allem tagsüber höher als die Eingangstemperatur. Mit Ausnahme des ersten Tages im aktuellen Zeitraum sind alle Nächte in den ausgewählten Hitzewellen Tropennächte. In einigen Nächten liegt die Temperatur sogar weit über der 20-Grad-Marke für Tropennächte.

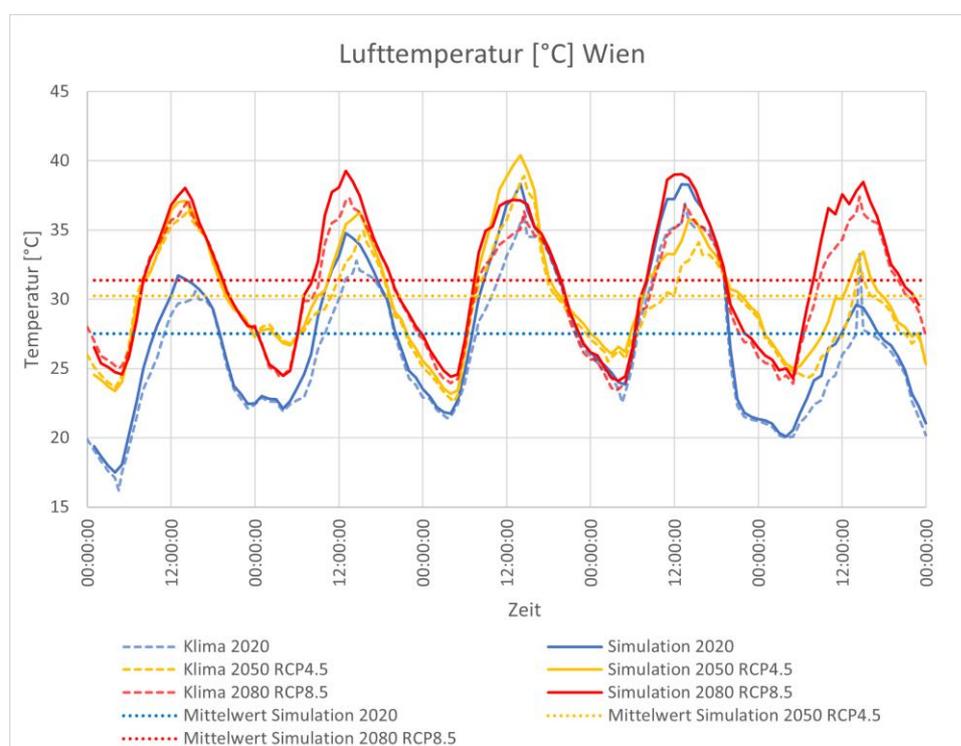


Abbildung 2: Lufttemperatur in °C für Wien: Klimaeingangsdaten (strichlierte Linie), Simulationsausgangsdaten (durchgezogene Linie) und mittlere Simulationsausgangsdaten (gepunktete Linie) für aktuelle Klimaperiode (blau), RCP4.5 2050 (gelb) und RCP8.5 2080 (rot).

4.2.2. Landeshauptstädte im Vergleich

Um die Aufenthaltsqualität im Außenraum zu beschreiben, wird die physiologische Äquivalenttemperatur (PET) verwendet. Abbildung 3 zeigt die PET als Mittelwert über die Hitzewelle um 15 Uhr mit den Gebäudestrukturen in schwarz. Die linke Spalte beschreibt den aktuellen Zeitraum, die mittlere Spalte steht für RCP4.5 2050 und die rechte Spalte ist das Ergebnis der Hitzewelle RCP8.5 2080. Die erste Reihe zeigt die Ergebnisse für Wien, die zweite Reihe für Innsbruck und die dritte Reihe die Ergebnisse für Graz. Die kühlest Bereiche liegen in allen Städten in der gelben Farbskala, bei denen gefühlte Temperaturen ab 35°C vorkommen und bereits eine starke Hitzebelastung vorliegt. Ab der orangefarbenen Farbskala bedeutet es einen extremen Hitzestress für den menschlichen Körper. Das

heißt, dass es im Durchschnitt bei einer Hitzewelle keine Bereiche gibt, die bei den heute typischen Stadtstrukturen einen angenehmen Aufenthalt ermöglichen. Wie zu erwarten, verschärft sich die Belastung durch Hitzestress in den Klimaszenarien immer weiter. Innsbruck ist von allen Städten durch die Tallage am heißesten, da sich die Hitze dort besonders staut und ein Luftaustausch mit der Umgebung unterbunden wird. Wien hat tagsüber den geringsten Hitzestress der drei Landeshauptstädte, da Wien durch die Ventilation des Westwindes positiv beeinflusst wird. Die thermische Belastung liegt in Graz durch die Beckenlage zwischen Innsbruck und Wien.

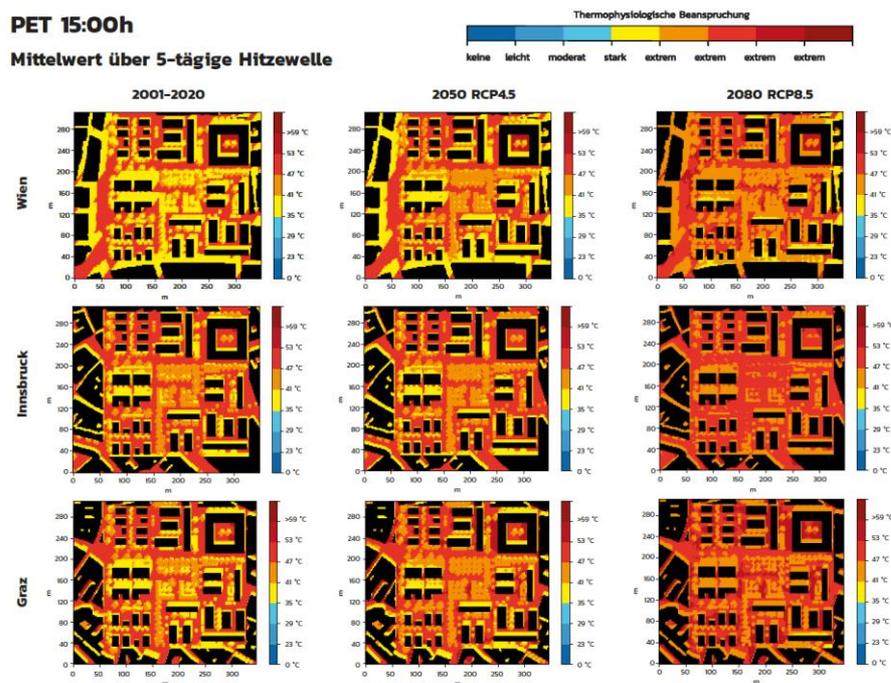


Abbildung 3: PET in °C als Mittelwert über Hitzewelle um 15 Uhr für Wien (erste Reihe), Innsbruck (mittlere Reihe) und Graz (letzte Reihe) für aktuelle Klimaperiode (erste Spalte), RCP4.5 2050 (mittlere Spalte) und RCP8.5 2080 (letzte Spalte).

4.2.3. Bewertung der Referenzszenarien

Neben der Status Quo Simulation wurden auch Referenzszenarien entwickelt, um Stadtstrukturen im Rahmen ihrer Möglichkeiten beurteilen zu können. Die Referenzszenarien wurden für Wien durchgeführt, mit der Annahme, dass die Begrünung in allen Städten ähnliche Auswirkungen hat. Abbildung 4 zeigt die kumulierten Summen über die gesamten Zeiträume, d.h. zu jeder Stunde wird der vorherige Wert addiert. In den Grafiken sind exemplarisch die Ergebnisse für 2080 RCP8.5 dargestellt mit Status Quo (SQ) als gelbe, Worst Case (WC) als rote und Best Case (BC) als grüne Linie. In der Grafik links oben ist die kurzweilige Strahlung zu sehen, die auf die Oberflächen im Gebiet auftrifft. Aufgrund der vielen Grünflächen und schattenspendenden Bäumen trifft im Best Case mehr als dreimal weniger Strahlung auf die Oberflächen als im Worst Case auf. Das bedeutet, dass in dem Gebiet nur ein Drittel der potenziell möglichen Energie zur Verfügung steht, die die Oberflächen und somit die Luft aufheizen kann.

Gut zu erkennen ist dies in der Grafik rechts oben über die thermische Speicherfähigkeit (TSS), welche die Wärmespeicherfähigkeit der Materialien im Projektgebiet anhand ihrer bauphysikalischen Eigenschaften angibt. Je niedriger der TSS, desto weniger Energie wird

in den Materialien gespeichert. Tagsüber heizen sich die Materialien auf, während sie nachts die Wärme wieder an die Umgebung abgeben. Im Laufe einer Hitzewelle zeigt sich jedoch der Trend, dass die Materialien mit jedem Tag mehr Energie aufnehmen und speichern.

Der thermische Abluftstrom (TLS) ist in der Grafik unten links als kumulative Summe dargestellt. Der TLS gibt an, wie sich die Gebäudestrukturen auf die Lufttemperatur in der Umgebung auswirken. Nach fünf Tagen summiert sich der Unterschied auf 3°C zwischen dem Worst-Case-Szenario und dem Best-Case-Szenario. D.h. in Summe hat das untersuchte Gebiet im Worst Case deutlich mehr die Umgebung erwärmt als das Best Case.

Der thermische Komfort (TCS) ist in der Grafik unten rechts dargestellt und gibt an, wie viele sowie welche Flächen sich im Projektgebiet in der jeweiligen Gefühlszone (sehr kalt - sehr heiß) befinden. Die PET-Oberflächen werden also - wie zuvor gesehen - in thermophysiological Belastungsklassen eingeteilt. Diese Flächenverteilung wird dann mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multipliziert. Daraus ergibt sich der TCS, ein Wert von 0 bis 100 (je höher, desto besser). Das Ergebnis zeigt, dass in den frühen Nachmittagsstunden in allen Referenzszenarien im Jahr 2080 RCP8.5 kein Komfort möglich ist. Im Best-Case-Szenario beginnt der Komfort jedoch viel später zu sinken und steigt früher am Abend wieder an als im Worst-Case-Szenario. Weiters ist an den Tagen, an denen nicht alle Oberflächen zu den extrem heißen Gefühlsklassen gehören, ein Unterschied zwischen den Szenarien zu erkennen (Tag 1 und Tag 3).

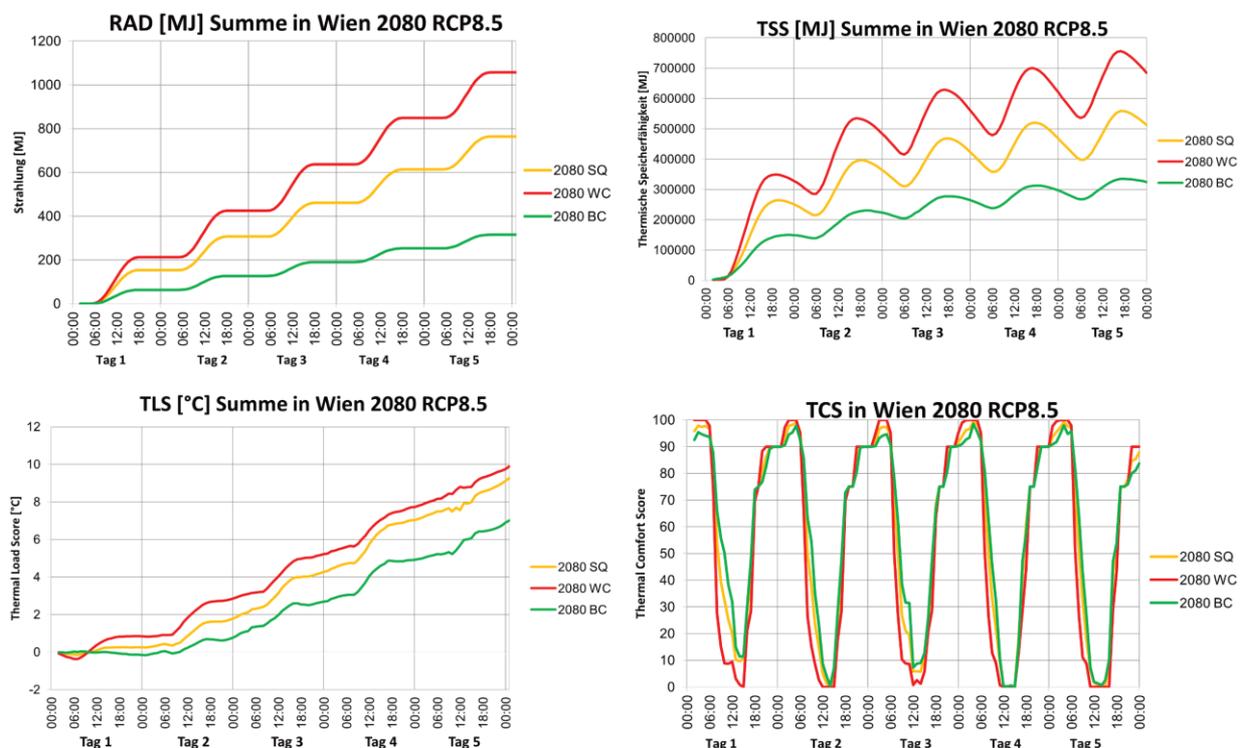


Abbildung 4: Referenzszenarien als kumulative Summe über die Hitzewelle für Wien: kurzweilige Strahlung (o.l.), thermische Speicherkapazität (o.r.), thermischer Abluftstrom (u.l.) und thermischer Komfort (u.r.) für RCP8.5 2080.

4.2.4. Optimierung

Ausgehend von den Ergebnissen für Wien für den Zeitraum 2001-2020 wurde ein modifiziertes Szenario erstellt. Dieses Szenario besteht aus einer individuell angepassten und realistisch umsetzbaren Begrünung mit dem Ziel, ähnlich gut wie das Best Case Szenario abzuschneiden. Für das modifizierte Szenario wurden alle Flächen entsiegelt (ausgenommen öffentliche Straßen), auf allen Flachdächern werden extensive Dachbegrünungen angelegt. Fassadenbegrünung und Bäume werden je nach Hotspots und Windfeld angepasst. Abbildung 5 links zeigt den PET-Unterschied zwischen dem modifizierten Szenario und dem Status Quo am ersten Tag um 15 Uhr. In den meisten Bereichen ist das modifizierte Szenario kühler (bis zu 18,9 °C) als das Status Quo. Es gibt einzelne Bereiche, in denen der Status Quo besser abschneidet. In der rechten Abbildung liegt die Leistung des modifizierten Modells zwischen dem Status Quo und dem Best Case für die Key-Performance-Indicators (KPIs) thermischer Abluftstrom (TLS), thermischer Komfort (TCS), thermische Speicherfähigkeit (TSS) und Abflussbeiwert (ROS).

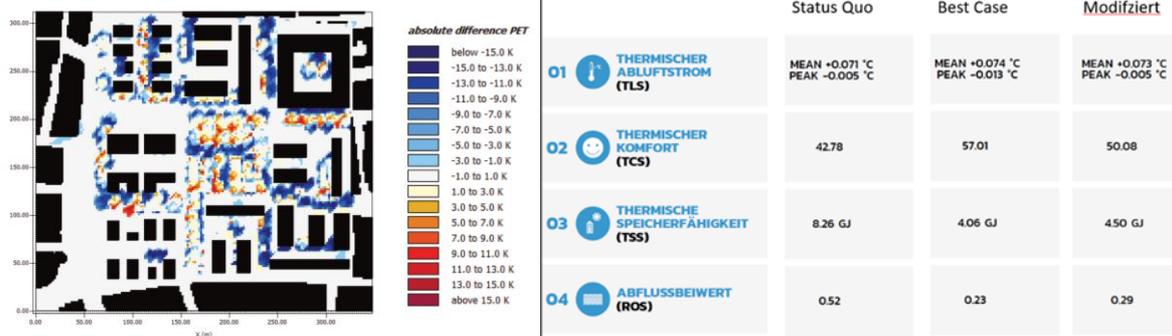


Abbildung 5: PET-Vergleich modifiziertes Modell – Status Quo um 15 Uhr am 1. Tag (l.) und KPI-Vergleich Status Quo, Best Case und modifiziertes Modell im Tagesmittel am 1.Tag (r.).

Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der nächtlichen Abkühlung am zweiten Tag um 4 Uhr morgens. Die linke Grafik zeigt den Unterschied zwischen dem modifizierten Szenario und dem Status Quo, die rechte Grafik den Unterschied zwischen dem modifizierten Szenario und dem Best Case. In der Abbildung ist das modifizierte Szenario nachts wärmer als der Status Quo, aber kühler als der Best Case. Im Best Case ist die nächtliche Abkühlung aufgrund der hohen Anzahl von Bäumen schlechter, da die Baumkronen ein Vordach bilden und die warme Luft darunter zurückhalten, so dass die warme Luft nicht abfließen kann. Somit schneidet das modifizierte Modell tagsüber besser ab als der Status Quo und nachts besser als der Best Case.

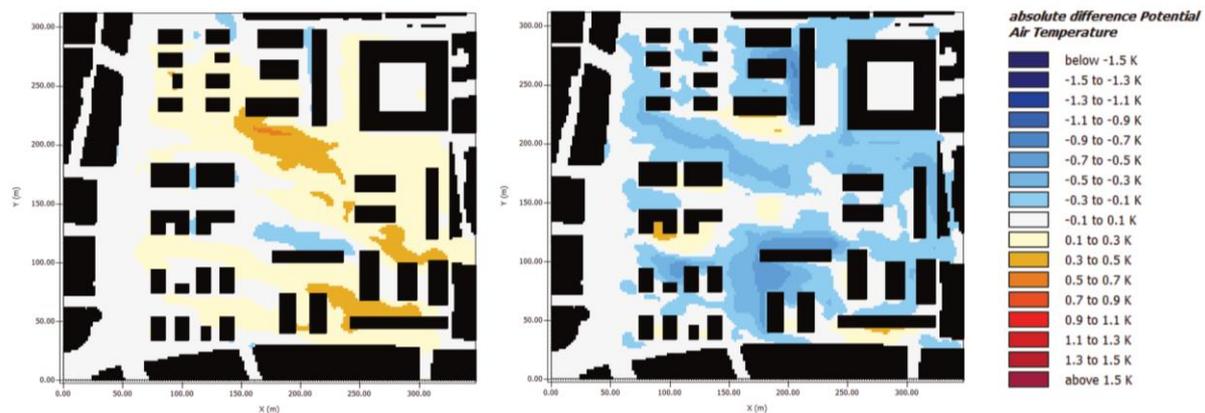


Abbildung 6: Vergleich der Lufttemperatur um 4 Uhr am 2. Tag für Bewertung der nächtlichen Abkühlung: modifiziertes Modell – Status Quo (l.) und modifiziertes Modell – Best Case (r.).

4.3. Ergebnisse Innenraumsimulation

4.3.1. Variantenbeschreibung und Ergebnisdarstellung

Um die Auswirkungen verschiedener Maßnahmenpakete auf das Innenraumklima zu analysieren, wurden die folgenden Varianten definiert.

- Variante „Unsanier“
Dabei werden die Bestandsgebäude in den verschiedenen Klimaszenarien ohne Sanierungsmaßnahmen simuliert.
- Variante „Sanier“
Dabei werden Sanierungsmaßnahmen bei den Bestandsgebäuden angewandt und in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.
- Variante „Fassadenbegrünung“
Dabei werden die Gebäude mit einer Fassadenbegrünung ausgestattet und in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.
- Variante „Sanier ohne Sonnenschutz“
Dabei werden die sanierten Gebäude ohne, bzw. mit innenliegendem Sonnenschutz ohne Sonnenschutzfunktion, gemäß ÖNORM B 8110-3, in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.
- Variante „ohne Nachtlüftung“
Dabei werden die Gebäude, mit Sonnenschutz jedoch ohne Nachtlüftung, in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.
- Variante „Kühlung“
Dabei wird das Neubau-Gebäude mit einem Flächenkühlsystem an der Geschoßdecke in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.
- Variante „Home-Office“
Dabei werden die Nutzungsbedingungen auf Home-Office Nutzung verändert und in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.

- Variante „Büro“
Dabei werden die Nutzungsbedingungen auf Büro Nutzung verändert und in den verschiedenen Klimaszenarien simuliert.

Die Analyse der Raumklimasimulation basiert auf der Anzahl der Stunden, die über bzw. unter bestimmten Schwellentemperaturen liegen. Die Schwellentemperaturen sind wie folgt angegeben:

- Schwellenwert für Überhitzung nach der OIB-Richtlinie 6 2015
Dieser Schwellenwert definiert die maximale operative Temperatur, die ein Innenraum aufweisen darf, bevor er laut der veralteten OIB-Richtlinie 6 2015 als "überhitzt" gilt. Dieser Schwellenwert ist seit 2019 nicht mehr gültig.
- Schwellenwert für Überhitzung nach der OIB-Richtlinie 6 2019
Dieser Schwellenwert definiert die maximale operative Temperatur, die ein Innenraum aufweisen darf, bevor er laut der aktuell gültigen OIB-Richtlinie 6 aus dem Jahr 2019 als "überhitzt" gilt. Es ist darauf zu achten, dass dieser Grenzwert in neu errichteten Häusern nicht überschritten werden darf. Der Grenzwert wird wie folgt berechnet:

$$\theta_{OIB} = 1/3 * T_{NAT,13} + 21,8^{\circ}C \uparrow$$

- Dabei beschreibt $T_{NAT,13}$ jene Temperatur, die an einem bestimmten Ort an durchschnittlich 13 Tagen im Jahr überschritten wird. Um die Auswirkungen von Klimawandelszenarien zu berücksichtigen, wird angenommen, dass sich der Schwellenwert verändert. Diese Änderung des Schwellenwerts wird berücksichtigt, indem die Änderung der mittleren Außenlufttemperatur während des Sommers entsprechend den verschiedenen Klimaszenarien dem $T_{NAT,13}$ addiert wird.
- Schwellenwert für Überhitzung nach der World Health Organisation (WHO)

Gemäß der WHO beträgt der Schwellenwert zur medizinischen Überhitzung 32 °C untertags und 24 °C in der Nacht. In dieser Analyse wird der Schwellenwert von 24 °C in der Nacht angewandt.

Aufgrund der Relevanz von Mehrfamilienhäusern in Städten wird das bestehende Mehrfamilienhaus als repräsentatives Beispiel für die drei Gebäudevarianten gewählt. In den Simulationen werden lediglich die Räume im Dachgeschoss als charakteristische Zonen mit dem höchsten Überhitzungsrisiko dargestellt. Es werden die entgegengesetzten Klimawandelszenarien 2050 RCP4.5 und 2080 RCP8.5 aufgrund ihrer maßgebenden Relevanz für die Zukunft dargestellt.

4.3.2. Ergebnisse Innenraumsimulation

Abbildung 7 zeigt die Zone des obersten Geschoßes des renovierten Bestands-Mehrfamilienhauses im Klimaszenario 2050 RCP4.5. Der Vergleich der verschiedenen Standorte zeigt, dass die Bedingungen in einigen Regionen eher zu einer Überhitzung von Innenräumen führen als in anderen. In dieser Analyse zeigen vor allem die lokalen Bedingungen in Wien

ein hohes Überhitzungspotenzial. Dies lässt sich auf die hohen Temperaturen in der Nacht zurückführen, die eine reduzierte Kühlwirkung durch Nachtlüftung bewirken.

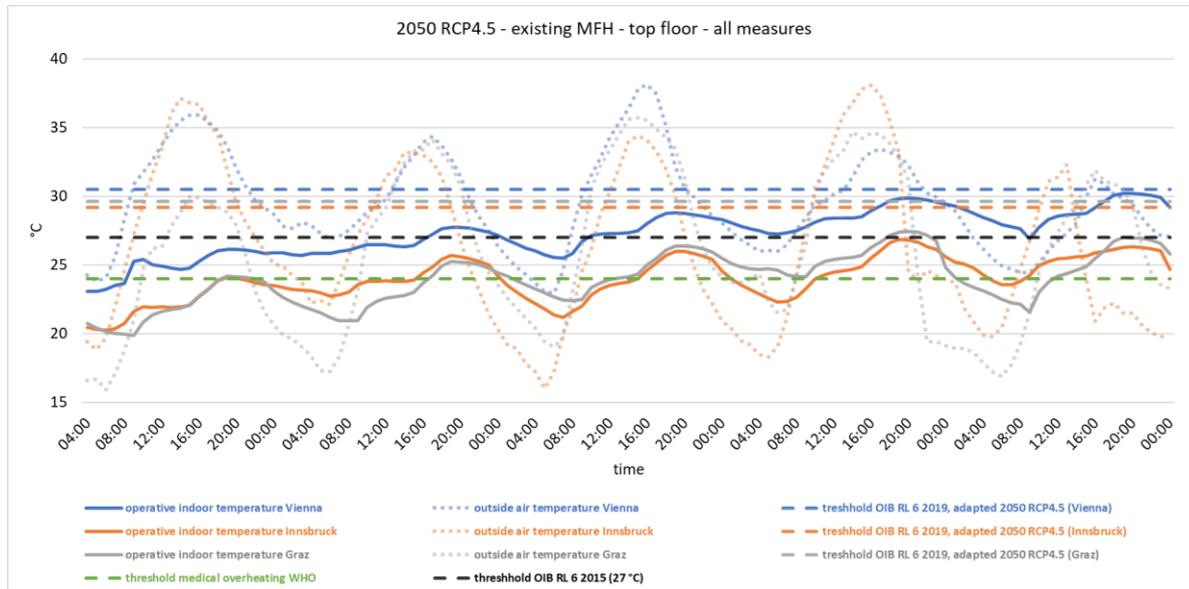


Abbildung 7: Vergleich der operativen Innenraumtemperatur während der fünftägigen Hitzewelle im Klimaszenario 2050 RCP4.5 in Wien, Innsbruck und Graz

Die folgende Abbildung 8 sind die Überschreitungsstunden der Grenzwerte, die Unterschreitungsstunden unter die Erholungstemperatur von 24 °C und der mittleren operativen Temperatur an verschiedenen Standorten im Klimaszenario 2050 RCP4.5 dargestellt. Demnach ist Wien der Standort mit der höchsten mittleren operativen Temperatur sowie der Standort mit den meisten Überschreitungsstunden über 27 °C. Obwohl eine Überhitzung von Gebäuden verhindert werden kann, sind vulnerable Gruppen aufgrund der geringen Anzahl von Stunden unter 24 °C einem hohen medizinischen Risiko der Überhitzung ausgesetzt.

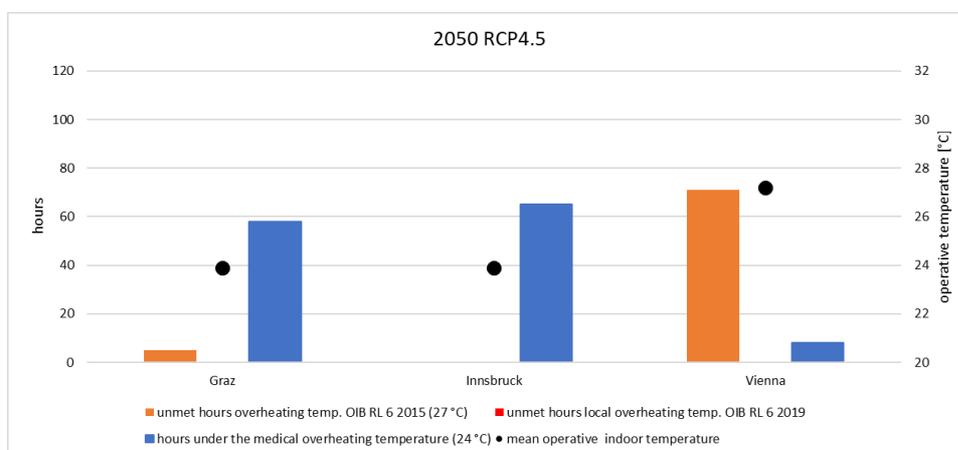


Abbildung 8: Vergleich der Überschreitungshäufigkeit (unmet hours) der Grenzwerte, die Unterschreitungshäufigkeit unter 24 °C und mittlere operative Innenraumtemperatur während der fünftägigen Hitzewelle im Klimaszenario 2050 RCP4.5

In Abbildung 9 ist die Zone des obersten Geschoßes des sanierten Bestands-Mehrfamilienhauses im Klimaszenario 2080 RCP8.5 abgebildet. Im Vergleich zu den zuvor gezeigten Abbildungen des Klimaszenarios 2050 RCP4.5 liegen die Kurven der operativen Innentemperaturen im Klimaszenario RCP8.5 näher beieinander und zeigen zudem geringere Unterschiede zwischen den Standorten. Lediglich in Innsbruck und Graz fällt die Temperatur in der ersten Nacht sowie in Innsbruck nochmals kurzzeitig in der dritten Nacht unter 24 °C. Am letzten Tag der fünftägigen Hitzewelle überschreitet die Temperatur in Graz und Wien hingegen für eine Stunde den aktuell gültigen und adaptierten OIB-Grenzwert.

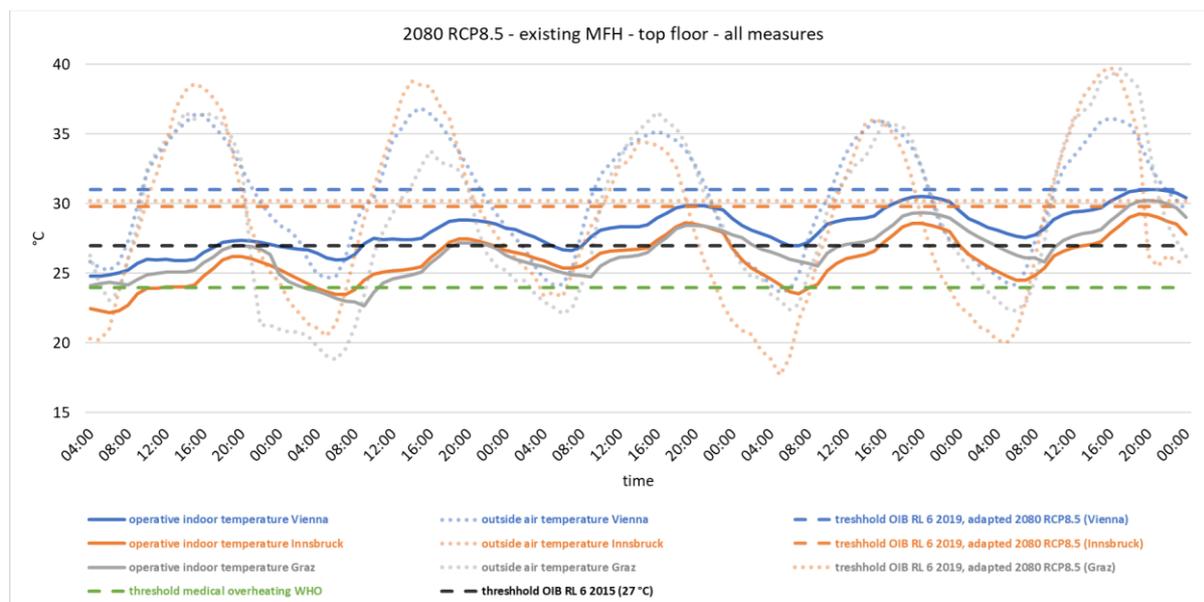


Abbildung 9: Vergleich der operativen Innenraumtemperatur während der fünftägigen Hitzewelle im Klimaszenario 2080 RCP8.5 in Wien, Innsbruck und Graz

Wie im Klimaszenario 2050 RCP4.5 ist auch im Klimaszenario 2080 RCP8.5, wie in Abbildung 10 zu sehen, Wien im Vergleich der Standort mit der höchsten mittleren operativen Temperatur sowie der Standort mit den meisten Überschreitungsstunden über 27 °C. In diesem Szenario wurde der aktuell gültige OIB RL 6 Schwellenwert trotz Anpassung des Schwellenwertes an die Klimaveränderung, wenn auch nur für eine einzige Stunde überschritten. Im Vergleich zu Klimaszenario 2050 RCP4.5 sind die Unterschreitungsstunden unter 24 °C demnach an allen Standorten stark reduziert. Vor allem in Wien sind die Stunden unter 24 °C deutlich geringer, wodurch vulnerable Gruppen einem erhöhten medizinischen Risiko der Überhitzung ausgesetzt sind.

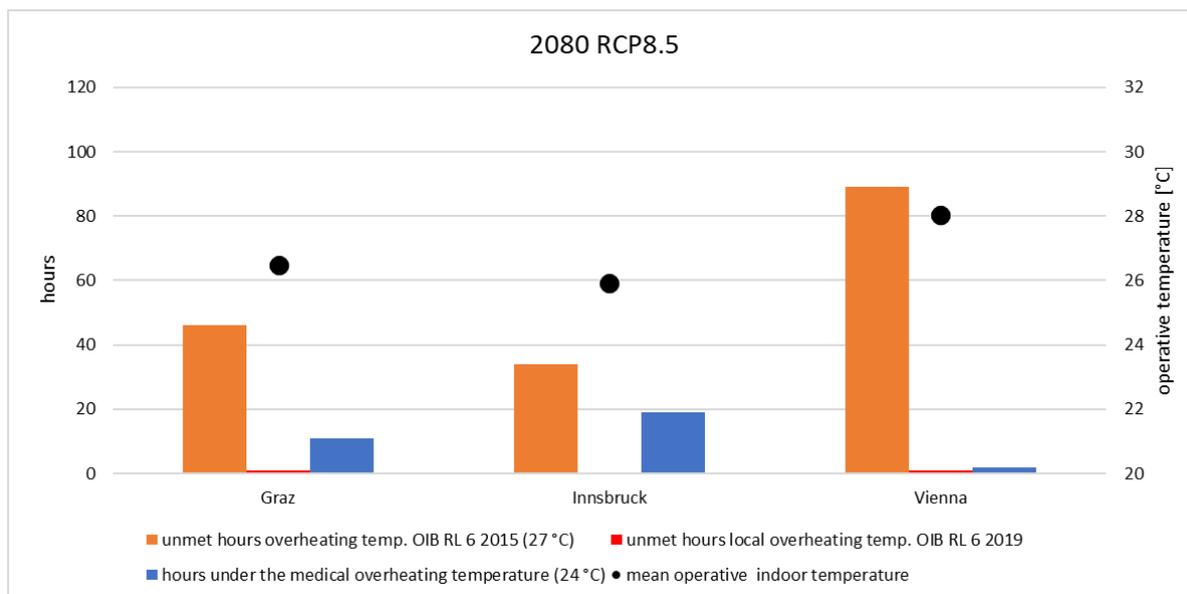


Abbildung 10: Vergleich der Überschreitungshäufigkeit (unmet hours) Unterschreitungshäufigkeit unter 24 °C und mittlere operative Innen-raumtemperatur während der fünftägigen Hitzewelle im Klimaszenario 2080 RCP8.5

Einfluss eines außenliegenden Sonnenschutzes und der thermischen Sanierung

Weiters wurden die Auswirkungen bestimmter Maßnahmentypen analysiert. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Auswirkungen eines außenliegenden Sonnenschutzes und die Auswirkungen einer thermischen Sanierung in Wien im Klimaszenario 2050 RCP4.5. In Abbildung 11 ist der Verlauf der operativen Innenraumtemperatur sowie der Außenlufttemperatur dargestellt. Eine thermische Sanierung inklusive außenliegenden Sonnenschutz ermöglicht demzufolge eine um 1,6 K niedrigere operative Temperatur zu erreichen, insbesondere ab dem dritten Tag.

Ohne außenliegenden Sonnenschutz zeigen die thermischen Sanierungsmaßnahmen jedoch keinen Einfluss auf die Senkung der operativen Temperatur und führt indessen sogar zu höheren Temperaturen.

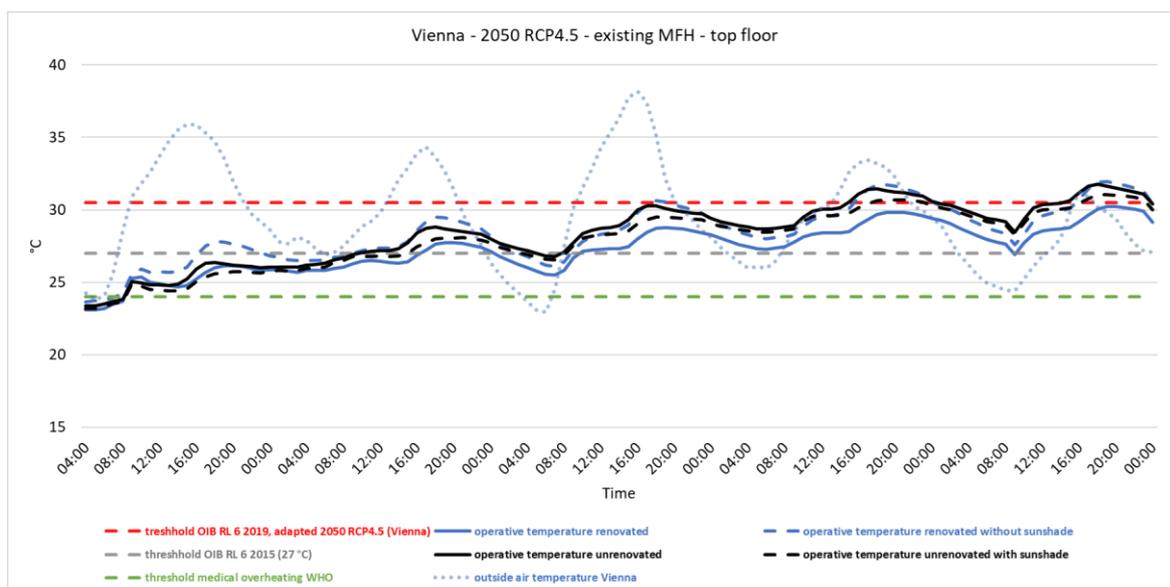


Abbildung 11: Vergleich der operativen Innenraumtemperatur während der fünftägigen Hitzewelle mit und ohne außenliegenden Sonnen-schutz im Klimaszenario 2050 RCP4.5 in Wien

Entscheidende Ergebnisse der Analyse des Einflusses eines außenliegenden Sonnenschutzes und der thermischen Sanierung

Der Vergleich der Überschreitungshäufigkeiten, Unterschreitungshäufigkeit unter der Erholungstemperatur von 24 °C und der mittleren operativen Innenraumtemperatur in Abbildung 12 zeigt, dass ohne thermische Sanierung mit außenliegendem Sonnenschutz eine Überhitzung nicht vermieden werden kann. Demgegenüber führt eine thermische Sanierung ohne außenliegenden Sonnenschutz zu einer höheren operativen Temperatur als vor der Sanierung.

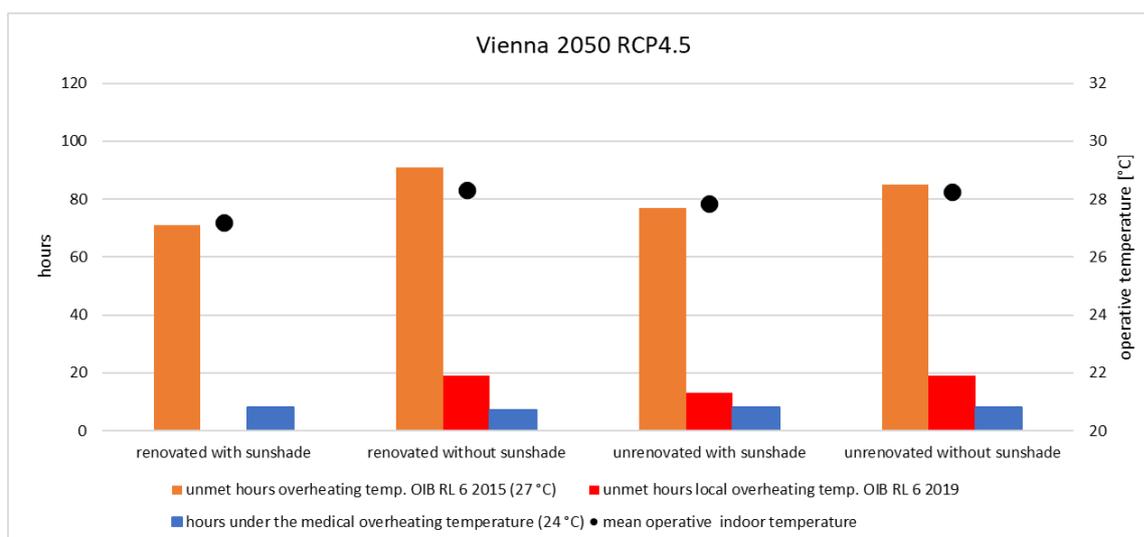


Abbildung 12: Vergleich der Überschreitungshäufigkeit (unmet hours), Unterschreitungshäufigkeit unter 24 °C und mittlere operative Innenraumtemperatur mit und ohne außenliegenden Sonnenschutz während der fünftägigen Hitzewelle im Klimaszenario 2050 RCP4.5 in Wien

Temperaturverhalten bei Home-Office bzw. Büronutzung

Darüber hinaus wurden die Auswirkungen bestimmter Nutzungstypen analysiert. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Auswirkungen bei veränderten internen Wärmelasten und Luftwechselraten, durch veränderte Nutzung. In Abbildung 13 ist der Verlauf der operativen Innenraumtemperatur sowie der Außenlufttemperatur in Wien im Klimaszenario 2050 RCP4.5 dargestellt. Was die Auswirkungen der veränderten Nutzung betrifft, so ist zu erkennen, dass bei Home-Office-Nutzung eine maximale Erhöhung von 2,3 K der operativen Temperatur erreicht wird. Bei Büronutzung wird eine um 4,0 K höhere maximale operative Temperatur während der fünftägigen Hitzewelle erreicht.

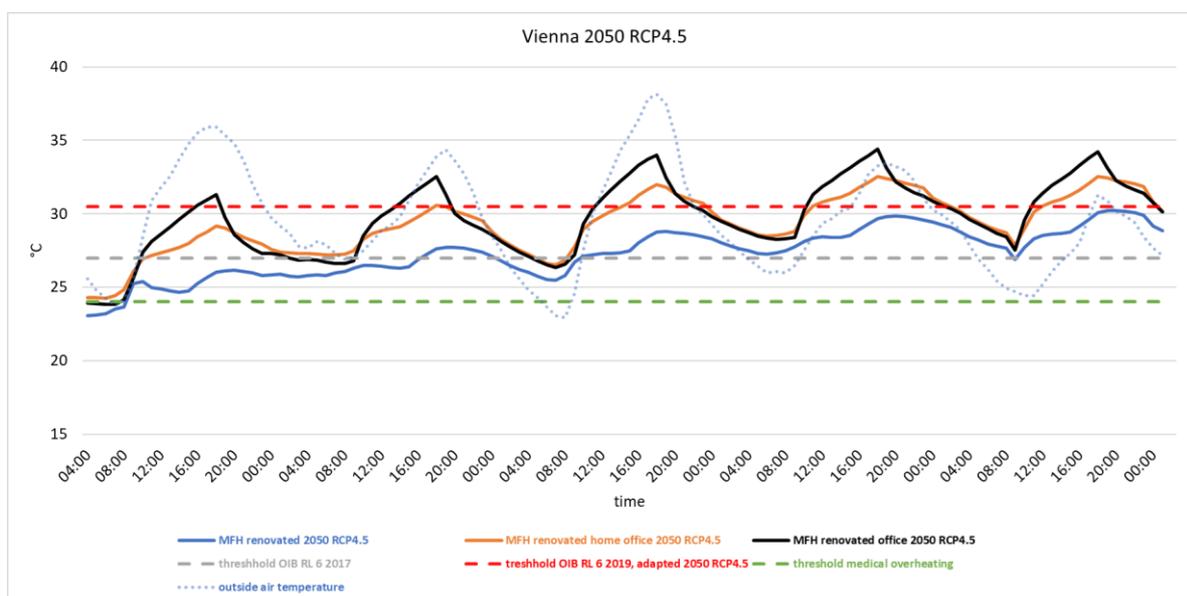


Abbildung 13: Vergleich der operativen Innenraumtemperatur während der fünftägigen Hitzewelle bei Wohnnutzung, Wohn- und Home-Office-Nutzung sowie Büronutzung im Klimaszenario 2050 RCP4.5 in Wien

Entscheidende Ergebnisse der Analyse von veränderten Nutzungsbedingungen durch Home-Office bzw. Büronutzung

Der Vergleich der Überschreitungshäufigkeit, Unterschreitungshäufigkeit unter der Erhöhungstemperatur von 24 °C und der mittleren operativen Temperatur in Abbildung 14 zeigt, dass eine Überhitzung ohne aktive Kühlung, unter den angenommenen Simulationsbedingungen, bei Home-Office-Nutzung und Büronutzung nicht vermieden werden kann. Aufgrund des Zusammentreffens der hohen Außenlufttemperaturen, der erhöhten Solarstrahlung und der nominellen Arbeitszeit von 9 bis 17 Uhr, befindet sich der Großteil der Überhitzungsstunden in diesem Zeitraum. Vor allem im Home-Office ist das Risiko einer Dauerbelastung durch die erhöhten Temperaturen im Innenraum und der geringen Ausweichmöglichkeiten gesteigert.

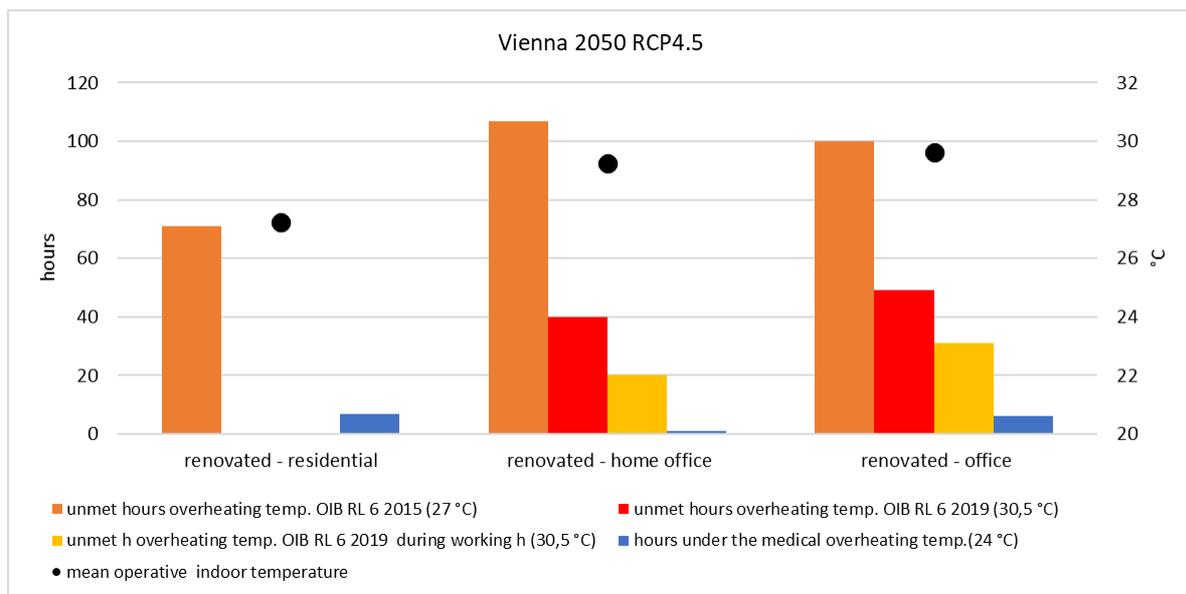


Abbildung 14: Vergleich der Überschreitungshäufigkeit, Unterschreitungshäufigkeit unter 24 °C und mittlere operative Innenraumtemperatur bei Wohnnutzung, Wohn- und Home-Office-Nutzung sowie Büronutzung während der fünftägigen Hitzewelle im Klimaszenario 2050 RCP4.

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1. Aktivitätsfeld übergreifende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In diesem Kapitel sind sowohl fachübergreifende wie auch die wesentlichsten fachspezifischen Schlussfolgerungen zum Projekt zusammengestellt. Es erfolgt eine inhaltlich gewichtete Zuordnung zu den Themen Raumordnung, Bauökologie, klimavulnerablen Personengruppen, Außen- und Innenraum. Ergänzend werden beispielhaft Empfehlung speziell in Bezug auf normative und regulative Instrumente gegeben sowie identifizierter weiterer Forschungsbedarf angeführt.

5.1.1. Raumordnung

Die lokale Ausprägung und Intensität von **städtischen Hitzeinseln werden maßgeblich von der topografischen Einbettung und der Struktur des bebauten Stadtgebiets bestimmt**. Demzufolge ergeben sich grundlegende Unterschiede die Wirksamkeit und sinnvolle Anwendbarkeit von Strategien zur Klimawandelanpassung betreffend. Beispielsweise zeigt sich, dass die, für einen körperlich belastungsfreien Nachtschlaf notwendigen niedrigen Innenraumtemperaturen in Innsbruck auch weiterhin durch die Maßnahme der Nachtlüftung sichergestellt werden können, während dies in Wien und Graz mittelfristig nicht mehr der Fall sein wird.

Darüber hinaus prägen sich **maßgeblich komfortrelevante Unterschiede kleinräumlich innerhalb einer städtischen Hitzeinsel auf Grund der Beschaffenheit von Bauung und Freiräumen** aus. Einfluss nehmen etwa die Oberflächengestaltung, die thermische Speicherfähigkeit, die Luftzirkulation, die Wasserrückhaltefähigkeit oder die Art und Intensität der Bepflanzung. Es zeigt sich, dass Maßnahmen in diesem Bereich aufeinander abgestimmt und auf den konkreten Ort bezogen werden müssen, um optimal wirksam zu

sein. Beispielsweise kann ein Baum seine Wirkung umfassender entfalten, wenn er unter Berücksichtigung der Luftzirkulation und dem Schattenwurf der konkreten stadträumlichen Konfiguration positioniert wird.

Stadtklimaanalysekarten bieten eine probate Planungsgrundlage auf städte-, gebäude- und freiraumplanerischer Eben und können auch als Gefahrenzonenpläne interpretiert werden. Die Erstellung und prospektive Weiterentwicklung einer entsprechenden Kartographie wird daher empfohlen.

Folgende beispielhafte Formulierung könnte in den länderspezifischen Bauordnungen oder einer möglichen OIB RL7 vorgesehen werden: „**Ein Neubau oder eine umfassende Renovierung darf das lokale Klima nicht verschlechtern** und nicht zur Hitzeentwicklung beitragen. Ein Nachweis einer mikroklimatischen Analyse und Bewertung ist verpflichtend.“

5.1.2. Bauökologie

Wie zu erwarten war, zeigen die prognostizierten Klimaszenarien eine Zunahme von besonders hohen Lufttemperaturen. In Kombination mit einer höher werden absoluten Luftfeuchtigkeit, steigt zugleich auch die Taupunkttemperatur. Dies bedeutet, dass es an vergleichsweise kühleren Flächen wie Kellerwänden, speziell aber an gekühlten Flächen bereits bei höheren Temperaturen und damit früher als derzeit zu Wasserdampfkondensation kommt. Ein **vermehrtes Auftreten von Schäden durch Feuchtigkeitsbildung** etwa von Korrosion oder von Schimmelbefall ist die Folge. Ein vermehrtes Auftreten von Schimmel stellt in Hinsicht auf die Gewährleistung gesunder Innenraumluft ein relevantes Problem dar. Es empfiehlt sich die klimawandelbedingte Zunahme von länger anhaltenden besonders heißen und gleichzeitigen feuchten Wetterphasen in der OIB RL 3 und OIB RL 6 zu berücksichtigen.

Aufgrund steigender Lufttemperaturen kann es dazu kommen, dass sich im stehenden Kaltwasser Temperatur von über 25 °C einstellt, welche das **Vorkommen von Legionellen** zulassen. Vor allem bei längerer reduzierter Wasserentnahme etwa im Zuge eines sommerlichen Betriebsurlaubes oder Unterrichtsfreier Zeitfenster steigt das Risiko eines Befalls.

Bei der Untersuchung der **Auswirkungen des Klimawandels auf das Emissionsverhalten von Baustoffen** und Bauprodukten wurde ein weitreichendes Fehlen belastbarer wissenschaftlicher Grundlage festgestellt. Es ist daher notwendig, dieses Wissen durch weitere Forschung bereitzustellen, um gezielte Aussagen speziell hinsichtlich der gesundheitlichen Relevanz eines möglichen geänderten Verhaltens zutreffen.

Generell ist festzustellen, dass **weiterer Forschungsbedarf betreffend die Folgen des Klimawandels auf die physische und psychische menschliche Gesundheit besteht**. Die Bereitstellung belastbarer Aussagen ist notwendig, um Anforderungen an das außen- und innenräumliche Klima sinnvoll zu formulieren.

5.1.3. Klimavulnerable Personengruppen

Die Ergebnisse der gegenständlichen Studie zeigen, dass **in zukünftigen Hitzewellen ein erhöhtes medizinisches Risiko für Bewohner:innen jeglicher Konstitution** und damit über die ausgewiesenen vulnerablen Gruppen hinaus besteht. **In Hinsicht auf die Umsetzung einzelner klimamoderierender Maßnahmen gilt es darauf zu achten,**

Art und Umfang ihrer Wirkungen lagespezifisch, differenziert über den Tagesgang sowie nach Innen- und Außenraum zu betrachten. Etwa kommt einer entsprechend intensiven Baumbepflanzung außenräumlich unter Tags höchste Wirksamkeit zu, während sich diese im Innenraum nur wenig ausprägt.

Die Simulationsergebnisse weisen Innsbruck, aufgrund seiner Tallage und der daraus resultierenden Hitzekumulation speziell über die Mittags- und frühen Nachmittagsstunden, als Standort mit dem höchsten thermophysiologischen Stress aus, unter dem von einem **Aufenthalt im Freien abzuraten** ist.

In derart ausgeprägten städtischen Hitzeinseln wird auf Grund der breiten Betroffenheit empfohlen **„cooling spots“ zur Verfügung zu stellen**. Im Außenraum kann dies durch speziell begrünte und bewässerte Zonen, gegebenen Falls auch technisch unterstützt etwa durch regenerative Kaltluftventilation umgesetzt werden. Exemplarisch wurden „cooling spots“ im Rahmen des Smart City Projekts Tröpferbad 2.0 in Wien errichtet. Im Innenraum gilt es Bereiche anzubieten, in denen ein behagliches und aus thermophysiologischer Sicht erholendes Raumklima aufrechterhalten wird. Zumeist wird dazu technisch Kühlung erforderlich sein, die stets klimaneutral erzeugt werden soll. Generell sind „Cooling spots“ strategisch so zu situieren, dass sie zunehmend dichter in Bereichen mit erhöhtem Risiko der Überhitzung und starkem Personenaufkommen situiert sind. Auf eine ausreichende Dimensionierung und einen stets barrierefreien Zugang ist zu achten.

5.1.4. Außenraum

Neben den Parametern Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit nehmen die Strahlungsbedingungen, maßgeblich Einfluss auf die gefühlte Temperatur als greifbaren Parameter zur Bestimmung der thermischen Belastung für den Menschen.

Speziell die Aufenthaltsqualität im Außenraum, wird unmittelbar und maßgeblich durch das Einwirken der solaren Strahlung mit ihren tages- und jahreszeitlich sowie Wetter abhängigen Intensitätswechseln geprägt. Im Kontext der vorliegenden Studie zeigt sich, dass **eine zielgerichtete und abgestimmte Festlegung von Art und Beschaffenheit der bestrahlten Fläche im Zuge eines Albedokonzepts für den stark versiegelten und dicht verbauten städtischen Raum besonders effektiv ist**. Dabei beschreibt die Albedo das Reflexionsvermögen, also den prozentualen Anteil an diffus reflektierter Strahlung beim Auftreffen auf eine nicht selbst leuchtende und nicht spiegelnde Fläche.

Durch die Gestaltung von Oberflächen kann die Albedo und damit die stadtklimatologische Komponente der Strahlung stark beeinflusst werden. **Es gilt die zumeist niedrige Albedo zu erhöhen**, um den Übergang und die Einspeicherung der Strahlung in Wärme zu reduzieren, um so eine Überwärmung der Außenräume zu verhindern. Jedoch ist speziell bei Flächen, die während des Sommerhalbjahrs direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind dann **eine differenziertere Abwägung zu treffen, wenn sich Menschen im Rückstrahlungsbereich vor diesen Flächen aufhalten**, etwa in Sockelzonen oder auf Dachterrassen. Hier erhöht die reflektierte Strahlung die empfundene Temperatur erheblich. Entsprechend sind solche Flächen wirkungsvoll zu verschatten, etwa durch Bäume oder geeignete technische Beschattungssysteme. Sollte das nicht ausreichend möglich sein, ist eine moderate Albedo etwa vergleichbar der einer Wiese zu wählen.

Höchste Albedo, etwa durch eine Beschichtung mit speziell stark und über breite Anteile des solaren Spektrums hinweg reflektierenden Anstrichen, die als „cool

coatings“ bezeichnet werden ist etwa sinnvoll, um Dachräume, die sich unter statisch ausgereizten Dachkonstruktion befinden, deren zulässiger Gebäudeumriss ausgeschöpft ist, oder an der keine architektonische Gestaltveränderung vorgenommen werden darf, kühl zu halten. Insbesondere bei horizontalen oder schwach geneigten Flächen soll eine Rückstrahlung in die höheren Atmosphärenschichten angestrebt werden. Entsprechend wird eine Regelung des Rückstrahlvermögens von stadtklimatisch relevanten Oberflächen, in aktuell rechtskräftigen Gesetzen, Normen und Richtlinien empfohlen.

Da die stadtklimatisch positive Wirkung von Pflanzen speziell Bäumen einerseits von deren Beschattungspotential andererseits aber von deren Evapotranspiration, also der Wasserabgabe an die Atmosphäre über die Spaltöffnungen der Blätter sowie durch Verdunstung ausgeht, gilt es **Maßnahmen der Begrünung stets gemeinsam mit einer entsprechenden Wasserversorgung vorzunehmen**. Als im städtischen Kontext konsequente und klimatologisch besonders wirksame gilt die Umsetzung des Schwammstadtprinzips. Jedenfalls umgesetzt werden sollte eine unmittelbare Nutzung von Niederschlagswässern zur Versorgung von Pflanzen und damit **die wieder Implementierung von Wasserkreisläufen in der Stadt**. Dafür könnte die OIB RL 3 zur normativen Verankerung herangezogen werden. In diesem Zusammenhang ist eine Aufschließung von Freiflächen zur Unterbauung mit Garagen höchst kritisch zu beurteilen und die Einführung eines Verbots in städtischen Hitzeinseln zu erwägen.

Um auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen zukünftig etwa während Hitzewellen unmittelbar einwirken zu können, sind auch **punktuellen technische Installationen** wie Sprühnebel Duschen, Wasserfontänen, Trinkwasserspender, und dergleichen an speziell betroffenen Punkten in der Stadt vorzusehen.

5.1.5. Innenraum

Die Simulation zeigt die Zunahme der Anzahl der Tropennächte speziell in städtischen Hitzeinseln. **Eine vollständig passive Kühlung, durch die Aktivierung thermischer Gebäudemassen mittels intensiver nächtlicher Belüftung kann den nötigen Komfort beziehungsweise die thermophysikalische Belastungsfreiheit im Sinne eines erholsamen und damit gesundheitsrelevanten Nachtschlafs unter diesen außenräumlichen Bedingungen nicht mehr überall sicherstellen**. Als Richtgröße kann gelten, dass von einer Aktivierung der thermischen Gebäudemasse mittels Nachtlüftung ein ausreichender Kühlungseffekt erwartet werden darf, wenn die nächtliche Umgebungslufttemperatur um rund sechs Grad Kelvin niedriger ist als die gewünschte Tages-Raumlufttemperatur.

Im Zuge der Studie hat sich klar gezeigt, dass **bei Home-Office und Büronutzung ohne aktive Kühlungsmaßnahmen eine Überhitzung des Innenraumes nicht mehr verhindert werden kann**.

Eine technisch gestützte Kühlung von Innenräumen wird so unumgänglich. **Die Kühlung mit Strahlungsflächen durch thermische Aktivierung der Raumbooberflächen kann als ausreichend leistungsstarke und klimaneutral betreibbare Alternative zur herkömmlich vorwiegend durch Einbringung gekühlter Luftmengen realisierte Klimatisierung mittels Klimaanlage angesehen werden**. Den bereits beschriebenen Wirkungsweisen der empfundenen Temperatur entsprechend, tritt bei der Kühlung mit Strahlungsflächen der Menschen im Innenraum in Strahlungsaustausch mit den ihn umgebenden Oberflächen. Diese Art der Temperierung wird als komfortabel empfunden, speziell

bei einer Aktivierung der Raumdecke, weil diese evolutionär dem kalten Nachthimmel entspricht. Räume mit moderat gekühlten Decken werden daher nicht als künstlich konditioniert, sondern als an den Außenraum angekoppelt wahrgenommen.

Als wichtige Einschränkung der Kühlung mit Strahlungsflächen, muss auch vor dem Hintergrund des Klimawandels die Kondensationsgefahr genannt werden. So ist es bauphysikalisch zwingend notwendig, dass die Temperatur der Raumbooberflächen deutlich über der Taupunkttemperatur der Raumluft bleibt.

Um die Haustechnik an die Klimaerwärmung anzupassen, sollte **Heizung und Kühlung eines Gebäudes immer gemeinsam gedacht** und betrachtet werden.

Eine Möglichkeit, die nächtliche Abkühlung des Außenraums abzubilden, ist die individuelle Betrachtung des Bauplatzes durch eine Mikroklimasimulation speziell unter den Bedingungen einer Hitzewelle, wie sie im gegenständlichen Forschungsprojekt durchgeführt wurde. Eine solche oder vereinfachte Betrachtung könnte in der Überprüfung zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung im Innenraum nach OIB RL 6 berücksichtigt werden. Die Erweiterung der ÖNORM B 8110-3 um einen entsprechenden Anhang wäre schlüssig. Angelehnt an Anhang A der ÖNORM B 8110-3 könnten hier Aufheizeffekte dicht bebauter Strukturen im urbanen Raum abgebildet werden. **Wesentlich ist, nicht nur jene Innenraumtemperaturen verbindlich zu machen, die nicht überschritten werden dürfen, sondern auch jene die verlässlich während der Nachtstunden zu unterschreiten sind.** Die möglichen Grenzen adaptiver Komfortmodelle für den Innenraum im Abgleich mit dem Klimawandel und gesundheitlichen Mindestanforderungen sind als Gegenstand kommender Forschung zu betrachten.

Eine verpflichtende Schaffung von **Verschattungsmöglichkeiten transparenter Gebäudehüllflächen** in besonders betroffenen Stadtteilen, vor dem Hintergrund des thermischen und visuellen Komforts, ist zu erwägen. Durch Reduktion des solaren Wärmeeintrages über transparente Gebäudeflächen in den Innenraum nimmt der außeninduzierte Kühlbedarf stark ab. Sehr effektiv, aber auch kostenintensiv ist ein außenliegender nach Bestrahlungsintensität automatisch gesteuerter Sonnenschutz.

An der Schnittstelle von Innenraum- und Außenraumsimulation wurde im Zuge der gegenständlichen Untersuchung ein Übergabetool entwickelt, das geeignet scheint den Einfluss der Außenraum-begrünung, speziell von Fassadenbegrünungen auf das Innenraumklima abbilden zu können. So wurde die Wirksamkeit einer spezifizierten Fassadenbegrünung, in einem thermisch sanierten Gebäude mit einer Reduktion der Innenraumtemperatur über den Verlauf der Hitzewelle von 0,1 Grad Kelvin ermittelt. Die Treffsicherheit des Übergabetools vor allem in Zusammenhang mit unterschiedlich ausgebildeten Fassadenbegrünungen zu überprüfen, um das Tool weiterzuentwickeln, wird als weiterer Forschungsbedarf angesehen.

5.2. Liste der Handlungsempfehlungen je Aktivitätsfeld

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde ein politischer Leitfadens für klimaresilientes Bauen entwickelt. Im Dokument "Handlungsempfehlungen für ein gesundes und klimaresilientes Wohnen in Österreichs Städten" werden folgende Maßnahmen für die Aktivitätsfelder Außenraum, Innenraum und Bauökologie empfohlen und im Detail beschrieben:

Aktivitätsfeld Außenraum

- Reduktion der Wärmespeicherung

- Zukünftig realen bzw. prospektiven Klimadatenätzen nutzen
- Für ausreichenden qualitätvollen Schatten sorgen
- Den Versiegelungsgrad minimieren
- Reduktion des CO₂-Fußabdrucks bei der Errichtung von Außenraumanlagen
- Urbane Wasserbilanz verbessern
- Urbaner Luftaustausch sicherstellen und erhöhen
- Kohlendioxidemissionen vermeiden
- Bodenschutz verbessern
- Biodiversität erhalten und steigern

Aktivitätsfeld Innenraum

- Einsatz eines außenliegenden Sonnenschutzes
- Thermische Sanierung von Bestandsgebäuden
- Öffentliche, gekühlte und barrierefreie Räume ("Cool Spots") in Gebäuden

Aktivitätsfeld Bauökologie

- Einsatz von emissionsarmen Baustoffen
- Hygienischen Luftwechsel zur Minimierung der Schadstoffkonzentration in Innenräumen sicherstellen
- Schad- und Störstofferkundung sowie eine Rückbaubegleitung durch fachkundige Person bei Sanierung sicherstellen
- Erhöhter Forschungsbedarf über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Emissionsverhalten und Funktionalität von Baustoffen

Für weitere Informationen wird auf das Dokument verwiesen.

C) Projektdetails

6. Methodik

Die gewählten Schritte zur Herleitung der Handlungsempfehlungen für ein gesundes und klimaresilientes Wohnen sind unten angeführt. Sie bestehen aus der Überprüfung von Bauvorschriften, Gesetzen und Normen, dem Identifizieren relevanter gesundheitlicher Aspekte, dem Erarbeitung eines Simulationsmodells, der Integration von Klimawandelszenarien in das Simulationsmodell sowie dem Ableiten von Handlungsempfehlungen.

6.1. Überprüfung von Bauvorschriften, Gesetzen und Normen

Durch ein systematisches Normenscreening mit Hilfe der Vorgaben für Neubau und Sanierung wurden die relevanten Gesetze, Normen und Richtlinien identifiziert und auf Barrieren untersucht. Die Grundlagen für diesen Schritt bildete das Forschungsprojekt Norm2050. Die Studie kann unter folgendem Link abgerufen werden https://start-clim.at/fileadmin/user_upload/StartClim2020/StCl20.A_lang.pdf.

Ziel und Inhalt von Norm2050 war es Vorschriften, Gesetze, Normen und Beschaffungsrichtlinien, die für die Erreichung eines emissionsreduziertes, klimaresilientes Bauen und Wohnen in Wien bis 2050 relevant sind zu analysieren, Hinderliches, Widersprüchliches oder Fehlendes aufzuzeigen und daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. Besonders wurden dazu die fünf Einzelziele des Teilbereichs Gebäude der Rahmenstrategie „Smart City Wien 2019 bis 2050“ berücksichtigt. Ein spezieller Fokus lag dabei auf dem Wohnbau. Das vorliegende Forschungsprojekt konzentriert sich auf die normativen Vorgaben auf Bundesebene und bedient sich zur Auswertung Simulationsmodelle für den Innen- und Außenraum, um die Folgen des Klimawandels für die bebaute Umwelt zu verdeutlichen.

Als erstes wurde durch das im Projekt eigene vorhandene Fachwissen die relevanten Bauvorschriften, Gesetze und Normen identifiziert. In weiterer Folge wurde in einem Themenworkshop über „emissionsreduziertes, klimaresilientes Bauen und Wohnen in Wien im Jahr 2050“ mit 18 ausgewählten Vertretern der Stadt die Auswahl validiert und auf Vollständigkeit geprüft.

6.2. Identifizieren relevanter gesundheitliche Aspekte

Die gesundheitspolitische Strategie „Health in All Policies“ (Gesundheit in allen Politikfeldern) zielt darauf ab, Gesundheit und Lebensqualität der Bevölkerung auf einer breiten Basis wirksam und nachhaltig zu fördern. Politische Maßnahmen beeinflussen Einflussfaktoren auf die Gesundheit und die Gesundheit der Menschen in einer kausalen Kette. Zur Identifizierung der Barrieren und möglichen Verbesserungspotential wurden die normativen Vorgaben auf der österreichischen Bundesebene tabellarisch nach gesundheitsrelevanten Gesichtspunkten gescreent.

Als Basis für die Abschätzung der Ergebnisse der Simulationsmodelle für den Innen- und Außenraum wurden neben anderen möglichen Parametern nach einer Literaturrecherche für eine realistischen Abschätzung der Aufenthaltsqualität im Innen- und auch Aussenraum die Physiologically Equivalent Temperature (PET) gewählt. Die PET beschreibt die gefühlte Temperatur bzw. die wahrgenommene Umgebungstemperatur des Menschen und kann sich als subjektive Messgröße deutlich von der gemessenen Lufttemperatur unterscheiden. Neben meteorologischen Kenngrößen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlungstemperatur spielen auch humanphysiologische Parameter wie die metabolische Rate und Wärmeisolation durch Bekleidung eine Rolle (Höppe, 1999). Bei einer PET von 18-23 °C ist ein angenehmer Aufenthalt ohne thermo-physiologischem Stress möglich. Ab 23 °C gibt es eine leichte und ab 29°C eine moderate Wärmebelastung. Ab 35 °C ist der menschliche Organismus einem starken und ab 41 °C einem extremen Hitzestress ausgesetzt (Matzarakis et al., 1997).

6.3. Erarbeitung eines Simulationsmodells und die Integration von Klimawandelszenarien

6.3.1. Klimadaten und Standortdefinition

Siehe Kapitel 4.1.

6.3.2. Städtebauliche Struktur (Urban Standard Typologies) und Gebäude Geometrien

Als Basis der Analyse diente das Konzept der urban standard Typologies (UST), welche im Zuge des ERA-SME Projekts Green4cities: Development of an evaluation tool for green infrastructure and their positive effects derived for cities worldwide (2012-2015) entwickelt wurden (Altinisik et al., 2014). Diese wurde dazu entwickelt, wiederkehrende, typische Stadt-Strukturen verschiedenster Metropolen standardisiert und vergleichbar abzubilden. Im Zuge des Projekts GREEN.RESILIENT.CITY (Reinwald et al., 2019) wurden diese USTs weiterentwickelt und auf typische Strukturen Wiens angepasst (Kraus et al., 2018). Aus den insgesamt 25 UST-Kategorien wurden für das Projekt sechs relevante Kategorien mittels Luftbildanalyse ausgewählt:

- UST004 beschreibt den in Österreich häufigen Zeilenbau. Der Zeilenbau steht sinnbildlich für die „Massenproduktion“ von effizientem, günstigem Wohnraum am Stadtrand. Zwischen den Bauten gibt es meistens großzügige Freiflächen mit oft großen Bäumen Zankel F. (o.J).
- UST005 beschreibt freistehende Einfamilienhäuser bzw. kleine Mehrfamilienhäuser mit einer Gebäudehöhe von 3-10 m und großem Freiflächenanteil. Vor allem am Stadtrand finden wir diese Bebauungsform in allen österreichischen Landeshauptstädten häufig (Speckgürtel, Wiener Cottageviertel).
- UST008 definiert freistehende Gebäude bis 30 m Höhe mit großem Freiflächenanteil. Neben modernen, großvolumigen Wohnbauten zählen auch die in den 1970er Jahren häufig errichteten Plattenbauten oft zu diesem Typ.
- Parks (UST009) zählen zwar nicht zum Wohnbau, sie erfüllen jedoch in Städten wichtige Funktionen zur Regulierung des Mikroklimas, zur Naherholung und dienen vielen Menschen im Sommer als zweites Wohnzimmer und Gartenersatz. Vor allem vulnerable Gruppen wie alte Menschen, körperlich eingeschränkte Personen aber auch Personen mit geringem Einkommen sind auf Parks als oft einzigen wohnungsnahen Freiraum angewiesen.
- Blockrandbebauung (UST011) ist für viele europäische Innenstädte typisch. In Wien wurden z.B. in der Gründerzeit weitläufige Quartiere in strenger, rasterartiger Blockrandbebauung errichtet, sie prägen den Charakter vieler Bezirke. Innenhöfe können begrünt sein, oft sind sie mit Hofgebäuden verbaut.
- Zu UST012 zählen Wohnsiedlungen und Großwohnsiedlungen welche in einer Formation angeordnet sind. Diese Formation kann streng rechteckig oder geschwungen sein, sie kann sich wiederholen oder vollkommen frei sein. Die einzelnen Baukörper können in Form und Höhe stark variieren, aber auch homogene Gebäude sind möglich. Häufig bildet die Bebauung einen halböffentlichen Raum mit Spiel- und Sportflächen, Vegetation und Fußwegen, welcher von der Bebauung teilweise umschlossen wird.

6.3.3. Erstellung des Außenraummodells und Simulationseinstellungen

Basierend auf den UST-Kategorien und den Luftbildanalysen wurden spezielle USTs für das vorliegende Projekt (UST-NORM) entwickelt. Diese haben eine Ausdehnung von 90x90 m. Die USTs wurden zu einem großen Modell vereint, welches aus 9 USTs im 3x3

Raster besteht und in das Stadtzentrum von Wien, Graz und Innsbruck integriert (Gesamtmodell ca. 11 ha). UST012, UST005 und UST004 wurden doppelt verwendet, um den Effekt der unterschiedlichen Lage abdecken zu können. Weiters wurden drei Modellgebäude als Schnittstelle zur Innenraumsimulation in das Modell integriert (siehe Abbildung 15: 1=Mehrfamilienhaus

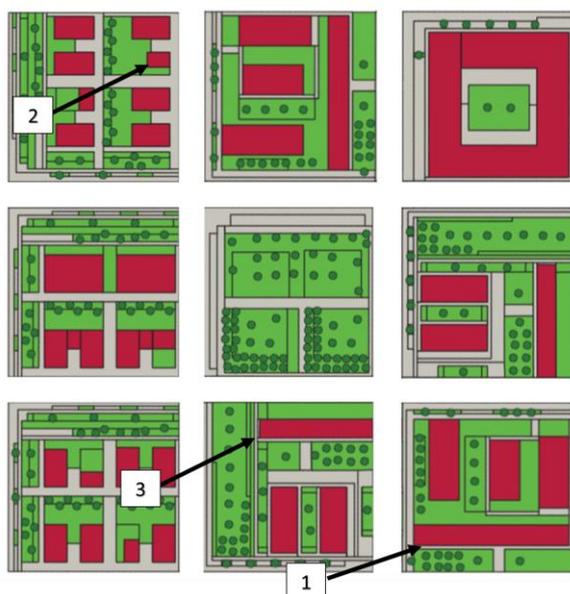


Abbildung 15: Außenraummodell bestehend aus 9 USTs inklusive Modellgebäude (1=Mehrfamilienhaus Be-stand, 2=Einfamilienhaus Bestand, 3=Mehrfamilienhaus Neubau)

Analyse mit GREENPASS

Die Auswirkungen verschiedener klimatischer Bedingungen und Merkmale der Stadtlandschaft werden auf der Grundlage der GREENPASS-Analyse bewertet. Diese Methode umfasst 28 Indikatoren, um die Auswirkungen der Stadtgestaltung auf die Klimaresilienz zu erfassen. GREENPASS basiert auf dem Mikroklimasimulationsmodell ENVI-met. ENVI-met berechnet unter anderem Strahlungsflüsse von Gebäude und Vegetation, pflanzenphysiologische Prozesse, Oberflächentemperaturen von Fassaden und Dächern unter Berücksichtigung des Materials, Wasser- und Wärmeaustausch im Boden sowie biometeorologische Größen (ENVI-met (1.), 2021). Die horizontale Auflösung wurde mit 2x2m festgelegt, die vertikale Auflösung mit 3m. Als zeitliche Auflösung wurden stündliche Simulationsergebnisse festgelegt. Als Randbedingung wurde die Methode „Full Forcing“ gewählt, d.h. jede halbe Stunde werden Wetterdaten als 1D-Modell an die Grenzfläche des Modellgebiets kopiert (ENVI-met (2.), 2021).

Referenzszenarien

Neben der Simulation des UST-Modells (=Status Quo) wurden auch zwei Referenzszenarien mit modifiziertem Versiegelungs- und Begrünungsgrad (Worst Case, Best Case) gerechnet, um die Abschneidung der jeweiligen USTs im Rahmen ihrer Möglichkeit quantifizieren zu können (Abbildung 16). Im Worst Case sind alle Oberflächen versiegelt, es gibt keinerlei Vegetation. Beim Best Case sind alle Oberflächen vollständig entsiegelt, Grünflächen bestehen aus 50% Rasen, 25% Stauden und 25% Sträucher. Auf allen Parkplätzen und Grünflächen sind Bäume mit 10m Kronendurchmesser gepflanzt. Weiters haben Flachdächer

eine Semi-intensive Dachbegrünung, Steildächer eine extensive Dachbegrünung. Alle Fassaden, die von Nordost nach Nordwest ausgerichtet sind, weisen zudem eine Fassadenbegrünung auf. In folgender Abbildung ist das UST-Modell in 3D einmal als Status Quo (l.), Worst Case (m.) und einmal als Best Case Szenario (r.) dargestellt.

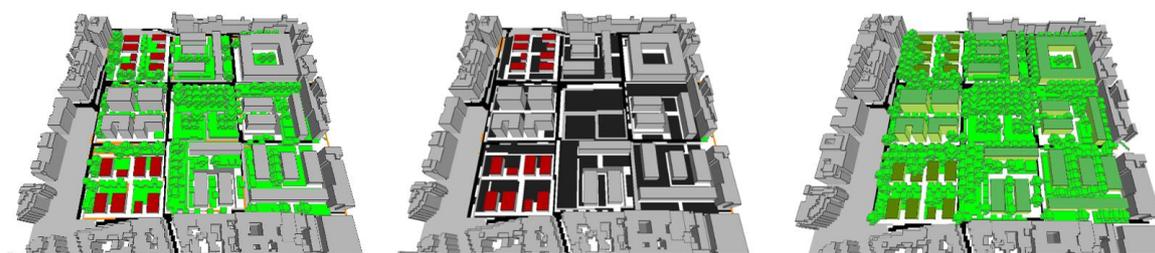


Abbildung 16: Referenzszenarien als 3D-Modell: Status Quo (l.), Worst Case (m.) und Best Case (r.)

6.3.4. Definition der Referenzgebäude (IBR&I)

Die Bauphysikalischen Qualitäten der analysierten Gebäudetypen sind in Tabelle 2 ersichtlich. Als Grundlage werden die Default-Werte des Leitfadens der OIB-Richtlinie 6 aus dem Jahr 2015 herangezogen. Für das Bestand Mehrfamilienhaus wird der thermische Standard von Gebäude, die vor 1900 errichtet wurden, gewählt und für das Bestand Einfamilienhaus jener für Gebäude ab 1945.

Die Bestandsgebäude werden im Betrachtungszeitraum einmal, im Jahr 2050, saniert. Beim Neubau erfolgt keine thermische Sanierung. Das ausgearbeitet Sanierungskonzept ist folgendes:

- 16 cm Wärmedämmung ($\lambda = 0,036 \text{ (W/m.K)}$) an den Außenwänden
- 30 cm Wärmedämmung ($\lambda = 0,036 \text{ (W/m.K)}$) an der obersten Geschoßdecke
- 18 cm Wärmedämmung ($\lambda = 0,036 \text{ (W/m.K)}$) an der untersten Geschoßdecke
- Sanierte (Kasten-)Fenster ($U_w = 1,0 \text{ (W/m}^2\text{.K)}$, $g = 0,58$)
- Außenliegender Sonnenschutz $g_{tot} = 0,1$ laut ÖNORM B 8110-6-1 2019, Tabelle 18 (in der ÖNORM)

Das Sanierungskonzept wird gewählt, da es sich bei einem marktführenden Bauträger als Sanierungsstandard für jene untersuchten Gebäude herauskristallisiert hat. Mithilfe dieser Sanierungsmaßnahmen kann, nahezu unabhängig vom Gebäudebestand, die Gebäudeheizlast auf unter 35 W/m^2 gesenkt werden.

Tabelle 2: Bauphysikalische Qualitäten der untersuchten Gebäudetypen

		Außenwand	oberste Geschoßdecke	Dach	unterste Geschoßdecke
Bestand Mehrfamilienhaus					
Dicke Bestand	cm	41	26	4	30
U-Wert Bestand	$\text{W}/(\text{m}^2\text{.K)}$	1,55	0,75	1,35	1,25
U-Wert Saniert	$\text{W}/(\text{m}^2\text{.K)}$	0,20	0,12	1,35	0,19
Bestand Einfamilienhaus					
Dicke Bestand	cm	31	19	4	30
U-Wert Bestand	$\text{W}/(\text{m}^2\text{.K)}$	1,75	1,35	1,30	1,95

U-Wert Saniert	W/(m ² .K)	0,20	0,12	1,30	0,19
Neubau Mehrfamilienhaus					
Dicke	cm	44	51	61	
U-Wert	W/(m ² .K)	0,17	0,12		0,16

Die Strahlungsphysikalischen Eigenschaften der untersuchten Gebäudetypen ist Tabelle 3 zu entnehmen. Im Bestand kann davon ausgegangen werden, dass bereits Sonnenschutzmaßnahmen implementiert wurden. Diese beschränken sich jedoch meist auf innenliegende Maßnahmen mit, im Gegensatz zu außenliegenden Systemen, geringer Wirksamkeit, wie z.B. Vorhängen. Gemäß ÖNORM B 8110-3:2019, Tabelle 20, werden sie als textile Behänge der Klasse 1 und Folien $T_v \leq 3 \%$, ohne Sonnenschutzfunktion, zwischen den Kastenfensterflügel mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} von 0,3 berücksichtigt. Bei der Bedienung des Sonnenschutzes wird von einer Regelung mittels Zeitplans ausgegangen. Der Sonnenschutz wird um 8 Uhr, nach der Fensteröffnung, bis 16 Uhr vollständig heruntergefahren. Von 16 bis 20 Uhr ist der Sonnenschutz bis zur Hälfte geöffnet, ehe er bis 8 Uhr vollständig geöffnet ist.

Tabelle 3: Strahlungsphysikalische Eigenschaften der untersuchten Gebäudetypen

	U-Wert Glas	g-Wert Glas	U-Wert Rahmen	Rahmenanteil	außenliegender Sonnenschutz
	W/(m ² .K)	-	W/(m ² .K)	%	Ja/Nein
Bestand Mehrfamilienhaus	2,5	0,67	3,0	30	Nein
Bestand Einfamilienhaus	2,5	0,67	3,0	30	Nein
Bestand Saniert	1,0	0,58	1,4	30	Ja, $g_{tot} = 0,1$
Neubau Mehrfamilienhaus	1,0	0,58	1,4	30	Ja, $g_{tot} = 0,1$

Nutzungsbedingungen

Die Nutzungsbedingungen der Gebäude unterscheiden sich je nach Verwendungszweck. Es wurden die drei Verwendungszwecke Wohnen, Wohnen mit Home-Office und Büronutzung definiert und analysiert. Die thermische Wärmeleistung von Geräten und Menschen sowie die hygienische Luftwechselrate wurden gemäß ÖNORM B 8110-3:2020-06 angenommen.

Nachtlüftung

Bei allen Nutzungen wird eine erhöhte Nachtlüftung durch ein Fenster, gemäß ÖNORM B 8110-3:2020, berücksichtigt. Der Regelalgorithmus berücksichtigt nicht die Außentemperatur, sondern folgt einem Zeitplan, bei welchem das Fenster von 22 bis 7 Uhr gekippt ist, dann eine Stunde lang geöffnet wird und für den Rest des Tages, bis 22 Uhr, geschlossen bleibt.

Einschwingverfahren

Die exemplarisch ausgewählten Gebäudemodelle werden zunächst durch mehrere Simulationsläufe mit identisch wiederkehrenden Tageszyklen in einen thermisch stabilen Zustand

gebracht. Anschließend wurden die Gebäudemodelle einer dynamischen Gebäudesimulation unter den Bedingungen der modellierten fünftägigen Hitzewelle für RCP4.5 für 2050 sowie RCP8.5 für 2080 unterzogen.

Modellierung Innenraum

Der Innenraum für die thermische Gebäudesimulation ist folgend modelliert:

- Nutzfläche: 15 m² (Breite: 3 m, Länge: 5 m)
- Lichte Raumhöhe Bestand: 3,4 m
- Lichte Raumhöhe Neubau: 2,5 m
- Ausrichtung: Süd-Westseitig, da bei dieser Ausrichtung mit erhöhter Überhitzung zu rechnen ist
- Platzierung im Gebäude: Eine Zone im Erdgeschoß, eine im Dachgeschoß
- Fensterflächenanteil an der Fassade: 19 % im Bestand Mehrfamilienhaus und 30 % im Bestand Einfamilienhaus und im Neubau Mehrfamilienhaus

Der Innenraum ist als eine thermische Zone berücksichtigt.

Modellierung Kühlung

Um die Auswirkungen eines Kühlsystems während der modellierten Hitzewelle zu analysieren, wird in dem neu gebauten Mehrfamilienhaus eine Deckenkühlung mittels Betonkernaktivierung eingesetzt. Die Auslegungsleistung beträgt 17 W/m² bei einer Vorlauftemperatur von 21 °C.

Modellierung Fassadenbegrünung

Es wird ein Modell zur Nachbildung einer Fassadenbegrünung entwickelt, um deren mögliche Auswirkungen auf das Raumklima zu analysieren. Die verwendete Simulationssoftware bietet hierfür kein standardisiertes Modul. Um festzustellen, welche Modellierung realistische Ergebnisse liefert, wurde eine vergleichende Validierung mit den in der Greenpass-Simulation ermittelten Fassadentemperaturen durchgeführt. Die Modellierung einer Doppelglasfassade erzielte die höchste Übereinstimmung. Die Validierung der Doppelglasfassade gegenüber der Greenpass-Fassadentemperatur ist in Abbildung 9 zu sehen. Mit diesem Modell kann eine mittlere Übereinstimmung von 93 % bzw. 2,2 K erreicht werden.

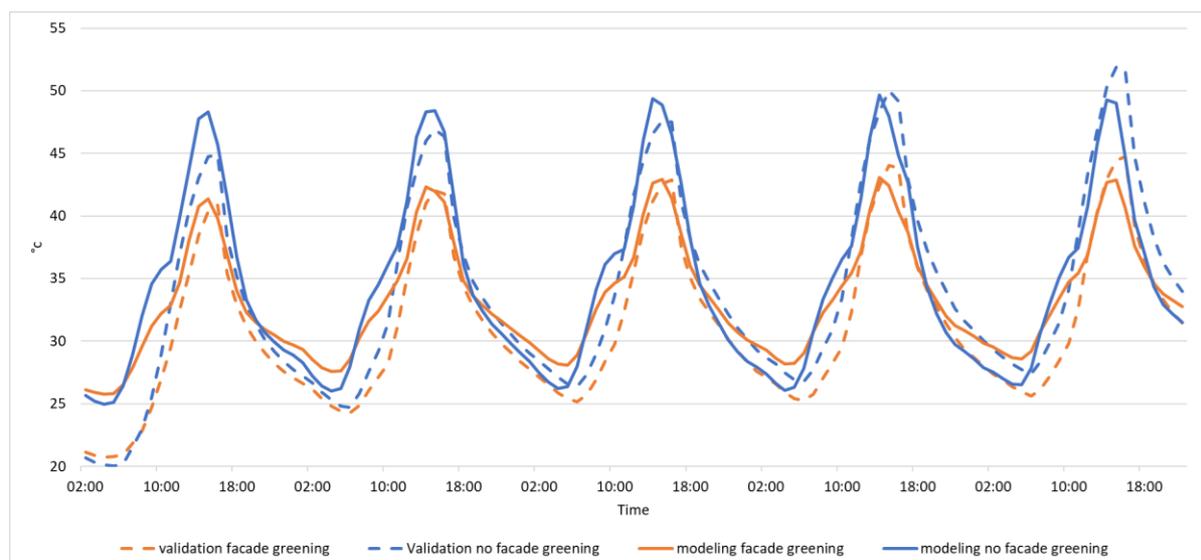


Abbildung 17: Vergleichende Validierung der Fassadentemperatur mit und ohne Doppelglasfassade

6.4. Ableitung von Handlungsempfehlungen

Aus den gewonnenen Informationen der Simulationen für Innen- und Außenraum leitete das Projektteam Handlungsempfehlungen für ein gesundes und klimaresilientes Wohnen ab. Dieser Katalog der Handlungsempfehlungen wurden dem wissenschaftlichen Beirat, welcher das Forschungsprojekt von Beginn an begleitete, zur Diskussion vorgelegt. Der wissenschaftliche Beirat bestand aus zehn Experten:innen aus den Bereichen Bauökologie, Fassaden- und Dachbegrünung, Umweltrecht, Normung, Landschaftsplanung, Haustechnik, Gesundheit und Mikrosimulierung.

Im anschließenden Stakeholder:innenworkshop wurden nach einer Präsentation der Projektergebnisse die ausgearbeiteten Empfehlungen den Beteiligten vorgestellt. Die Stakeholder:innen, die an dem Workshop teilnahmen, kamen aus unterschiedlichen Bereichen – u.a. Normungswesen, Stadterneuerung, Holzforschung, Klimawandelanpassung, Grün- und Freiräume, Energie, Gleichstellung. Die Teilnehmer:innen hatten die Möglichkeit die für sie fünf wichtigsten Empfehlungen zu bestimmen, welche sie während des Workshops besprechen wollen. In einer zweiten Befragungsrunde wurden die Akteure gefragt, welche der Empfehlungen für sie am wichtigsten sind und auf jeden Fall umgesetzt werden sollten. Weiters hatten die Teilnehmer im Nachlauf des Workshops die Möglichkeit weitere Stellungnahmen zum verschickten Ergebnisprotokoll zu liefern.

Die Ergebnisse aus den Simulationen, dem wissenschaftlichen Beirat und dem Stakeholder-Prozess wurden einem separaten Dokument zusammengefasst.

7. Arbeits- und Zeitplan

Der Projektbeginn war der 1. Oktober 2020, die ursprüngliche Dauer betrug 18 Monate. Die Tasks 2.2 bis 2.4 und 3.2 bis 3.3 erforderten mehr Zeit als ursprünglich geplant. Diese Aufgaben sollten bis September 2020 abgeschlossen sein. Aufgrund der Komplexität und der erforderlichen Computerkapazität wurden sie erst im Februar 2022 abgeschlossen. Daher wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 6 Monate bis zum 30. September 2022 beantragt und genehmigt.

Der Arbeits- und Zeitplan wird in folgender Übersicht dargestellt. Die Aufteilung erfolgt in Arbeitsparkete (WP) und Aufgabe (Tasks).

Tabelle 4: Projektablaufplan (Gantt-Diagramm)

Year		2020			2021												2022								
Month		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr.	Activities																								
1.0	Project Management																								
2.0	Climate-resilient open spaces																								
2.1	Analysis of existing regulations, laws and standards																								
2.2	Definition of aims regarding climate resilience for open spaces																								
2.3	Development of simulation models																								
2.4	Simulation and assessment																								
2.5	Reflectance of existing regulations, laws and standards and recommendation																								
3.0	Climate-resilient indoor spaces																								
3.1	Analysis of existing regulations, laws and standards																								
3.2	Definition of aims regarding climate resilience of indoor spaces																								
3.3	Development of simulation models & Simulation and assessment																								
3.4	Reflectance of existing regulations, laws and standards and recommendation																								
4.0	Synthesis and Dissemination (policy recommendations)																								
4.1	Development of dissemination plan (e.g. conferences)																								
4.2	Compilation/submission of scientific abstracts																								
4.3	Stakeholder workshop (incl. preparation)																								
4.4	Final report, targeted summaries																								

WP

Task

Extension WP

Extension Task

8. Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Im Folgenden werden wissenschaftlichen Publikationen, die aus dem Projekt entstehen werden, sowie sonstige relevanter Disseminierungsaktivitäten beschrieben.

8.1. Publikationen

Paper 1 (geplant)

Arbeitstitel Homeoffice in Austria from a Public Health Perspective

Mögliche Journals:

- Sustainability
(<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>)
- International Journal of Environmental Research and Public Health
(<https://www.mdpi.com/journal/ijerph>)

Geplantes Datum der Einreichung: Dezember 2023

Paper 2 (geplant)

Arbeitstitel: Coupled modeling in a changing climate: an outdoor and indoor microclimate interface evaluation

Mögliche Journals: in Abstimmung

Geplantes Datum der Einreichung: Jänner 2023

8.2. Präsentationen

- Daniela Haluza: “Bauwerksbegrünung und Gesundheit – die Wirkung von Grün auf den Menschen”, 16.09.2020, Austauschplattform Bauwerksbegrünung, IBA Wien.
- Daniela Haluza: “Umweltmedizinische Aspekte von Bauen und Wohnen”, 26.11.2020, Lehrveranstaltung der TU Wien: „Bauen für Menschen“, Online.
- Daniela Haluza: “Innovation in Grün: Wie Stadtbegrünung Klimaresilienz fördert.”, 03.12.2020, Science to Public Umweltwissenschaften, VHS Mariahilf, Wien.
- Lukas Clementschitsch: “NORM - New Options for Resilient Measures for human health and well-being in the construction industry under climate change in Austria”, 11.4.2021, Posterpräsentation Klimatag 2021, BOKU Wien.
- Renate Hammer: “Die Wirkung von Baunormen”, 14.09.2021, Veranstaltung im Rahmen der Reihe “Politik für leistbares Wohnen” der AG leistbares Wohnen & GBWW, Online.
- Daniela Haluza: “Spezifische Themenfelder in der Umwelthygiene und -medizin: Green Public Health”, 04.11.2021, Master Public Health Lehrgang, Schmelz, Wien.
- Daniela Haluza: “Fassadengrün- Klimaschutz und Klimaanpassung”, 30.03.2022, Projekt Fassadenbegrünung-Technische Universität Berlin, Medizinische Universität Wien.
- Renate Hammer: “Klimawandelanpassung konkret, über Möglichkeiten des Zusammenwirkens von Stadt und Gebäude”, 18.05.2022, Verbandstagung der gemeinnützigen Bauvereinigungen 2022, Austria Center Wien.
- Renate Hammer: “Vom Greenwashing zum wirksamen Maßnahmenpaket: Von Visionen über Forschung & Planung zur Umsetzung”, 20.09.2022, IBA-Talk im IBA-Zentrum, Wien.
- Thomas Belazzi: “Schadstofferkundung für saubere Materialkreisläufe”, 10.11.2022, Fachtagung Innenraumtag 2022 „Altlasten in Innenräumen“, Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium, Wien.

8.3. Policy Guide

In dem Dokument "Handlungsempfehlungen für ein gesundes und klimaresilientes Wohnen in Österreichs Städten" werden für die Handlungsfelder Außenraum, Innenraum und Gebäudeökologie die notwendigen Maßnahmen für ein gesundes und klimaresilientes Wohnen beschrieben. Diese beinhalten neben einer allgemeinen Beschreibung auch die Gesundheitsrelevanz sowie den Bezug zum Klimawandel und den anderen Handlungsfeldern. Auch die normative Relevanz, die Akteure und die empfohlenen nächsten Schritte sind aufgeführt. Für weitere Informationen wird auf das Dokument verwiesen.

D) Literatur

Altinisik, L., Peretti, G. (2014). Green4Cities-Report 4 - Erarbeitung der globalen UST – update

Antoszewski, P., Świerk, D., Krzyżaniak, M. (2020). Statistical Review of Quality Parameters of Blue-Green Infrastructure Elements Important in Mitigating the Effect of the Urban Heat Island in the Temperate Climate (C) Zone. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 7093.

Berry, HL, Bowen, K und Kjellstrom, T (2010). Climate change and mental health: a causal pathways framework, in: *International Journal of Public Health*, Jg. 55, Nr. 2, S. 123–132.

Capari, L., Wilfing, H., Exner, A.; Höflehner, T., Haluza, D. (2022). Cooling the City? A Scientometric Study on Urban Green and Blue Infrastructure and Climate Change-Induced Public Health Effects. *Sustainability*, 14, 4929.

Cianconi, P., Betrò, S. and Janiri, L. (2020). The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review, in: *Frontiers in Psychiatry*, Jg. 11, S. 74.

Clark, T., Zolnikov, T. (2020). Climate Change and Mental Health. In: Brears R. (eds). *The Palgrave Handbook of Climate Resilient Societies*. Palgrave Macmillan, Cham, p.18.

Clayton, S. (2020). Climate anxiety: Psychological responses to climate change, in: *Journal of Anxiety Disorders*, Jg. 74, S. 102263.

Cunsolo, A. und Ellis, NR. (2018). Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss, in: *Nature Climate Change*, Jg. 8, Nr. 4, S. 275– 281.

Depietri, Y., Renaud, F.G., Kallis, G. (2011). Heat waves and floods in urban areas: A policy-oriented review of ecosystem services. *Sustain. Sci.*, 7, 95–107.

ENVI-met (1.). ENVI-met Model Architecture. <https://envi-met.info/doku.php?id=intro:modelconcept> (17.08.2021)

ENVI-met (2.). Lateral Boundary Conditions. <https://envi-met.info/doku.php?id=kb:lbc> (17.08.2021)

Filho, W.L., Icaza, L.E., Emanche, V.O.; Al-Amin, A.Q. (2017). An Evidence-Based Review of Impacts, Strategies and Tools to Mitigate Urban Heat Islands. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 1600.

Filho, W.L., Icaza, L.E., Neht, A., Klavins, M., Morgan, E.A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature-based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *J. Clean. Prod.*, 171, 1140–1149.

Filho, W.L, Wolf, F., Castro-Díaz, R., Li, C., Ojeh, V.N., Gutiérrez, N., Nagy, G.J., Savić, S., Natenzon, C.E., Quasem Al-Amin, A., Maruna, M., Bönecke, J. (2021). Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. *Sustainability*, 13, 753.

Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyaux, C., et al. (2006). Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 80, 16–24.

Founda, D., Santamouris, M. (2012). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer. *Sci. Rep.* 2017, 7, 1–11.

Gabriel, K.M.A., Endlicher, W.R. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environ. Pollut.* 159, 2044– 2050.

Gasparrini, A., Armstrong, B., Kovats, S., Wilkinson, P. (2012). The effect of high temperatures on cause-specific mortality in England and Wales. *Occup. Environ. Med.* 69, 56–61.

Gasparrini, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M. et al. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet. Heal.* 1, e360–e367.

Hajat, S., Kosatky, T. (2010). Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *J. Epidemiol. Community Health* 64, 753–760.

Ingole, V., Dimitrova, A., Charfudin, J.S. et al. (2022). Local mortality impacts due to future air pollution under climate change scenarios. *Science of The Total Environment*, Volume 823, 153832.

IPCC (2007). *Climate Change 2007. Synthesis Report*. Cambridge University Press, Cambridge.

Kleerekoper, L., van Esch, M., Salcedo, T.B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resour. Conserv. Recycl.* 64, 30–38.

Kovats, R.S., Johnson, H., Griffith, C. (2003). Mortality in southern England during the 2003 heat wave by place of death. *Health Stat. Quart./Office Natl. Stat.* 2006, 6–8.

Laaidi, K., et al. (2012). The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave. *Environ Health Perspect*, 120(2): p. 254-9.

Lee, A.C.K., Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence. *J. Public Health*, 33, 212–222.

Lehmann, S., Low carbon districts (2014): Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. *City, Culture and Society*, 5(1): p. 1-8.

Li, D., Bou-Zeid, E. (2013). Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts. *J. Appl. Meteorol. Clim.*, 52, 2051–2064.

Lin, B.B., Meyers, J., Beaty, M.R., Barnett, B.G. (2016). Urban Green Infrastructure Impacts on Climate Regulation Services in Sydney, Australia. *Sustainability*, 8, 788.

Livesley, S.J., McPherson, E.G., Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *J. Environ. Qual.*, 45, 119–124.

Maraun, W. (2019). "Es wird wärmer" - Reaktive Emissionen aus Holzwerkstoffen. In: *Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und Sanierung, Ergebnisse des 12. AGÖF Fachkongresses in Hallstadt bei Bamberg, Oktober 2019*. Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V., ISBN 978-3-930576-11-1, Seite 22-31

Maraun, W. (2018). Raumlufkonzentrationen von Carbonsäuren und anderen VOC in Holzmodul- und Holzständerbauten. In: *Gebäudeschadstoffe und Innenraumluf* Band 6, Seite 26-38

Maraun, W., Unger, P., Sängler, St. (2016). Ameisen- und Essigsäure in der Raumluf von Fertighäusern in Holzständer-Bauweise. In: *Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und Sanierung, Ergebnisse des 11. AGÖF Fachkongresses in Hallstadt bei Bamberg, November 2016*. Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V., ISBN 978-3-930576-10-4, Seite 206-231

Menon, S., Akbari, H., Mahanama, S., Sednev, I., Levinson, R. (2010). Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. *Environ. Res. Lett*, 5, 014005.

Mesquita, C.T., Azevedo-Silva, F. (2022). Exposome and cardiometabolic health: Temperature change and humidity are part of the puzzle, *Revista Portuguesa de Cardiologia*, Volume 41, Issue 1, 59-60.

Moghadamnia, M.T., Ardalan, A., Mesdaghinia, A., Keshtkar, A., Naddafi, K., Yekaninejad, M.S. (2017). Ambient temperature and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ* 5, e3574.

Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landsc. Urban Plan.* 134, 127–138.

Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108, 1–24.

Page, L., Hajat, S., Kovats, R.S., Howard, L. (2012). Temperature-related deaths in people with psychosis, dementia and substance misuse. *Br. J. Psychiatry.*

Phung, D., Thai, P.K., Guo, Y., Morawska, L., Rutherford, S., Chu, C. (2016). Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: an updated systematic review and meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 550, 1084–1102.

Revi, A., Satterthwaite, D.E., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot J., Kiunsi, R.B.R., Pelling M., Roberts D.C. & W. Solecki. (2014). Urban areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 535-612.

Rogers, C.D., Gallant, A.J., Tapper, N.J. (2019). Is the urban heat island exacerbated during heatwaves in southern Australian cities? *Appl. Clim.*, 137, 441–457.

Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Sci. Total Environ.*, 512–513, 582–598.

Santamouris, M. (2016). Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change. *Sol. Energy*, 128, 61–94.

Schaffernicht, S. (2021). Inklusion von Menschen mit Behinderungen in die Urbane Landwirtschaft in Wien. Die kombinierte Anwendung von Grounded Theory, Aktions- und Evaluationsforschung für die Erarbeitung eines sozial-ökologischen Modells. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien.

Shou, Y., Zhang, D.-L. (2012). Recent advances in understanding urban heat island effects with some future prospects. *Acta Meteorol. Sin*, 70, 338–353.

Silveira, I. H., Cortes, T. R. et al. (2021). Projections of excess cardiovascular mortality related to temperature under different climate change scenarios and regionalized climate model simulations in Brazilian cities, *Environmental Research*, Volume 197, 110995.

Taylor, J., Wilkinson, P., Davies, M. et al. (2015). Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London, *Urban Climate*, Volume 14, Part 4, 517-528,

Umweltbundesamt (2019). Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) am Umweltbundesamt - Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Luftqualität in Innenräumen. *Bundesgesundheitsblatt* 62, 232–234. <https://doi.org/10.1007/s00103-018-2870-4>

Venter, Z.S., Krog, N.H., Barton, D.N. (2020). Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. *Sci. Total. Environ.*, 709, 136193.

Watts, N., Adger, W., Agnolucci, P. et al. (2015). Health and climate change: Policy response to protect public health, in: *The Lancet*. S. 386.

Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., et al. (2019). The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet*. 394, 1836–1878.

Xiao, J.Y., Ji, N., Li, X., Yu, L.X., Ji, F. (2015). Cooling effect of city parks—A case of Shijiazhuang. *J. Arid. Landsc. Res. Environ.* 29, 75–79.

Ye, X., Wolff, R., Yu, W., Vaneckova, P., Pan, X., Tong, S. (2012). Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence. *Environ. Health Perspect.* 120, 19–28.

Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J.W., Ebi, K., Bou-Zeid, E., Guan, K., Liu, X. (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environ. Res. Lett.*, 13, 034003.

E) Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

TABELLE 1: MITTELTEMPERATUR FÜNFTÄGIGER HITZEWELLEN MIT EINER WIEDERKEHRWAHRSCHEINLICHKEIT VON ZWEI JAHREN.....	9
TABELLE 2: BAUPHYSIKALISCHE QUALITÄTEN DER UNTERSUCHTEN GEBÄUDE TypEN	30
TABELLE 3: STRAHLUNGSPHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER UNTERSUCHTEN GEBÄUDE TypEN	31
TABELLE 4: PROJEKTB LAUF PLAN (GANTT-DIAGRAMM)	34
ABBILDUNG 1: LINKS: ANZAHL AN TAGEN MIT TAUPUNKTTEMPERATUREN ÜBER 20 °C FÜR DEN ZEITRAUM 1981-2000 SOWIE 2001-2020 AN DEN DREI STANDORTEN. SOWIE RECHTS KLIMASZENARIEN BASIEREND AUF AUSGEWÄHLTEN MODELL EN DIE DEM ENSEMBLEMITTEL DER EMISSIONSSZENARIEN RCP4.5 UND 8.5 ENTSPRECHEN FÜR GRAZ.....	9
ABBILDUNG 2: LUFTTEMPERATUR IN °C FÜR WIEN: KLIMAEINGANGSDATEN (STRICHLIERTE LINIE), SIMULATIONS AUSGANGS-DATEN (DURCHGEZOGENE LINIE) UND MITTLERE SIMULATIONS AUSGANGS-DATEN (GEPUNKTETE LINIE) FÜR AKTUELLE KLIMAPERIODE (BLAU), RCP4.5 2050 (GELB) UND RCP8.5 2080 (ROT).	10
ABBILDUNG 3: PET IN °C ALS MITTELWERT ÜBER HITZEWELLE UM 15 UHR FÜR WIEN (ERSTE REIHE), INNSBRUCK (MITTLERE REIHE) UND GRAZ (LETZTE REIHE) FÜR AKTUELLE KLIMAPERIODE (ERSTE SPALTE), RCP4.5 2050 (MITTLERE SPALTE) UND RCP8.5 2080 (LETZTE SPALTE).....	11
ABBILDUNG 4: REFERENZSZENARIEN ALS KUMULATIVE SUMME ÜBER DIE HITZEWELLE FÜR WIEN: KURZWELIGE STRAHLUNG (O.L.), THERMISCHE SPEICHERFÄHIGKEIT (O.R.), THERMISCHER ABLUFTSTROM (U.L.) UND THERMISCHER KOMFORT (U.R.) FÜR RCP8.5 2080.	12
ABBILDUNG 5: PET-VERGLEICH MODIFIZIERTES MODELL – STATUS QUO UM 15 UHR AM 1. TAG (L.) UND KPI-VERGLEICH STATUS QUO, BEST CASE UND MODIFIZIERTES MODELL IM TAGESMITTEL AM 1. TAG (R.).....	13
ABBILDUNG 6: VERGLEICH DER LUFTTEMPERATUR UM 4 UHR AM 2. TAG FÜR BEWERTUNG DER NÄCHTLICHEN ABKÜHLUNG: MODIFIZIERTES MODELL – STATUS QUO (L.) UND MODIFIZIERTES MODELL – BEST CASE (R.).....	14
ABBILDUNG 7: VERGLEICH DER OPERATIVEN INNENRAUMTEMPERATUR WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE IM KLIMASZENARIO 2050 RCP4.5 IN WIEN, INNSBRUCK UND GRAZ.....	16
ABBILDUNG 8: VERGLEICH DER ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT (UNMET HOURS) DER GRENZWERTE, DIE UNTERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT UNTER 24 °C UND MITTLERE OPERATIVE INNENRAUMTEMPERATUR WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE IM KLIMASZENARIO 2050 RCP4.5.....	16
ABBILDUNG 9: VERGLEICH DER OPERATIVEN INNENRAUMTEMPERATUR WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE IM KLIMASZENARIO 2080 RCP8.5 IN WIEN, INNSBRUCK UND GRAZ.....	17
ABBILDUNG 10: VERGLEICH DER ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT (UNMET HOURS) UNTERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT UNTER 24 °C UND MITTLERE OPERATIVE INNEN-RAUMTEMPERATUR WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE IM KLIMASZENARIO 2080 RCP8.5.....	18
ABBILDUNG 11: VERGLEICH DER OPERATIVEN INNENRAUMTEMPERATUR WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE MIT UND OHNE AUßENLIEGENDEN SONNEN-SCHUTZ IM KLIMASZENARIO 2050 RCP4.5 IN WIEN.....	19
ABBILDUNG 12: VERGLEICH DER ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT (UNMET HOURS), UNTERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT UNTER 24 °C UND MITTLERE OPERATIVE INNENRAUMTEMPERATUR MIT UND OHNE AUßENLIEGENDEN SONNENSCHUTZ WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE IM KLIMASZENARIO 2050 RCP4.5 IN WIEN	19
ABBILDUNG 13: VERGLEICH DER OPERATIVEN INNENRAUMTEMPERATUR WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE BEI WOHN NUTZUNG, WOHN- UND HOME-OFFICE-NUTZUNG SOWIE BÜRONUTZUNG IM KLIMASZENARIO 2050 RCP4.5 IN WIEN	20
ABBILDUNG 14: VERGLEICH DER ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT, UNTERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT UNTER 24 °C UND MITTLERE OPERATIVE INNENRAUMTEMPERATUR BEI WOHN NUTZUNG, WOHN- UND HOME-OFFICE-NUTZUNG SOWIE BÜRONUTZUNG WÄHREND DER FÜNFTÄGIGEN HITZEWELLE IM KLIMASZENARIO 2050 RCP4.....	21

ABBILDUNG 15: AUßENRAUMMODELL BESTEHEND AUS 9 USTs INKLUSIVE MODELLGEBÄUDE (1=MEHRFAMILIENHAUS BE-STAND, 2=EINFAMILIENHAUS BESTAND, 3=MEHRFAMILIENHAUS NEUBAU).....	29
ABBILDUNG 16: REFERENZSZENARIEN ALS 3D-MODELL: STATUS QUO (L.), WORST CASE (M.) UND BEST CASE (R.).....	30
ABBILDUNG 17: VERGLEICHENDE VALIDIERUNG DER FASSADENTEMPERATUR MIT UND OHNE DOPPELGLASFASSADE.....	33

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.