



Schlussbericht, 29.12.2017

ClimaBau – Planen angesichts des Klimawandels

Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten bis ins Jahr 2100





Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE LUZERN

Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik
und Energie

Datum: 29. Dezember 2017

Ort: Luzern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschung und Entwicklung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Klima
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Auftragnehmer/in:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autoren:

Gianrico Settembrini, IGE, gianrico.settembrini@hslu.ch
Silvia Domingo-Irigoyen, IGE, silvia.domingo@hslu.ch
Thomas Heim, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur CCTP, thomas.heim@hslu.ch
Dominic Jurt, IGE, dominic.jurt@hslu.ch
Andrii Zakovorotnyi, IGE, andrii.zakovorotnyi@hslu.ch
Axel Seerig, IGE, axel.seerig@hslu.ch
Gerhard Zweifel, IGE, gerhard.zweifel@hslu.ch
Urs-Peter Menti, IGE, urs-peter.menti@hslu.ch

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501318-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

*Titelbild: Minimum Monument von Nele Azevedo als Symbol für die Folgen der Klimaerwärmung.
© 2014 Steve Eggleton / eventdigital.co.uk*

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht den Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit von Wohnbauten in der Schweiz bis ins Jahr 2100. Dazu wurde der Schweizer Wohnbaupark anhand von vier realen Beispielgebäuden (zwei Altbauten und zwei Neubauten) repräsentiert. Das künftige Klima wurde in erster Linie mit Hilfe des Szenarios A1B des IPCC [11], welches einem mittleren Treibhausgasszenario entspricht, für die Periode 2045-2074 abgebildet. Thermische Gebäudesimulationen mit den Klimadaten dieser Periode wurden mit solchen von 1980-2009 verglichen.

Die Simulationsergebnisse zeigen bedeutende Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit in Gebäuden. Reduziert sich der Heizwärmebedarf um 20-30%, steigt der Klimakältebedarf hingegen exponentiell an. Dieser wird im Schweizer Mittelland rund die Hälfte des Heizwärmebedarfs betragen. Behagliche Temperaturen in den Innenräumen werden nur durch optimale Nutzung des Sonnenschutzes und einer genügenden Nachtauskühlung der Gebäude gewährleistet werden können. Die Automatisierung dieser Systeme und der Gebäudeentwurf, insbesondere die Befensterung (Qualität, Ausrichtung, Fläche, Öffnungsmöglichkeit, Beschattung usw.) werden eine zentrale Rolle hinsichtlich der Behaglichkeit und der Robustheit gegenüber dem Klimawandel spielen.

Résumé

Le présent rapport porte sur l'étude de l'impact du changement climatique sur le besoin énergétique et sur le confort des bâtiments résidentiels en Suisse jusqu'en 2100. Quatre bâtiments différents et représentatifs du parc immobilier Suisse en 2100 ont été sélectionnés. L'évolution du climat a été basée sur les données du scénario A1B de l'IPCC [11] pour la période de 2045-2074. Des simulations thermiques du bâtiment ont été systématiquement effectuées pour la période de 2045 à 2074 et comparées à la période de référence de 1980-2009.

Les résultats de simulation montrent que le changement climatique aura un impact considérable sur le confort et sur les besoins énergétiques des bâtiments. Alors que les besoins de chaleur utile seront réduits de 20-30%, les besoins de refroidissement augmenteront de manière exponentielle pour atteindre la moitié des besoins de chaleur utile. Toutefois, il sera possible de maintenir des températures confortables à l'intérieur des bâtiments grâce à une utilisation adaptée des protections solaires et de la ventilation naturelle. De ce fait, l'automation des bâtiments et le design des fenêtres (e.g. type de vitrages, emplacement, surface vitrée, mode d'ouverture, type de protection solaire) joueront un rôle central pour garantir que les bâtiments sauront s'adapter aux changements climatiques futures.

Summary

The impact of climate change on the energy demand and thermal comfort in residential buildings in Switzerland until 2100 has been assessed. For this purpose, four residential buildings (two old and two new buildings), representative of the Swiss building stock in 2100, have been chosen. Future climate is represented by the climatic projections of the IPCC [11] scenario A1B for the period 2045-2074. Building simulations were comparatively performed for the reference period (1980-2009) and the future period (2045-2074).

The results show that climate change will have a considerable impact on the comfort and energy demand of buildings. Heating demand will be reduced by 20-30% whereas cooling demand will increase exponentially, reaching half of the heating demand. However, it will be still possible to keep comfortable temperatures with a good use of solar protection and natural ventilation. Therefore, automation and the design of the windows (quality, size, opening type of the windows and solar protection) will be key aspects to consider in order to plan buildings that are fit for future warmer climate conditions.



Verdankung

Die Autoren danken herzlich den Vertretern der Begleitgruppe für die Unterstützung, die Anregungen, den fachlichen Austausch und das Interesse. MeteoSchweiz, der Universität Basel und namentlich den Professoren Dr. Eberhard Parlow und Dr. Roland Vogt gebührt grossen Dank für die Erarbeitung projektspezifischer meteorologischen Daten und die Nutzungsmöglichkeit von bereits entwickelten Modellen, insbesondere zum städtischen Wärmeinseleffekt, im Rahmen dieses Forschungsprojekts. Die Beauftragten danken zudem dem Bundesamt für Energie (BFE) und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die finanzielle Unterstützung und dem themenspezifischen Engagement.

Begleitgruppe:

Rolf Moser (BFE, Vorsitz)
Carla Gross (BAFU)
Roland Hohmann (BAFU)
Andreas Fischer (MeteoSchweiz)
Mark Liniger (MeteoSchweiz)
Martin Imholz (AG MuKE)
Gerhard Zweifel (SIA)
Axel Seerig (HSLU)



Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	3
Résumé.....	3
Summary	3
Verdankung.....	4
Zusammenfassung.....	7
Abkürzungsverzeichnis	13
1. Ausgangslage.....	14
2. Ziel der Arbeit	16
3. Grundlagen	18
4. Vorgehen.....	20
4.1. Klimadaten und Szenarien	20
4.1.1. Projektionen	20
4.1.2. Modellvergleich	21
4.1.3. Parameter.....	22
4.1.4. Standorte.....	22
4.1.5. Zeitperiode und Szenario	23
4.1.6. Aufbereitung der Daten	24
4.1.7. Relevante Jahre	26
4.2. Typologien im Wohnungsbau	27
4.2.1. Statistische Grundlagen	27
4.2.2. Typologie Wohngebäude (MFH)	31
4.2.3. Experteninterviews	33
4.2.4. Auswahl der Beispielgebäude	38
4.3. Thermische Raumsimulationen	41
4.3.1. Auswertungsparameter	41
4.3.2. Konzept Phase I	43
4.3.3. Konzept Phase II	43
5. Ergebnisse und Erkenntnisse	44
5.1. Simulationen – Phase I (Fallbeispiele).....	44
5.1.1. Rahmenbedingungen.....	44
5.1.2. Fallbeispiel „Altbau standard“	48
5.1.3. Fallbeispiel „Altbau geschützt“	56
5.1.4. Der „Neubau massiv“	64
5.1.5. Der „Neubau hybrid“	73



5.1.6. Diskussion Phase I	82
5.2. Simulationen – Phase II (Parametervariation)	89
5.2.1. Referenzmodell	90
5.2.2. Betriebsparameter	93
5.2.3. Entwurfparameter	106
5.2.4. Übergeordnete Parameter	122
6. Schlussfolgerung und Handlungsempfehlungen	134
7. Literaturverzeichnis	139
8. Anhang	142
8.1. Vorauswahl der Beispielgebäude	142
8.2. Experteninterviews	152
8.3. Kurzbeschreibung Beispielgebäude	163
8.4. Umfassende Simulationsergebnisse – Phase I	165
8.4.1. „Altbau standard“	165
8.4.2. „Altbau geschützt“	167
8.4.3. „Neubau massiv“	169
8.4.4. „Neubau hybrid“	171

Zusammenfassung

Es ist zu erwarten, dass das Klima der Schweiz im Laufe des 21. Jahrhunderts signifikant vom heutigen und vergangenen Zustand abweichen wird. Je nach Szenario und Region wird bis zum Ende des Jahrhunderts eine Zunahme der jahreszeitlichen mittleren Temperatur von 3.2-4.8°C vorausgesagt [1].

Das Ziel der vorliegenden Studie war, die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels auf den **Energiebedarf und die Behaglichkeit in Schweizer Wohnbauten bis ins Jahr 2100** zu untersuchen. Vorrangig waren dazu die **Raumtemperaturen** zu ermitteln, die sich in den Gebäuden aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen ohne Kühlmassnahmen einstellen werden. Daraus lassen sich einerseits die Folgen auf den **thermischen Komfort** in ungekühlten Wohnräumen ableiten, andererseits kann der **Klimakältebedarf** zur Erfüllung der normativ vorgegebenen Behaglichkeitsanforderungen quantifiziert werden. Der prognostizierte Klimakältebedarf wird mit demjenigen für die Heizwärme sowie der Beleuchtung in Relation gebracht, um Aussagen zur künftigen Entwicklung des **Gesamtenergie- sowie Leistungsbedarfs** in Wohnbauten zu formulieren.

Gesucht waren Massnahmen, die das Verhalten von Wohnbauten über deren gesamten Nutzungsdauer im Hinblick auf den Klimawandel sowie hinsichtlich des Energiebedarfs und der Behaglichkeit optimieren.

Das Projekt teilte sich strukturell in **drei Handlungsfelder** auf: (i) zunächst wurden in einer ersten Projektphase mögliche Treibhausgasszenarien und *Klimadaten* analysiert, (ii) parallel dazu erfolgte die Studie von *Gebäudetypologien* für zukünftige Wohnhäuser. Die ausgesuchten Klimaszenarien und Gebäudetypen bildeten die Basis für (iii) die *thermischen Raumsimulationen*, die der Beantwortung der oben genannten Forschungsfragen dienen.

Zur Durchführung der Untersuchung mit klimatischen Bedingungen bis ins Jahr 2100 mussten zukünftige Klimareihen in ein Dateiformat gebracht werden, welches die Simulationsumgebung einlesen konnte. In Zusammenarbeit mit Fachleuten von MeteoSchweiz, der ETH Zürich und der Universität Basel wurden projektspezifische Klimadaten entwickelt, die den Klimawandel und den städtischen Wärmeinseleffekt abbilden konnten. Dazu wurden für verschiedene Standorte in der Schweiz Klimadatenätze aus Messungen verwendet und mit Projektionen aus Klimamodellen kombiniert. Nach der Evaluation der unterschiedlichen Klimaszenarien für das 21. Jahrhundert folgte die Studie in erster Linie dem IPCC Szenario A1B [11], welches einem mittleren Treibhausgasszenario entspricht.

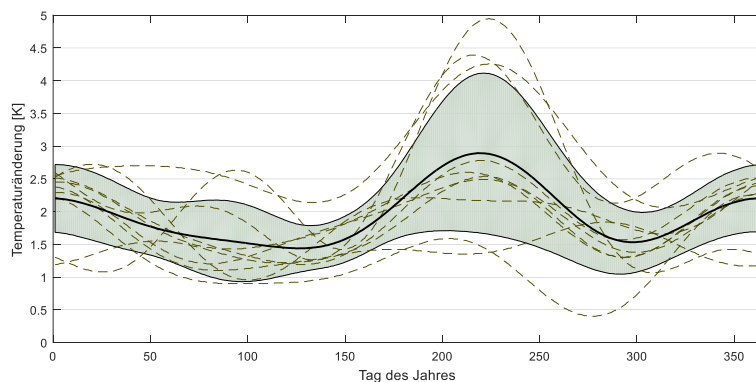


Abbildung A (entspricht der Abbildung 2 im Bericht): Jahresgang des Temperaturänderungssignals des Klimaszenarios A1B aus 10 Modellketten für den Standort Basel und der Periode „2060“ (2045-2074) im Vergleich zur Referenzperiode „1995“ (1980-2009).

Der Schweizer Wohnbaupark wurde anhand von **Beispielgebäuden** repräsentiert. Aktuelle Leuchtturmprojekte wurden dazu durch das Projektteam ausgewählt und mit Fachleuten aus der Baubranche analysiert. Die Relevanz dieser Beispielbauten für die künftige Entwicklung im Bausektor konnte folglich bestimmt und eine Vorauswahl der relevanten Typologien für die Projektbearbeitung getroffen werden. Im Dialog mit der Begleitgruppe wurden vier Gebäude – zwei Altbauten und zwei Neubauten – bestimmt, an denen exemplarisch die Auswirkungen des Klimawandels anhand der **thermischen Simulationen** untersucht wurden.

In der **ersten Simulationsphase** wurde das Verhalten der realitätsnah abgebildeten Gebäude am Standort Basel – stellvertretend für das Schweizer Mittelland – mit dem Klimaszenario A1B der meteorologischen Periode „2060“ (2045-2074) mit demjenigen in der Referenzperiode „1995“ (1980-2009) verglichen. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Simulationen am selben Gebäude konnten so ausschliesslich dem Klimawandel zugeordnet werden.

Der durchschnittliche Heizwärmebedarf bei den *Altbauten* reduzierte sich im Ergebnis der Berechnungen zwischen den betrachteten Perioden um 20%. Der Klimakältebedarf stieg aufgrund der höheren Aussentemperaturen exponentiell an, blieb aber anteilmässig im Vergleich zum Heizwärmebedarf nahezu unbedeutend. Die notwendige Kühlleistung machte dennoch 30-40% der Heizleistung aus. Bei den *Neubauten* reduzierte sich der Heizwärmebedarf um 30%, die Heizleistung um 15%. Der Klimakältebedarf erhöhte sich auf rund 50% des Heizwärmebedarfs (Abbildung B). Die notwendige Kälteleistung betrug bis zum Doppelten der Heizleistung.

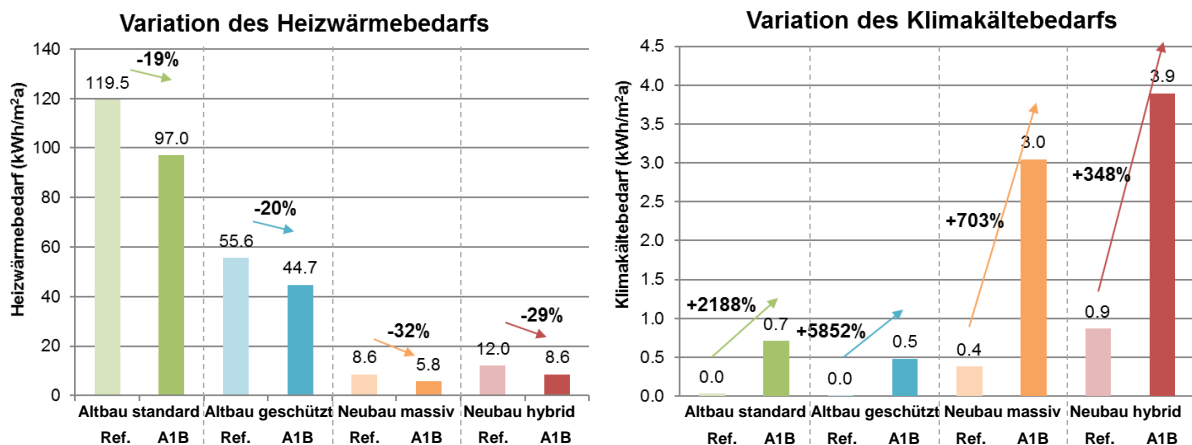


Abbildung B (54 und 55): Jährliche Medianwerte zu Heizwärme- und Klimakältebedarf der vier Fallstudien in der Referenzperiode „1995“ (1980-2009) und der Periode „2060“ (2045-2074) am Standort Basel. Die Prozentzahlen geben die auf den Klimawandel zurückführbare Veränderung an.

Der Vergleich der Simulationsergebnisse der **vier Fallstudien** erlaubte erste Rückschlüsse zum Einfluss der jeweiligen Gebäudecharakteristiken angesichts des Klimas. Die Unterschiede zwischen Alt- und Neubauten liegen in der Kombination verschiedener Faktoren begründet. Diese basierten sowohl auf typologische Eigenschaften der Gebäude (z.B. Dämmwerte oder Fensteranteil) als auch auf deren Betrieb (z.B. Art und Bedienung der Lüftung respektive des Sonnenschutzes).

In einer **zweiten Simulationsphase** wurde deshalb der Einfluss einzelner Gebäudeparameter an einem Referenzmodell untersucht. In der Parameterstudie wurde zwischen Betriebsparametern (Nachtkühlung, Sonnenschutz, Nutzerverhalten), Entwurfsparametern (U-Werte, Fensteranteil, Orientierung, Wärmespeicherefähigkeit) und übergeordneten Parametern (Standort, städtischer Wärmeineffekt, Kühlpotenzial durch PV-Anlagen) unterschieden. Die Parameterstudie erfolgte sowohl in einem Medianjahr als auch in einem ausserordentlichen warmen Jahr der Perioden „1995“ und „2060“. So konnte die Auswirkung der Parametervariation im selben Jahr mit derjenigen mit und im entsprechenden Jahr der Referenzperiode verglichen werden.

Als **Referenzgebäude** wurde ein Massivbau bestimmt, welcher den heutigen Baustandard und die Wohntypologie in angemessener Weise repräsentiert. Es erfüllt den Minergie®-Standard, verfügt über aussenliegenden, automatisierten Sonnenschutz, ist mit einer mechanischen Lüftungsanlage ausgestattet und kann morgens sowie abends zusätzlich natürlich belüftet werden.

Die Folgen des Klimawandels im Schweizer Mittelland konnten durch die Simulationen des Referenzmodells am Standort Basel eindrücklich verdeutlicht werden:

In einem warmen Sommer der Periode „2060“ liess sich im Mittel der Wohnräume eine *maximal empfundene Raumtemperatur* von 32.0 °C berechnen. Im durchschnittlichen Jahr der Referenzperiode „1995“ betrug dieselbe berechnete Raumtemperatur noch 27.0 °C, im Extremsommer 2003 30.3 °C.

Die Veränderung der Temperaturen hatte einen bezeichnenden Einfluss auf die nach SIA 180:2014 [12] kalkulierbaren *Überheizungsstunden* in den Wohnräumen. Wurden im durchschnittlichen Jahr der Periode „1995“ tolerierbare 27 Stunden im Mittel aller Wohnzonen berechnet und im Extremsommer 2003 eine Erhöhung auf etwa 359 Überheizungsstunden, stieg deren Anzahl in einem warmen Jahr der Periode „2060“ auf nahezu 900 Stunden an, was rund einem Fünftel des Sommerhalbjahrs entspricht (Abbildung C).

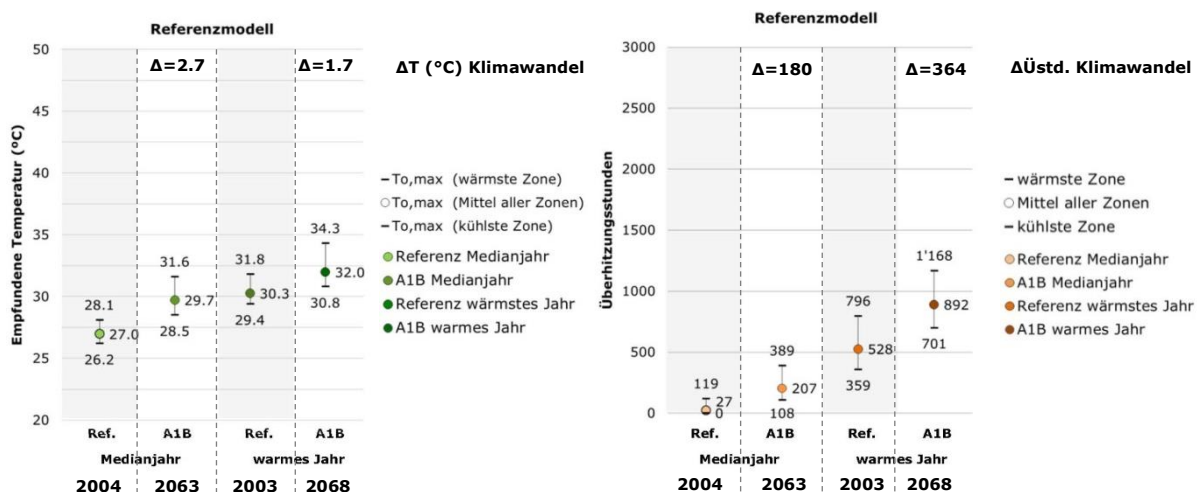


Abbildung C (59 und 60): Maximal empfundene Temperatur und Anzahl Überheizungsstunden im Referenzmodell in den untersuchten Jahren am Standort Basel.

Die Erfüllung der Komfortanforderungen hätte massive Effekte auf den künftig dafür erforderlichen *Klimakältebedarf*. In einem durchschnittlichen Jahr der Periode „1995“ wiesen die Räume des Referenzmodells im Sommer kein Klimakältebedarf auf, im Extremsommer 2003 betrug dieser weniger als 4.0 kWh/m²a. Im prognostiziert warmen Sommer 2063 wurde hingegen ein Klimakältebedarf von 8.2



kWh/m²a berechnet. Der Bedarf für die Kühlung des Gebäudes würde damit denjenigen des heutigen durchschnittlichen *Heizwärmebedarfs* von 7.5 kWh/m²a übersteigen. Letzterer sank angesichts des Klimawandels zwar kontinuierlich, die Reduktion war allerdings weniger ausgeprägt als der Klimakältebedarfsanstieg. Im Jahr 2063 betrug der berechnete Heizwärmebedarf nach wie vor 5.0 kWh/m²a (Abbildung D).

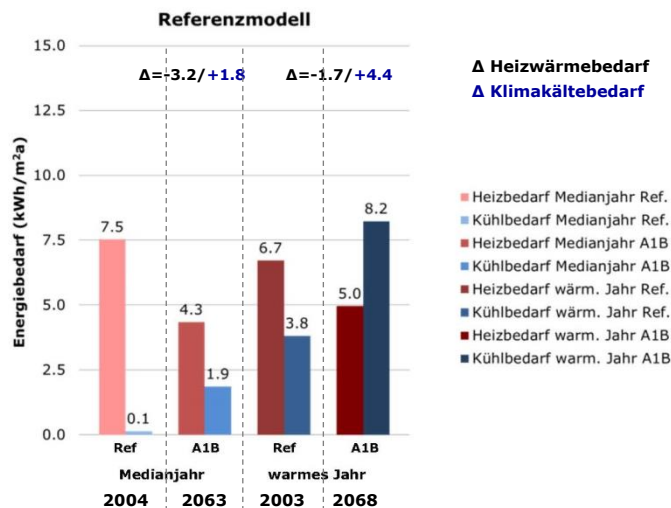


Abbildung D (61): Heiz- und Klimakältebedarf des Referenzmodells in den untersuchten Jahren am Standort Basel.

Die Auswirkungen des Klimawandels verstärkten sich durch die Berücksichtigung des **städtischen Wärmeinseleffekts** merklich. Im Referenzmodell erhöhte sich dadurch in einem warmen Jahr der Periode „2060“ die maximale empfundene Temperatur auf 33.3 °C, die Anzahl an Überhitzungsstunden auf über 1'200 und der Klimakältebedarf auf 13.0 kWh/m²a.

Simulationen am Standort Lugano zeigten die bedeutungsvollen Auswirkungen des Klimawandels in der **Südschweiz** auf. Bei den dortigen klimatischen Bedingungen würde das Referenzgebäude in einem warmen Jahr der Periode „2060“ über 1'400 Überhitzungsstunden aufweisen, nahezu ein Drittel des gesamten Sommerhalbjahrs. Der Klimakältebedarf würde sich dementsprechend auf 18.4 kWh/m²a erhöhen, der Heizwärmebedarf gleichzeitig auf 1.5 kWh/m²a sinken. Im 2003 war ein dreifacher Heizwärmebedarf und ein rund drei Mal tieferer Klimakältebedarf registriert worden. In einem durchschnittlichen Jahr der Periode „1995“ würde der Heizwärmebedarf auch in Lugano noch nahezu das Vierfache des Klimakältebedarfs betragen.

Dies verdeutlichte für den Energiebereich die künftige Verschiebung der Bedeutung von der Bereitstellung der Heizwärme (Winterbetrachtung) hin zur Gewährleistung von behaglichen Räumen bei hohen Aussentemperaturen (Sommerbetrachtung). Die Abbildung E zeigt einen entsprechenden Vergleich vom prognostizierten Heizwärme- sowie Klimakältebedarf für ein durchschnittlich warmes Jahr der Periode „2060“ auf.

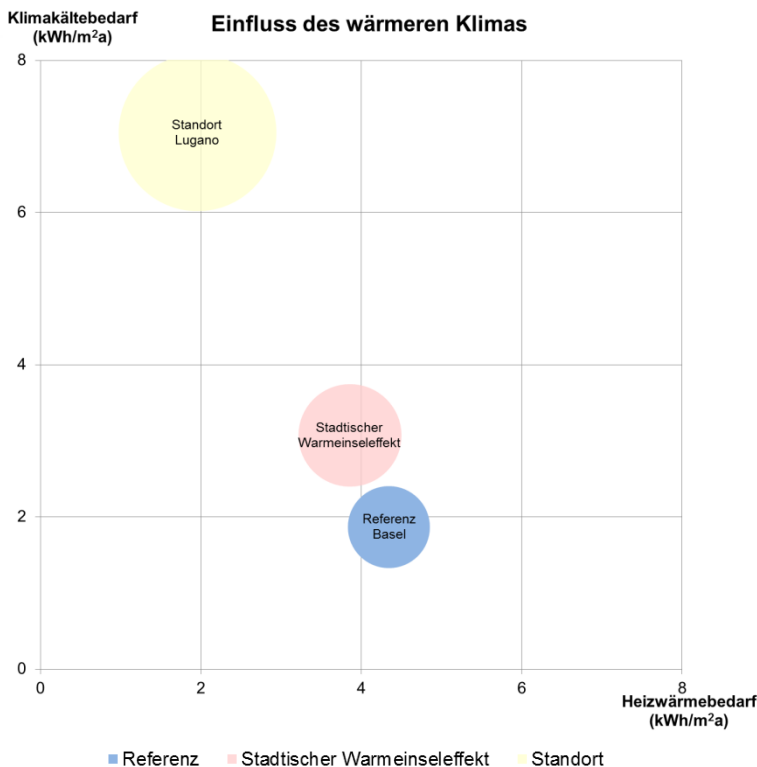


Abbildung E (107): Heizwärmebedarf (x-Achse) und Klimakältebedarf (y-Achse) des Referenzmodells im Jahr 2063, einem durchschnittlich warmen Jahr der Periode „2060“, am Standort Basel, unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts am Standort Basel und am Standort Lugano. Die Grösse der Kreise stellt das Verhältnis der Anzahl an Überhitzungsstunden dar.

Die Parametervariation zeigte, dass die Behaglichkeit in Wohnbauten wesentlich vom **Verhalten der Bewohnerschaft** abhängig sein wird. Im Referenzmodell wurden bei unsachgemässer Bedienung von Sonnenschutz und ungenügender Nachtkühlung in der Periode „2060“ im Extremfall mittlere maximale Raumtemperaturen von über 40 °C bzw. nahezu 2'000 Überhitzungsstunden erreicht. Im Gegenzug konnte aufgezeigt werden, dass durch korrektem Sonnenschutz Einsatz und intensiver Nachtkühlung auch in warmen Jahren der Periode „2060“ behagliche Raumtemperaturen sichergestellt werden können.

Als entscheidende Parameter hinsichtlich der Behaglichkeit und des Klimakältebedarfs in Zukunft wurden beim Referenzmodell in erster Linie der **Fensteranteil** und die **Speicherfähigkeit** identifiziert (Abbildung F). Einen etwas weniger relevanten Einfluss wurde der Gebäudeorientierung sowie den U-Werten der Bauteile zugesprochen. Eine Südorientierung und Dämmwerte von heutigen Niedrigstenergiegebäude (um ca. 0.1 W/m²K) werden jedoch aus betriebsenergetischer Sicht nach wie vor von Vorteil sein.

Aufgrund der Studienergebnisse wurden letztlich verschiedene **Massnahmen** diskutiert, welche zur Optimierung von Gesamtenergiebedarf sowie Behaglichkeit über den Lebenszyklus von Wohngebäuden zielgerecht erscheinen. Damit solche im Laufe des Jahrhunderts auch entsprechende Wirkung zeigen können, ist eine Integration in heutige Normen bzw. Vorschriften zum Bauwesen anzustreben.

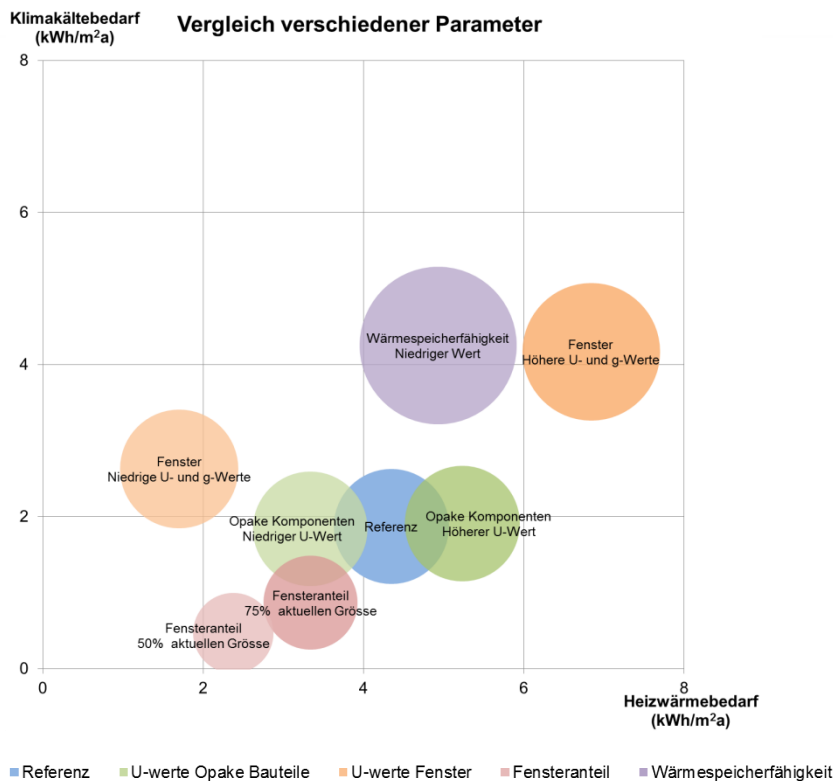


Abbildung F (97): Simulationsergebnisse aus der Parametervariation für den Heizwärmebedarf (x-Achse) und den Klimakältebedarf (y-Achse) des Referenzmodells im Jahr 2063, dem Medianjahr der Periode „2060“, am Standort Basel. Die Grösse der Kreise stellt das Verhältnis der Anzahl an Überhitzungsstunden dar.

Damit Wohnbauten den Folgen des Klimawandels standhalten können, müssen sie heute so konzipiert werden, dass eine einwandfreie Bedienung des Sonnenschutzes und effiziente Nachtkühlung sichergestellt werden kann. Eine Lösung dafür könnte die **Automatisierung** der Systeme bilden.

Angesichts des immensen Einflusses des **Fensteranteils** erscheinen diesbezüglich differenzierte Normvorgaben oder Vorschriften denkbar. Ein ausserordentlich hoher Fensteranteil könnte beispielsweise an spezifische Massnahmen zur Gewährleistung von Behaglichkeitskriterien gekoppelt werden, beispielsweise zwingende Vorgaben zu **Free Cooling** oder **Geocooling**¹. Durch solche Systeme liesse sich in Zukunft situationsabhängig sowohl die sommerliche Behaglichkeit als auch die Effizienz der Wärmebereitstellung im Winter erhöhen.

Die Bereitstellung des Strombedarfs für die Kühlung durch PV-Anlagen am Gebäude bietet sich aufgrund der Koinkidenz von Bedarf und Produktion technisch sinnvoll an. Mit einer Analogdimensionierung gemäss MuKE n 2014 (10 W/m²_{EBF}) [13] könnte jedoch in der Periode „2060“ ohne Speichermassnahmen nur knapp über die Hälfte des notwendigen Stroms zur Kühlung direkt produziert werden.

¹ Free cooling: Abgabe der Wärme an die Luft während der Nacht.

Geocooling: Abgabe der Wärme an das Erdreich über dieselben Erdsonden, die im Winter Umgebungswärme für die Wärmepumpen liefern.



Abkürzungsverzeichnis

A1B	IPCC-Emissionsszenario (Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2050, dann leichte Abnahme)
A2	IPCC-Emissionsszenario (stetige Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2100)
C2SM	Center for Climate Systems Modeling, ETH Zürich
CH2011	Schweizer Klimaszenarien CH2011 der C2SM von 2011, www.ch2011.ch
CHNE	Klimaregion „nordöstliche Schweiz“ aus CH2011
CHS	Klimaregion „südliche Schweiz“ aus CH2011
CHW	Klimaregion „westliche Schweiz“ aus CH2011
ECMWF	Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage
GCM	Global Climate Model (Globales Klimamodell)
HadCM3	Klimamodell des Hadley Center for Climate Prediction and Research, UK, Version 3
HadCM3Q3	Klimamodell des Hadley Center for Climate Prediction and Research, UK, Version 3, geringe Sensitivität
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KNMI	Koninkrijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Netherlands
KNMI ECHAM5	Regionales Klimamodell des KNMI, welches auf dem Vorhersagemodell des ECMWF basiert (daher die Abkürzung EC) und am Hamburger MPI (daher die Abkürzung HAM) entwickelt wurde, Version 5
METO	Met Office Hadley Center, UK
MPI	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Deutschland
MPI ECHAM5	Regionales Klimamodell des MPI, welches mit dem globalen Modell ECHAM5 entwickelt wurde (analog KNMI ECHAM5)
OCCR	Oeschger Centre for Climate Change Research
PMV	Predicted Mean Vote (vorausgesagtes mittleres Votum)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied (vorausgesagter Anteil Unzufriedener)
PV/PVT	Photovoltaik / Photovoltaik kombiniert mit thermischen Kollektoren
RCM	Regional Climate Models (Regionales Klimamodell)
RCP3PD	IPCC-Emissionsszenario (Emissionen würden bis 2050 um etwa 50% gesenkt und bis Ende Jahrhundert sogar auf die Werte um 1900 reduziert. Dieses Szenario beschränkt die globale Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf 2 °C)



1. Ausgangslage

Es ist anzunehmen, dass das Schweizer Klima im Laufe des 21. Jahrhunderts merklich vom heutigen und vergangenen Zustand abweichen wird. Dies zeigen verschiedene Modelle der Klimaentwicklung in den aktuellen Schweizer Klimaszenarien CH2011 [1] auf. Mitteltemperaturen werden sehr wahrscheinlich in allen Regionen und Jahreszeiten ansteigen. Ohne rigorose Interventionen, die zur massiven Reduktion der globalen Treibhausgasausstoss beitragen, ist bis Ende des Jahrhunderts, je nach Szenario und Region, mit einer Zunahme der jahreszeitlichen mittleren Temperatur von 3.2-4.8 °C zu rechnen. Zudem dürften die mittleren Niederschlagsmengen während des Sommers in der Schweiz überall abnehmen. Der Folgebericht „CH2014-impacts“ [14] zeigt, dass sich ohne einschneidende klimapolitische Massnahmen bis 2085 die Zahl der „Sommertage“ verdoppeln und „Tropennächte“² in Tieflagen häufen werden.

Das Klima hat einen massgeblichen Einfluss auf die Gestaltung, die Konstruktion, die Ausstattung, aber auch auf den Energiehaushalt von Gebäuden. Diese verbrauchen Ressourcen und produzieren beträchtliche Mengen Schadstoffe. Global wird die Hälfte der gesamten Energie in Gebäuden verbraucht. Der Gebäudepark Schweiz ist für rund 30% der inländischen Treibhausgasemissionen verantwortlich [15]. Heute bestehen grosse Bestrebungen, den Energiebedarf und die Schadstoffemissionen von Gebäuden zu minimieren. Die Energieeffizienz des Gebäudeparks soll in den nächsten Jahren massiv gesteigert werden. Die europäische Gesetzgebung hat sich die Verankerung von Niedrigstenergiegebäuden zum Ziel gesetzt.

Die BFE-Studie „Gesamtenergieeffizienz von Wirtschaftsbauten mit tiefem U-Wert“ [16] zeigt, dass das Energieeffizienzoptimum stark von der Kompaktheit eines Gebäudes abhängt. Wenig kompakte Gebäude weisen wegen der im Verhältnis zur Gebäudehülle kleinen Energiebezugsfläche einen erhöhten Heizenergiebedarf auf. Andererseits bergen kompakte Bauten mit zu grossen Raumtiefen das Risiko eines erhöhten Energiebedarfs für Kunstlicht und teilweise auch für Kühlung. Das Energieeffizienzoptimum konnte für eine Raumtiefe von ca. 6m ausgemacht werden.

Zieht man die während der Lebensdauer eines Gebäudes voranschreitende Klimaänderung in Betracht, verschiebt sich das Energieeffizienzoptimum. Die Publikation „Bauen, wenn das Klima wärmer wird“ [17] zeigt auf, dass aufgrund der künftig zu erwartenden Erhöhung der Aussenlufttemperaturen und der höheren solaren Lasten, kompaktere Bauten mit grösseren Raumtiefen hinsichtlich der Gesamtenergiebilanz Vorteile aufweisen werden gegenüber weniger kompakte.

Um den klimatischen Rahmenbedingungen gerecht zu werden, sind – neben der Kompaktheit – insbesondere die Wärmespeicherfähigkeit, der Fensteranteil und die Verschattung der Gebäude zu optimieren oder es ist angemessen mit technischen Massnahmen zu reagieren.

Bei Wohnneubauten gibt das Energiegesetz vor, Gebäude mit sehr tiefem Wärmebedarf zu errichten; dies dank sehr guter Dämmung, einer möglichst luftdichten Gebäudehülle und einer optimierten passiven solaren Nutzung. Dem sommerlichen Wärmeschutz kommt vielfach lediglich eine sekundäre Bedeutung zu. Beim Minergie-Nachweis wird dieser erst seit ca. 2008 entschieden thematisiert. Dabei erfüllen gerade Niedrigstenergiegebäude die geltenden Vorgaben (Norm SIA 382/1:2014 [18]) auf-

² Ein Sommertag ist die meteorologisch-klimatologische Bezeichnung für einen Tag, an dem die Tageshöchsttemperatur 25 °C erreicht oder überschreitet. Unter einer Tropennacht versteht man eine Nacht, in der die niedrigste Lufttemperatur nicht unter 20 °C fällt.



grund der meist hohen Fensteranteile gegen Osten, Westen und Süden, der fehlenden, festen Beschattung (z.B. durch Balkone) und der aufgrund der Dämmung reduzierten nächtlichen Auskühlung, erfahrungsgemäss oft nur sehr knapp.

Es ist deswegen anzunehmen, dass die Klimaänderung vorweg bei Niedrigstenergiebauten mit ungenügenden Sonnenschutzmassnahmen zukünftig zu einer Behaglichkeitseinbusse führen wird. Aus ökonomischen Überlegungen ist davon auszugehen, dass die Nachrüstung der Wärmespeicherfähigkeit oder der Einbau von Latentwärmespeichern zur Tagesspitzenglättung, sowie die Automatisierung und Verbesserung des Sonnenschutzes gegenüber dem Einbau eines Klimagerätes das Nachsehen haben werden.

Gemäss dem zusammenfassenden Bericht „Klimaänderung und die Schweiz 2050“ [19] kann bis ins Jahr 2050 von einer Zunahme des Strombedarfs aufgrund künftiger Wohnraumkühlung von rund 10% ausgegangen werden. Diese Schätzung basiert auf Berechnungen und Simulationen aus umliegenden Ländern. Inwiefern sich die Behaglichkeit und folglich der künftige Strombedarf für die Kühlung von Wohngebäuden in Abhängigkeit der Baukonstruktion und des Energiestandards entwickeln werden, ist derzeit jedoch kaum bekannt.

Seit einigen Jahren kommen, vorwiegend bei grösseren Wohnüberbauungen, vermehrt innovative technische Lösungen wie das „free cooling“ oder „geocooling“ zur Anwendung. Dabei kann das Wärmeverteilsystem, beispielsweise die Bodenheizung, in den Sommermonaten Wärme aus den Wohnräumen abführen und dadurch das an Wärmepumpen gekoppelte Erdreich regenerieren. Das System führt – ohne bedeutenden energetischen Mehraufwand – zu einer sanften Kühlung der Wohnräume im Sommer und arbeitet im Winter umso effizienter. Das Potenzial solcher Anlagen ist heute Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen, so z.B. im Rahmen des Monitorings des Sauerstoff-Areals in Risch-Rotkreuz [20]. Konzepte dieser Art leisten möglicherweise einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Einhaltung der Ziele der Energiestrategie.



2. Ziel der Arbeit

Sollen Niedrigstenergiebauten gesetzlich verankert werden, ist es von grosser Bedeutung, insbesondere das Verhalten dieser Gebäude bei künftigen Klimabedingungen zu kennen. Nur so kann die langfristige Minimierung des Energieverbrauchs heutiger Neubauten durch entsprechende bauliche Vorkehrungen sichergestellt oder ein Vergleich mit den Gebäuden nach heutigen gesetzlichen Vorgaben (z.B. MuKE n [13]) ermöglicht werden.

Basierend auf den teilweise aktualisierten CH2011 Klimaszenariodatensätzen (www.ch2011.ch) [1] und den bestehenden Design-Reference-Year-Klimadatensätzen (mittlere und warme DRY) gemäss SIA MB 2028:2010 [21] sollen mit Hilfe von thermischen Raumsimulationen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Welche **Raumtemperaturen** sind angesichts der zu erwartenden Klimaänderung bis ins Jahr 2100 in Wohngebäuden an verschiedenen Standorten der Schweiz in Abhängigkeit von deren Typologie, Baukonstruktion und Ausstattung (Wärmespeicherfähigkeit, Fensteranteil, Sonnenschutz, Aussendämmung, Lüftungssystem, Nachtauskühlung etc.) sowie des Ausmasses der Klimaänderung zu erwarten?
- Inwiefern wird sich der **thermische Komfort** in Wohngebäuden verändern, wenn kein Kühlsystem vorgesehen wird?
- Welche Entwicklung des **Energiebedarfs für die Kühlung** ist dementsprechend in Wohngebäuden zu erwarten?
- Wie wird sich der **Gesamtenergie- und Leistungsbedarf** von Wohngebäuden verändern, wenn die erwarteten Verbräuche für Heizung, Kühlung und Beleuchtung gegenübergestellt werden sowie die voraussehbare technologische Entwicklung berücksichtigt wird?
- Welche **Massnahmen** können/müssen bei Wohnneubauten getroffen werden, um den Gesamtenergie- und Leistungsbedarf und die Behaglichkeit in Wohngebäuden zu optimieren?

Das Ziel ist die Erarbeitung von praxistauglichen Empfehlungen, welche einen direkten Einfluss auf Architektur und Konstruktion sowie auf die technische Ausstattung von künftigen Neubauten haben sollen. Denn ein Gebäudekonzept sollte so robust gewählt werden, dass die optimale Gebrauchstauglichkeit auch bei einer Klimaerwärmung oder extremen Klimabedingungen weiterhin gewährleistet ist.

Die vorgeschlagenen baulichen Vorkehrungen sollen Auskunft über die ideale zukunftsfähige Bauweise geben und u.a. Aussagen zum bestmöglichen Dämmstandard, zum anzustrebenden Fensteranteil, der optimalen Verteilung der Glasflächen auf die einzelnen Gebäudeseiten, zum Lüftungssystem und zur Wichtigkeit der unterschiedlichen Sonnenschutzsysteme umfassen. Dabei sollen künftige gebäudetechnische Entwicklungen mitberücksichtigt werden.

Das energetische Potenzial der verschiedenen Massnahmen – primär baulicher aber auch gebäudetechnischer Art – sollen aufgezeigt werden. Ein besonderer Fokus gilt dem Klimakältebedarf und der Relevanz der Massnahmen in Bezug auf die thermische Behaglichkeit, bzw. der Frage, ob die zu erwartenden Temperaturen im Komfortbereich liegen. Die Untersuchung wird beschreiben, ob die zu erwartende Klimaveränderung einen zentralen Einfluss auf die zu planenden Massnahmen der Energiestrategie 2050 [22] im Gebäudebereich haben kann und ob das Thema weiter verfolgt werden soll.



Mit den errechneten Gesamtenergiebilanzen wird ein wesentlicher Beitrag zum Dialog hinsichtlich bevorstehender Anpassungen des Normenwerks oder der Gesetzgebung geleistet und angeregt, ob diese an künftige Klimabedingungen oder Witterungsextreme gekoppelt werden sollten.



3. Grundlagen

Mit dem Fokus auf Wohngebäude und die Berücksichtigung der Grauen Energie grenzt sich die dargestellte Studie deutlich von den Untersuchungen „Bauen, wenn das Klima wärmer wird“ [17] von Brunner et al. (2007) ab. Letztere befassten sich intensiv mit dem Ausmass des Klimawandels in der Schweiz, beschränkten ihre Arbeiten jedoch auf die Betrachtung von Verwaltungsbauten mit grossen Energiebezugsflächen. Aufgrund des grossen Unterschiedes bzgl. der internen Lasten und der architektonischen Randbedingungen, lassen sich die Resultate nicht ohne weiteres auf Wohngebäude übertragen.

Im Rahmen eines anderen Projekts am Institut für Gebäudetechnik und Energie, ehemals Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, der Hochschule Luzern, das Projekt ROGEK [23], wurden gebäudetechnische Systeme hinsichtlich deren Robustheit in Zusammenhang mit dem Klimawandel untersucht. Dafür wurden Klimasatzdaten bis ins Jahr 2100 aufbereitet. Die Erkenntnisse dieser Arbeit dienen als Grundlage für die Untersuchung an den Wohnneubauten.

Die Studie baut zudem auf bereits erarbeiteten Grundlagen aus den folgenden Publikationen auf:

- CH2011 (2011), “Swiss Climate Change Scenarios CH2011”, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.
- CH2014-Impacts (2014), Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.
- Rajczak, J., N. Salzmann, S. Kotlarski and C. Schär (2015): Robust climate scenarios for sites with sparse observations: A two-step bias correction approach | Int. J. Climatol., doi:10.1002/joc.4417
- Brunner C. U. et al., 2007. „Bauen, wenn das Klima wärmer wird - Schlussbericht“. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 138 pp.
- OcCC et al., 2007. „Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft“. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques / Proclim - Forum für Klima und globale Umweltveränderungen, Bern, 168 pp.
- OcCC, 2008. „Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz“. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, 47 pp.
- OcCC, 2012. „Klimaziele und Emissionsreduktion – Eine Analyse und politische Vision für die Schweiz“. OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, 63 pp.
- D Dorer, V. et al., 2012. „Urban Climate and Energy Demand in Building“. EMPA, Basler & Hofmann AG, BFE-Schlussbericht, Bern, 166 pp.
- MeteoSchweiz, 2014, „Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht“. Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.
- Aebischer, B. et al., 2007, „Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy demand in Europe“. ECEEE 2007 Summer Study, Panel 5 Energy Efficiency in Buildings, La Colle sur Loup, pp. 859-870.



- Frank, Th., 2005. "Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. *Energy and Buildings* 37 (2005) pp. 1175-1185.
- Christenson, M. et al., 2006. „Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland". *Energy Conversion and Management* 47 (2006) pp. 671-686.
- OptiControl, 2012. "OptiControl. Use of weather and occupancy forecasts for optimal building climate control", Projektpartner: ETH Zurich, SIEMENS Switzerland Ltd., Roschi + Partner AG & Allschwil. Online verfügbar unter <http://www.opticontrol.ethz.ch/index.html>, zuletzt geprüft am 17.06.2016.
- Eberhard, P. et al., 2014. „The urban heat island of Basel – seen from different perspectives". *Die Erde – Journal of the Geographical Society of Berlin* 145 (1-2) (2014) pp. 96-110.
- Eberhard, P. et al., 2011. "Stadtklimatologische Aspekte von Basel". *REGIO BASILIENSIS- Basler Zeitschrift für Geographie* 52. Jahrgang, Heft 1 (2011), Basel, 62 pp.
- Allegrini, J. et al., 2017. „Simulations of local heat islands in Zürich with coupled CFD and building energy models". *Urban Climate* (2017), in press.
- Loonen, R.C.G.M. et al., 2013. „Climate adaptive building shells: state-of-the-art and future challenges". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25 (2013), pp. 483–493.
- Mass, A. et al., 2013. "Thermisches und energetisches Verhalten von Gebäuden im Lichte des Klimawandels Anforderungen und Lösungen für den Sonnenschutz". Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 157 pp.

4. Vorgehen

Das Projekt teilte sich strukturell in drei Handlungsfelder auf: In der ersten Projektphase wurden **Klimadaten** und zukünftige Treibhausgasszenarien analysiert; parallel dazu erfolgte die Studie von **Gebäudetypologien** für Wohnhäuser. Die ausgesuchten Klimaszenarien und Gebäudetypen bildeten die Basis für die **thermischen Raumsimulationen**, die zur Untersuchung der gestellten Energie- und Behaglichkeitsfragen dienten. In diesem Kapitel wird auf die in den drei Themenbereichen angewendete Methodik und die Bestimmung von repräsentativen Klimaszenarien sowie Gebäudetypen für die Studie näher eingegangen.

4.1. Klimadaten und Szenarien

Zukünftige Klimareihen mussten, wie folgend beschrieben, in ein Dateiformat gebracht werden, welches die Simulationsumgebung „IDA ICE“³ einlesen kann. Dazu wurden für verschiedene Standorte in der Schweiz Klimadatenätze aus Messungen verwendet. Diese wurden mit Projektionen aus Klimamodellen kombiniert, um Zeitreihen für ein zukünftiges Klima zu erhalten.

4.1.1. Projektionen

Für die Projektion wurden Daten aus dem Bericht „Swiss Climate Change Scenarios CH2011“ [1] verwendet, welche auf drei Treibhausgasemissionsszenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC basieren (A1B, A2, RCP3PD). Die Daten wurden durch das Center for Climate Systems Modeling C2SM der ETH Zürich verfügbar gemacht und umfassten die zwei Parameter *Temperatur* und *Niederschlag*. Geliefert wurden mittlere Änderungen über einer zukünftigen Periode von 30 Jahren relativ zur Referenzperiode 1980-2009. Diese Änderungssignale wurden aus der Auswertung einer Vielzahl von Klimasimulationen, die jeweils ein globales Klimamodell (GCM) mit einem regionalen Klimamodell (RCM) kombinieren, abgeleitet (sog. *GCM-RCM Modellketten*). Um Daten für ein zukünftiges Klima in absoluten Werten zu erhalten, mussten diese Änderungen mit Messdaten der Referenzperiode verknüpft werden („Delta Change“ Ansatz). Die Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz wurden für drei verschiedene Regionen (Abbildung 1) und für drei zukünftige Zeitperioden (Tabelle 1) erstellt.

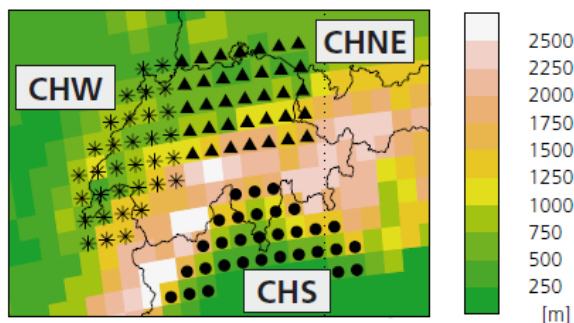


Abbildung 1: CH2011 - Regionen und Topographie [1].

Bezeichnung	Zeitspanne
„1995“ (Referenz)	1980-2009
„2035“	2020-2049
„2060“	2045-2074
„2085“	2070-2099

Tabelle 1: Zeitperioden CH2011 [1].

³ IDA Indoor Climate and Energy 4.6.1., Equa Simulation AB, Stockholm. 20/172

Drei Datensätze sind von CH2011 verfügbar:

- (A) Klimaänderungssignale von saisonalen und regionalen Mittelwerten für vier Jahreszeiten, drei Regionen, drei verschiedenen Projektionsperioden und drei Treibhausgas-Emissionsszenarien
- (B) Änderungen im Jahresgang in täglicher Auflösung für die drei Regionen, je drei Projektionsperioden und drei Emissionsszenarien
- (C) Änderungen im Jahresgang in täglicher Auflösung für verschiedenste Messstationen in der Schweiz, für das Emissionsszenario A1B und die drei Projektionsperioden. Für jeden Standort und jede Projektionsperiode sind Resultate aus 10 GCM-RCM Modelketten erhältlich.

4.1.2. Modellvergleich

Am Beispiel des Standortes Basel und der Periode „2060“ werden in Abbildung 2 die Temperaturänderungen des Datensatzes (C) verglichen. Die gestrichelten Linien repräsentieren den täglichen Jahresgang der Änderungen aus zehn GCM-RCM Modellketten. Diese Änderungen werden anschliessend zu den Temperaturmesswerten der Referenzperiode am Standort Basel addiert, um die projizierte Temperatur der zukünftigen Periode zu erhalten. Die Unsicherheit bezüglich der Projektion leitet sich aus der Streuung zwischen den zehn simulierten Änderungswerten ab. Die Standardabweichung zwischen den Modellen (Band in Abbildung 2) beträgt im Mittel über alle Tage des Jahres 0.57 K bei einem mittleren Mittelwert (dicke Linie) von 1.96K. Die Unsicherheit ist jedoch nicht konstant, sondern variiert über das ganze Jahr, das Maximum wird Ende August erreicht, wenn die mittlere Erwärmung generell am höchsten ist.

Werden alle Datensätze als Randbedingung für die dynamisch thermische Simulation der Gebäudetypen verwendet, lässt sich aus den unterschiedlichen Resultaten ebenfalls eine Unsicherheit bestimmen. Dies bedingt jedoch, dass für jeden Klimadatensatz eine separate Simulation durchgeführt wird.

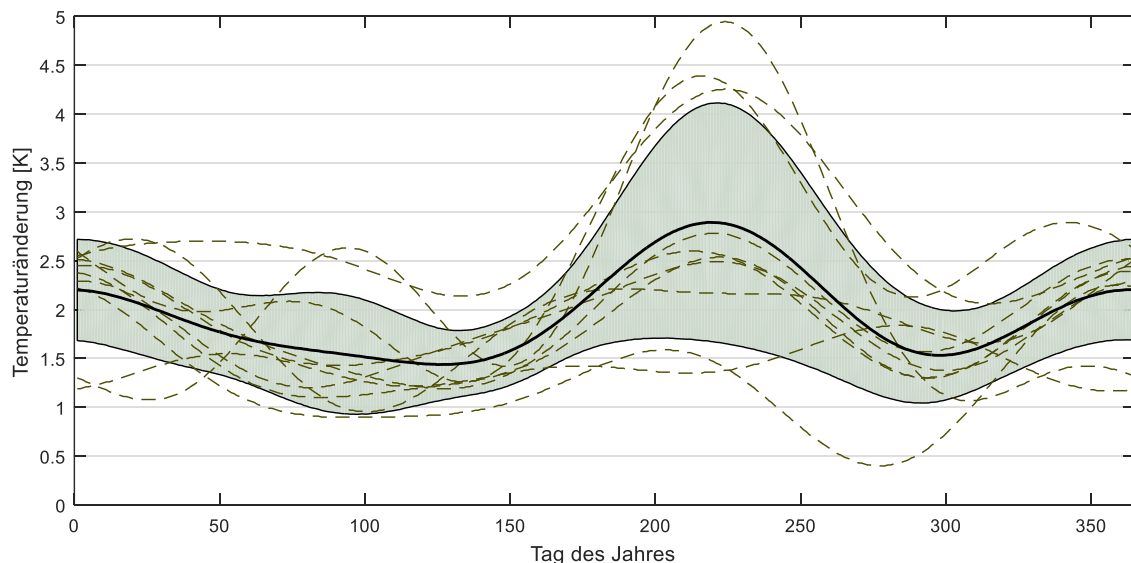


Abbildung 2: Jahresgang des Temperaturänderungssignals in täglicher Auflösung aus Datensatz (C): Vergleich der GCM-RCM Modellketten für den Standort Basel, Periode „2060“



4.1.3. Parameter

Im Rahmen des CH2011 Reports [1] wurden ausschliesslich die Parameter **Lufttemperatur** und **Niederschlag** aufgearbeitet und veröffentlicht. Der Niederschlag spielt bezüglich des Energiebedarfs und des Komforts von Gebäuden eine untergeordnete Rolle. Hingegen hat die solare Strahlung einen sehr grossen Einfluss auf diese beiden Zielgrössen. Ebenfalls darf der Parameter Luftfeuchtigkeit vor allem im Bezug auf den Komfort nicht unterschätzt werden. Um im Rahmen dieses Projektes bessere Aussagen zu den Zielgrössen machen zu können, wurde der Parametersatz erweitert. Neben **Lufttemperatur** wurde auch die **solare Strahlung** und die **relative Luftfeuchtigkeit** aufbereitet [2]. Die zugrundeliegenden Methoden für die Erweiterung auf Strahlung und Feuchte sind dieselben wie in CH2011, das heisst sie basieren auf dem "Delta Change" Ansatz. Sie unterscheiden sich jedoch in gewissen Feinheiten (insbesondere in der Art der Interpolation in Raum und Zeit). Um Inkonsistenzen gegenüber den Temperaturwerten aus CH2011 vorzubeugen, wurde das gleiche Verfahren deshalb auch auf die Tagesmitteltemperatur angewandt.

Es ist geplant, dass im Jahr 2018 neue nationale Klimaszenarien veröffentlicht werden (www.ch2018.ch). Nebst einer neuen Generation von Klimamodellen werden in der neuen Abschätzung auch verbesserte statistische Methoden in der Regionalisierung zum Einsatz kommen. Um lokale Szenarien zu generieren, wird der sogenannte "Quantile Mapping" Ansatz verwendet. Hier werden die Klimamodelle direkt in der Referenzperiode korrigiert, so dass ihre Verteilungsfunktionen denjenigen aus Messungen an Stationen entsprechen. Dadurch bietet sich der Vorteil, dass transiente Zeitreihen zur Verfügung gestellt werden können. Weiter werden Änderungen in der Variabilität der Parameter von Tag zu Tag, aber auch von Jahr zu Jahr abgebildet. Dies ist mittels "Delta Change" wie oben beschrieben momentan nicht möglich. Die zeitliche Abfolge und Variabilität von zukünftigen Klimaszenarien, die mittels Delta Change erstellt wurden, sind im Wesentlichen dieselben wie in Beobachtungen. Die neuen Datensätze, welche in CH2018 [3] publiziert werden, dürften also die zu erwartenden längeren Hitzeperioden im Sommer besser abbilden, was vor allem im Hinblick auf die Kühlung von Wohngebäuden relevant ist. Auch der neue Ansatz liefert jedoch nur Daten in täglicher Auflösung. Klimatische Änderungen in stündlichen Werten sind derzeit noch Gegenstand der Forschung. Für dynamisch thermische Gebäudesimulationen, welche mindestens Stundenwerte als Randbedingungen voraussetzen, können diese neuen Daten deshalb nur eingeschränkt verwendet werden. Hierzu müsste nachgelagert ein statistisches Verfahren zum Einsatz kommen, um aus täglichen Zeitreihen Stundenwerte für die Zukunft zu generieren.

Für das vorliegende Projekt wurden somit Projektionen nach bestehender "Delta Change" Methode verwendet, jedoch erweitert um die zwei oben erwähnten Parameter. Obwohl auch da tägliche Daten geliefert wurden, konnte das Verfahren angewandt werden, indem beobachtete Stundenwerte mittels Delta Change skaliert wurden.

4.1.4. Standorte

Das Klima ändert sich nicht nur über die Zeit, sondern ist auch je nach Standort innerhalb der Schweiz unterschiedlich. Eine Möglichkeit, diese räumliche Variabilität der Klimaänderung abzubilden, wäre, die Standorte der realen Vertreter der ausgewählten Gebäudetypen (vgl. Kapitel 4.2.4) zu verwenden. Da diese jedoch mehrheitlich im Raum Zürich liegen, wären die klimatischen Unterschiede zwischen den Standorten marginal. Im Projekt wurden die Standorte **Basel** und **Lugano** verwendet. Diese liegen in unterschiedlichen Regionen (Abbildung 1) und weisen grössere Unterschiede untereinander auf. Die Stationen wurden explizit im städtischen Umfeld gewählt, da alle Gebäudetypologien urbanen

Charakter aufweisen und für diese Stationen, über MeteoSchweiz, alle notwendigen Messgrößen in ausreichender zeitlicher Auflösung verfügbar sind. Der städtische Wärmeinseleffekt kann jedoch anhand der Daten dieser Stationen ungenügend untersucht werden, da diese zwar im Stadtgebiet, aber in mehr oder weniger naturnahem, wenig bebautem Gelände angesiedelt sind. Deshalb wurden zur besseren Analyse des Wärmeinseleffekts auf zusätzliche Daten von Vogt, R. und Parlow, E. zurückgegriffen. Diese befassten sich in ihrer Studie „Die städtische Wärmeinsel von Basel - tages- und jahreszeitliche Charakterisierung“ [4] vorwiegend mit den klimatischen Bedingungen in der Stadt Basel. Aufgrund der besseren Datengrundlage zu dieser Stadt wurde Basel, stellvertretend für die Region des Schweizer Mittellands, auch für den grössten Teil der Simulationen im Projekt ausgewählt.

4.1.5. Zeitperiode und Szenario

Die drei Emissionsszenarien des IPCC basieren auf unterschiedliche Annahmen zur Zunahme der globalen Treibhausgasemissionen bis 2100 (Abbildung 4). Das Szenario RCP3PD bildet die Basis bei den Klimagipfeln und gilt als ehrgeizige Zielvorgabe. Das Szenario A1B wird als realistischer taxiert. Der projizierte Temperaturanstieg ist stark vom Emissionsszenario abhängig. Abbildung 3 zeigt, dass die Temperaturunterschiede zwischen den Szenarien A2 und A1B bis zur Periode „2060“ eher geringfügig sind. Die Temperaturen mit dem Szenario RCP3PD steigen erwartungsgemäss weniger an.

In Absprache mit der Projektbegleitgruppe wurde der Fokus der Arbeit vorweg auf die Periode „2060“ und das Szenario A1B gelegt. Mit den Ergebnissen anhand der in guter Qualität vorhandenen Daten zu diesem Szenario lassen sich Rückschlüsse zu den anderen Perioden und Szenarien ziehen. Abbildung 5 stellt die Temperaturentwicklung und die prozentuale Niederschlagsänderung seit 1875 und die zukünftigen Perioden in Abhängigkeit der Emissionsszenarien für die Region CHNE (nordöstliche Schweiz) dar.

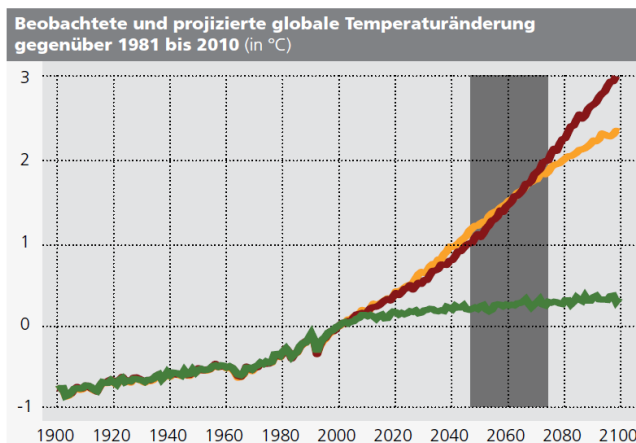


Abbildung 3: globale Temperaturänderung für die drei Emissionsszenarien im Vergleich zu Periode „1995“ [1].

Verwendete Emissionsszenarien	
A2	Stetige Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2100
A1B	Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2050, dann leichte Abnahme
RCP3PD	Emissionen werden bis 2050 um etwa 50% gesenkt und bis Ende Jahrhundert sogar auf die Werte um 1900 reduziert. Dieses Szenario beschränkt die globale Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf 2°C.

Abbildung 4: Angenommene globale Treibhausgasemissionen für die drei Szenarien [5].

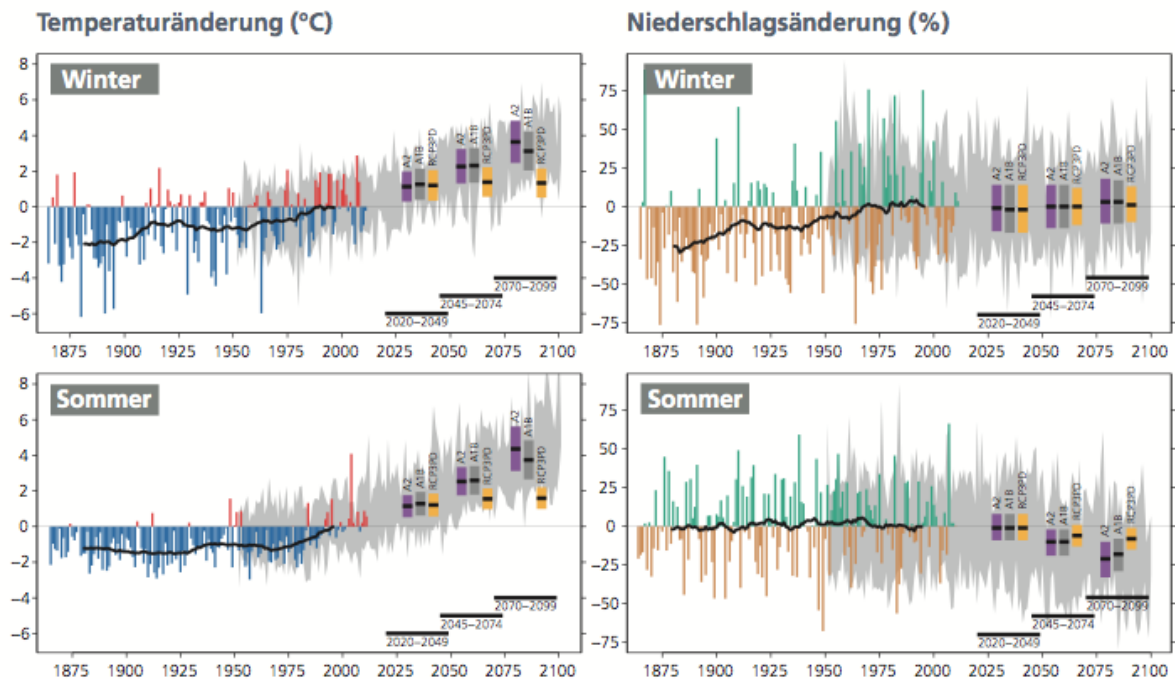


Abbildung 5: Temperatur- und Niederschlagsänderung zur Periode „1995“, aufgeteilt in Sommer- und Winterzeitspanne, seit 1875 und in den zukünftigen Perioden „2035“, „2060“ und „2085“ in Abhängigkeit der drei Emissionsszenarien A2, A1B und RCP3PD in der Region CHNE [1].

4.1.6. Aufbereitung der Daten

Für die Simulationsanalyse wurden Projektionen basierend auf dem Emissionsszenario A1B für die Periode „2060“ verwendet, welche von MeteoSchweiz speziell für dieses Projekt aufbereitet wurden. Diese Änderungen mussten zusammen mit den Messwerten der Referenzperiode „1995“ zu einer Klimadatei für IDA ICE verarbeitet werden. Dies geschah in folgenden Schritten (Abbildung 6):

1. Die Änderungen liegen als Tageswerte über ein Jahr vor. Diese wurden zuerst auf Stundenwerte disaggregiert und dann über 30 Jahre expandiert. Für die Schaltjahre musste dazu noch ein Tag, der 28. Februar, verdoppelt werden.
2. Die Referenzmessdaten wurden über die Plattform IDAWEB von MeteoSchweiz für den gewünschten Standort als Stundenwerte bezogen. Die Daten wiesen teilweise stundenweise Lücken auf, über welche linear interpoliert wurde. Da die Stundenwerte für alle Messgrößen erst ab dem Jahr 1981 vorliegen, musste das Jahr 1981 verdoppelt und am Anfang (als Jahr 1980) nochmals eingefügt werden.
3. Die beobachteten stündlichen Zeitreihen der Lufttemperatur 2 Meter über Boden, der relativen Feuchte 2 Meter über Boden und der einfallenden solaren Strahlung (Globalstrahlung) wurden mit den CH2011 Änderungen kombiniert (Addition bzw. Multiplikation).
4. Windrichtung und -stärke wurden unverändert aus Beobachtungen übernommen.

5. Die solare Strahlung aus den Messwerten musste in eine direkte Normalstrahlung und eine diffuse Horizontalstrahlung umgerechnet werden. Dies geschah in folgenden Schritten.
 - 5.1. Negative Messwerte wurden auf Null gesetzt.
 - 5.2. Die Sonnenposition am Standort der Messstation wurde anhand des Datums und der Zeit berechnet.
 - 5.3. Mit der Sonnenposition wurde die extraterrestrische Strahlung berechnet.
 - 5.4. Diese Strahlung wurde mittels des Perez Modells in den diffusen und direkten Teil aufgespalten.
6. Der Zeitvektor wurde von den Messdaten übernommen und in das IDA ICE Format umgerechnet.

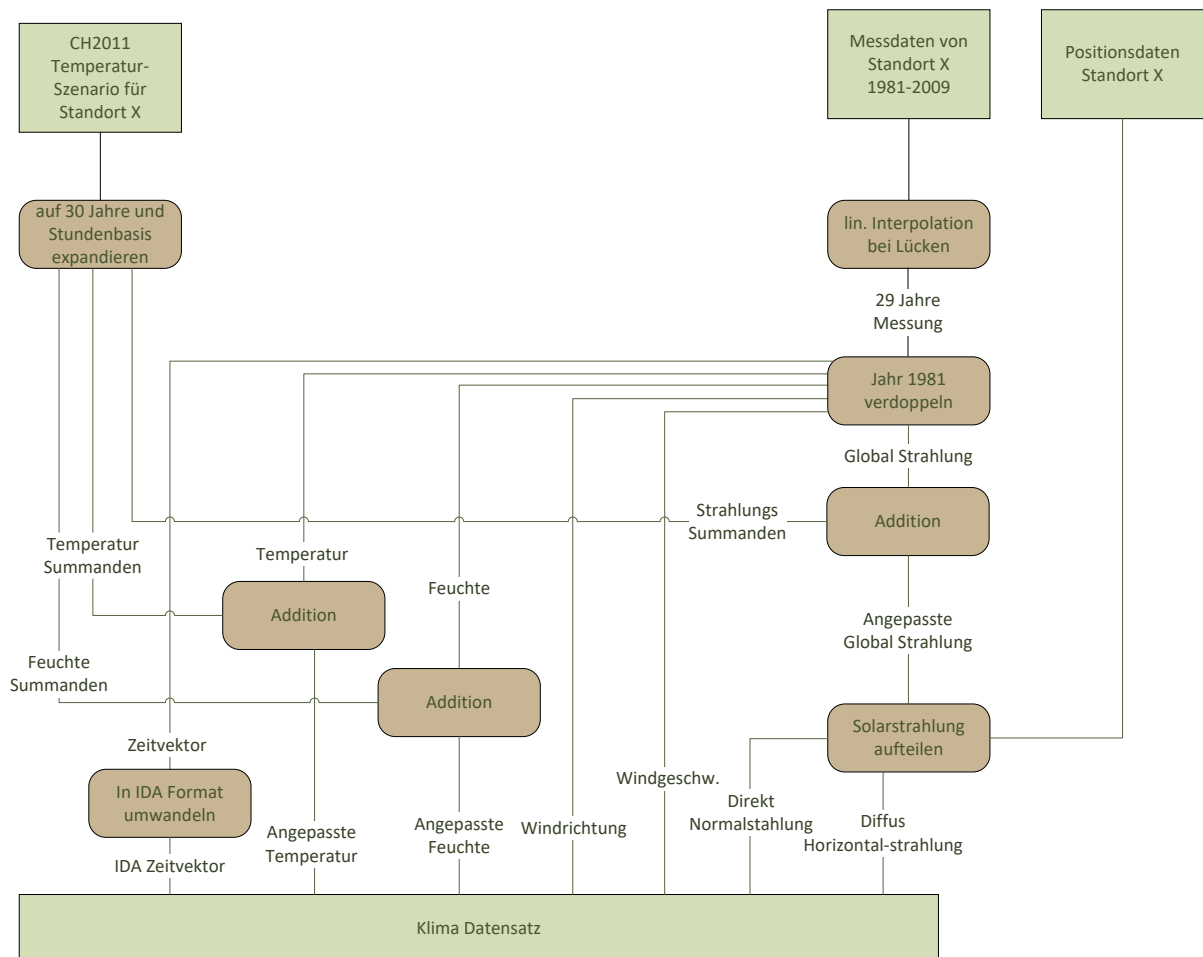


Abbildung 6: Datenflussdiagramm der Aufbereitung Klimadaten.



4.1.7. Relevante Jahre

Zur Beurteilung der Behaglichkeit in Wohnräumen sind Mittelwerte über eine 30-jährige Periode nicht anwendbar. Deshalb wurde die Simulationsanalyse der Komfortbedingungen anhand vier spezifischer Jahre durchgeführt. Bestimmt wurden dafür je ein durchschnittlich warmes Jahr der Referenzperiode „1995“ und der Periode „2060“ sowie, zur Quantifizierung von Extremwerten, zwei ausserordentlich warme Jahre. Für die Periode „1995“ wurde das wärmste Jahr ausgewählt, für die Periode „2060“ das Medianjahr aus den wärmsten Jahren jeder Modellkette.

Tabelle 2 zeigt die über die 30-jährige Zeitspanne durchschnittlichen Monatstemperaturen der Perioden „1995“ und „2060“ für den Standort Basel sowie den entsprechenden Anstieg.

	Temp. „1995“ (°C)	Temp. „2060“ (°C)	Δ Temp. (°C)
Januar	1.6	3.7	+2.1
Februar	2.6	4.5	+1.8
März	6.7	8.1	+1.4
April	10.0	11.2	+1.3
Mai	14.2	15.8	+1.6
Juni	17.4	19.6	+2.3
Juli	19.6	22.1	+2.6
August	19.1	21.6	+2.5
September	15.2	17.3	+2.1
Oktober	10.9	12.8	+1.8
November	5.5	7.4	+1.9
Dezember	2.7	4.8	+2.1
Mittelwert	10.5	12.5	+2.0

Tabelle 2: Durchschnittliche Monatstemperaturen für den Standort Basel über die 30-jährige Zeitspanne der Perioden „1995“ (1980-2009) und „2060“ (2045-2074).

In der Periode „1995“ wurden als Median aller Jahre das Jahr 2004 und als wärmstes das Jahr 2003 ermittelt. In der Periode „2060“ liefert die Modellkette KNMI ECHAM5 des Jahres 2063 die medianen Werte und die Modellkette MPI ECHAM5 des Jahres 2068 extrem warme Werte. Tabelle 3 stellt die durchschnittlichen Monatstemperaturen dieser vier Jahren dar.

	Referenz Medianjahr 2004 (°C)	A1B Medianjahr 2063 KNMI ECHAM5 (°C)	Referenz wärmstes Jahr 2003 (°C)	A1B warmes Jahr 2068 MPI ECHAM5 (°C)
Januar	2.3	6.3	1.8	4.0
Februar	3.0	6.1	1.0	2.0
März	5.7	8.3	9.6	9.9
April	10.6	11.2	11.8	11.7
Mai	13.2	16.8	16.6	16.7
Juni	17.7	20.1	24.4	25.2
Juli	19.4	21.8	22.4	23.7
August	19.8	21.7	24.9	26.2
September	16.4	16.7	16.3	17.6
Oktober	12.3	13.2	8.6	9.8
November	5.2	5.5	7.4	8.7
Dezember	1.3	4.5	3.1	4.7
Mittelwert	10.6	12.7	12.4	13.4

Tabelle 3: Durchschnittliche Monatstemperaturen für den Standort Basel der vier repräsentativen Jahre der Perioden „1995“ (1980-2009) und „2060“ (2045-2074).



Im **Jahr 2004** betrug die niedrigste Temperatur am Standort Basel -10.2 °C , die maximale 31.5 °C . In diesem Jahr gab es keinen längeren Zeitraum mit aussergewöhnlich hohen Temperaturen; die wärmste Periode wurde zwischen dem 1. und dem 3. August registriert, als an drei nachfolgenden Tagen eine maximale Temperatur von 30 °C erreicht wurde. Während diesen drei Tagen sank die Temperatur nie unter 17 °C .

Im **Jahr 2003** betrug die niedrigste Temperatur -10.3 °C , die maximale 38.2 °C . In diesem Jahr wurde eine Hitzewelle zwischen dem 4. und dem 14. August registriert, als an 10 aufeinanderfolgende Tage eine maximale Temperatur von 35 °C erreicht wurde und die Temperatur nie unter 20 °C sank.

In der Modellkette KNMI ECHAM5 des **Jahres 2063** beträgt die niedrigste Temperatur -6.3 °C , die maximale 37.2 °C . In diesem Jahr wird ein besonders heisser Zeitraum zwischen dem 11. und dem 15. August erwartet, wenn an 4 nachfolgenden Tagen eine maximale Temperatur von 35 °C erreicht wird und nie unter 20 °C sinkt. Während dieser Zeit wird zudem eine ausserordentlich hohe Sonneneinstrahlung erwartet.

In der Modellkette MPI ECHAM5 des **Jahres 2068** beträgt die niedrigste Temperatur -8.4 °C , die maximale 40.4 °C . In diesem Jahr stimmt der heisseste Zeitraum mit demjenigen von 2003 überein, was mit dem Additionsverfahren zusammenhängt (vgl. Kapitel 4.1.6). Die Hitzeperiode verlängert sich dabei jedoch um einen Tag, vom 4. bis zum 15. August, und es werden jeweils Temperaturen über 37 °C erreicht sowie 21 °C nie unterschritten.

4.2. Typologien im Wohnungsbau

Im Rahmen des Projektes wurden, wie folgend beschrieben, Wohnbautypologien für eine langfristige Betrachtung des Energiebedarfs und der Behaglichkeit diskutiert und durch ausgewählte Beispielgebäude repräsentiert. Als Basis dazu dienten quantitative Daten des Bundesamts für Statistik BFS und der Einbezug von Leuchtturmprojekten, welche die zukünftigen und architektonischen Entwicklungen berücksichtigen. Die Auswahl von vier Beispielgebäuden erfolgte mit dem Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP) der Hochschule Luzern unter Einbezug von externen Fachleuten und in der Diskussion mit der Projektbegleitgruppe.

4.2.1. Statistische Grundlagen

4.2.1.1. Wohnflächen im Bestand nach Gesamtvolumen und Anzahl Gebäude

Mit 33% stellen Mehrfamilienhäuser (MFH) den grössten Prozentsatz am Gesamtvolumen des Gebäudebestands der Schweiz; dies entspricht einem Volumen von rund 1.25 Mia. m^3 . Demgegenüber haben Einfamilienhäuser (EFH) einen Anteil von 17%, was rund 0.64 Mia. m^3 entspricht (vgl. Abbildung 7). Das gesamte Bauvolumen von Mehrfamilienhäusern ist demnach etwa doppelt so gross wie das von Einfamilienhäusern.



Die Prozentzahlen beziehen sich auf den Anteil am Gesamtvolumen des Gebäudebestandes der Schweiz (100 % = 3.79 Mia. m³)

Abbildung 7: Anteile der Nutzungen am Gesamtvolumen des Gebäudebestands Schweiz [5, Anhang 2].

Abbildung 8 zeigt den Wohngebäudebestand aufgeteilt nach Nutzung und Bauperiode. Gesamthaft sind 2013 in der Gebäude- und Wohnungsstatistik 1'683'307 Gebäude mit Wohnnutzung verzeichnet. Davon entfallen 968'031 auf Einfamilienhäuser, was einem Anteil von 57.5% entspricht. Mehrfamilienhäuser stellen einen Anteil von 26% (437'465 Gebäude). Wohngebäude mit Nebennutzung und Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung machen knapp 16% des gesamten Wohngebäudebestands aus.

T3 Gebäudebestand

	2000		2010		2013	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
Gebäude mit Wohnnutzung	1 462 167	100,0	1 642 622	100,0	1 683 307	100,0
Einfamilienhäuser	821 719	56,2	945 110	57,5	968 031	57,5
Mehrfamilienhäuser	357 559	24,5	419 723	25,6	437 465	26,0
Wohngebäude mit Nebennutzung	198 274	13,5	195 362	11,9	197 334	11,7
Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung	84 615	5,8	82 427	5,0	80 477	4,8
Vor 1919 erbaut	327 555	22,4	350 416	21,3	335 769	19,9
Zwischen 1919–1945 erbaut	192 565	13,2	186 166	11,3	199 483	11,9
Zwischen 1946–1960 erbaut	192 754	13,2	191 829	11,7	190 631	11,3
Zwischen 1961–1970 erbaut	173 324	11,8	173 570	10,6	173 060	10,3
Zwischen 1971–1980 erbaut	195 495	13,4	195 620	11,9	195 300	11,6
Zwischen 1981–1990 erbaut	204 000	13,9	201 898	12,3	201 526	12,0
Zwischen 1991–2000 erbaut	176 474	12,1	177 291	10,8	176 993	10,5
Zwischen 2001–2010 erbaut	–	–	165 832	10,1	166 339	9,9
Zwischen 2011–2013 erbaut	–	–	–	–	44 206	2,6

Quelle: BFS – Volkszählung 2000, Gebäude- und Wohnungsstatistiken 2010 und 2013

© BFS, Neuchâtel 2015

¹ Gemäss Definition der Agglomerationen 2000.

Abbildung 8: Wohngebäudebestand aufgeteilt nach Nutzung und Bauperioden [7, S. 13].

4.2.1.2. Gebäudetypen und durchschnittlicher Wohnfläche pro Person

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung von neu erstellten Wohnungen nach Gebäudetyp zwischen 1994 und 2013. Dabei wird ersichtlich, dass Wohnungen in Mehrfamilienhäusern seit 2001 einen steigenden Anteil verzeichnen (die Jahre 2009 und 2012 ausgenommen). Demgegenüber sinkt der Anteil an

Einfamilienhäusern seit 1999 mit Ausnahme einer leichten Erholung zwischen 2004-2007. Der Anteil an Wohnungen in Wohngebäuden mit Nebennutzung steigt seit 2002 an und bewegt sich mit rund 5'000 neu erstellten Wohnungen 2013 rund 25% unter der Anzahl an neu erstellten Einfamilienhäusern.

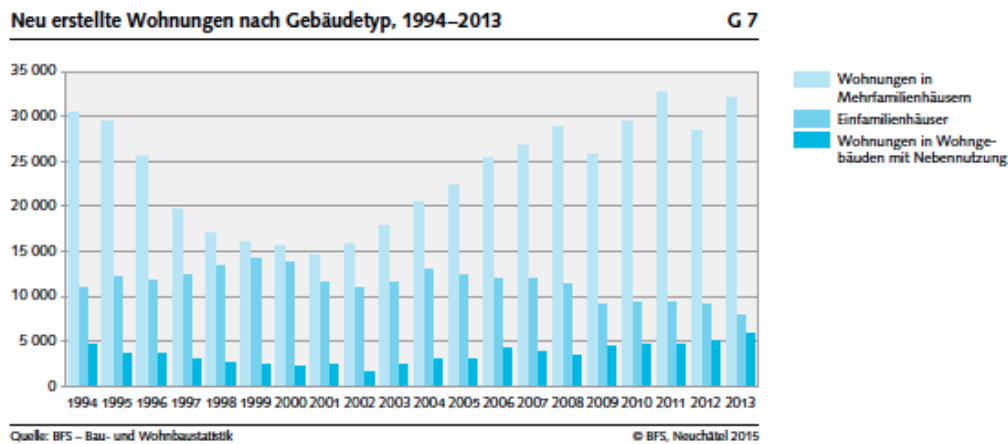


Abbildung 9: Neu erstellte Wohnungen nach Gebäudetyp, 1994-2013 [18, S. 11].

Abbildung 10 zeigt die durchschnittliche Wohnfläche pro Person nach Gebäudekategorie und Bauperiode. In Einfamilienhäusern ist die durchschnittliche Wohnfläche seit 1971 rückläufig, bzw. stagniert zwischen 1991 und 2013 auf einer durchschnittlichen Wohnfläche von ca. 50 m² pro Person. Demgegenüber steigt die Wohnfläche in Mehrfamilienhäusern seit 1961 kontinuierlich an und erreichte 2013 eine durchschnittliche Wohnfläche von ca. 48 m² pro Person.

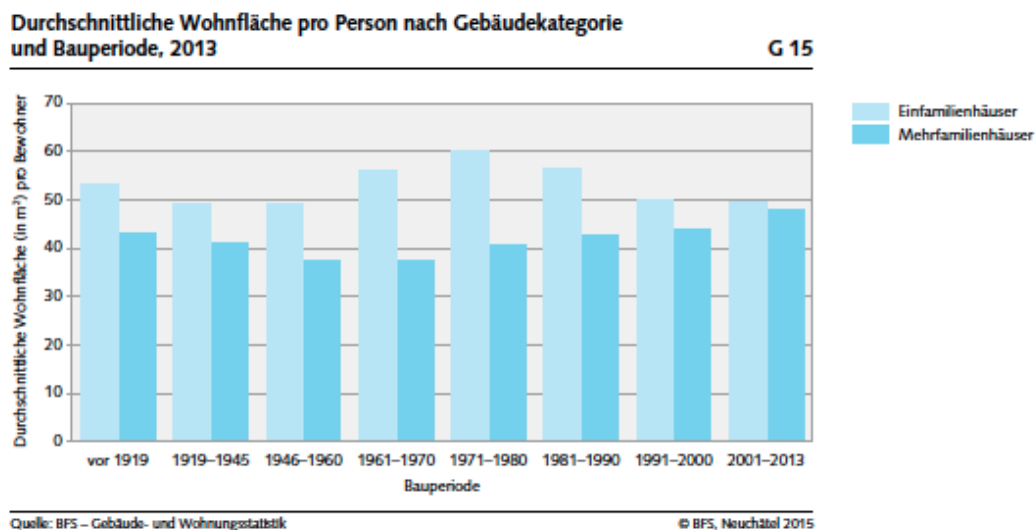


Abbildung 10: Durchschnittliche Wohnfläche pro Person nach Gebäudekategorie und Bauperiode [18, S. 21].



4.2.1.3. Verteilung nach Geschosszahl und nach Energieträger für die Heizung

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Gebäude in der Schweiz nach Geschosszahl (links) und Energieträger der Heizung (rechts) 2013. Der grösste Anteil an Gebäuden mit Wohnnutzung ist zweigeschossig (46.7%), gefolgt von Gebäuden mit 3-4 Geschossen (39.8%). Wohngebäude mit 2 bis 4 Geschossen machten 86.5% aller Gebäude mit Wohnnutzung aus.

Der dominierende Energieträger bei der Gebäudeheizung war Heizöl (49.1%), gefolgt von Gas (15.6%), Holz (12%), Wärmepumpe (10.6%) und Elektrizität (9.9%). Bei den Energieträgern Holz und Elektrizität fällt auf, dass der Anteil der Bewohner nur etwa die Hälfte des entsprechenden Anteils am Energieträger ausmacht. So wohnen z.B. in 12% der Gebäude (Holzheizung) nur 6.5% der Bevölkerung. Daraus lässt sich schliessen, dass Holz und Elektrizität bevorzugte Energieträger in Einfamilienhäusern sind.

T5 Verteilung der Gebäude nach Geschosszahl, 2013

Anzahl Geschosse	Gebäude mit Wohnnutzung	
	absolut	in %
1 Geschoss	119 095	7,1
2 Geschosse	785 682	46,7
3-4 Geschosse	669 680	39,8
5-6 Geschosse	84 619	5,0
7-9 Geschosse	21 112	1,2
10 und mehr Geschosse	3 119	0,2
Total	1 683 307	100,0

Quelle: BFS – Gebäude- und Wohnungsstatistik © BFS, Neuchâtel 2015

T6 Verteilung der Gebäude und ihrer Bewohner/innen nach Energieträger der Heizung, 2013

Energieträger		absolut	in %
		(in Tausend)	
Heizöl	Gebäude	827	49,1
	Bewohner/innen	4378	52,8
Gas	Gebäude	263	15,6
	Bewohner/innen	1760	21,2
Elektrizität	Gebäude	166	9,9
	Bewohner/innen	396	4,8
Holz	Gebäude	202	12,0
	Bewohner/innen	540	6,5
Wärmepumpe	Gebäude	178	10,6
	Bewohner/innen	755	9,1
Andere*	Gebäude	47	2,8
	Bewohner/innen	456	5,6
Total	Gebäude	1683	100,0
	Bewohner/innen	8285	100,0

* Andere: Kohle, Sonnenkollektor, Fernwärme, andere Energieträger

Quelle: BFS – Gebäude- und Wohnungsstatistik © BFS, Neuchâtel 2015

Abbildung 11: Gebäudeverteilung nach Geschosszahl (links) und Energieträger der Heizung (rechts) [18, S. 17].

4.2.1.4. Materialanteile von Fassaden beim Neubau von Mehrfamilienhäusern

Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der Materialanteile von Fassaden bei Neubauten in Mehrfamilienhäusern zwischen 2005 und 2016. Rund drei Viertel der Neubaufassaden bestehen aus Mauerwerk. Die Bedeutung des Holzes als Baustoff steigt im Vergleich zum Mauerwerk an. Sein Marktanteil beträgt im Jahr 2012 rund 16% und es ist mit einer weiterhin steigenden Tendenz zu rechnen. Gemäss Fachleuten aus der Holzbaubranche⁴ kann bis 2050 von einem Marktanteil von ca. 20% (MFH) bis ca. 25% (EFH) ausgegangen werden.

⁴ Gemäss Interview mit Max Renggli von 04.04.2016
30/172

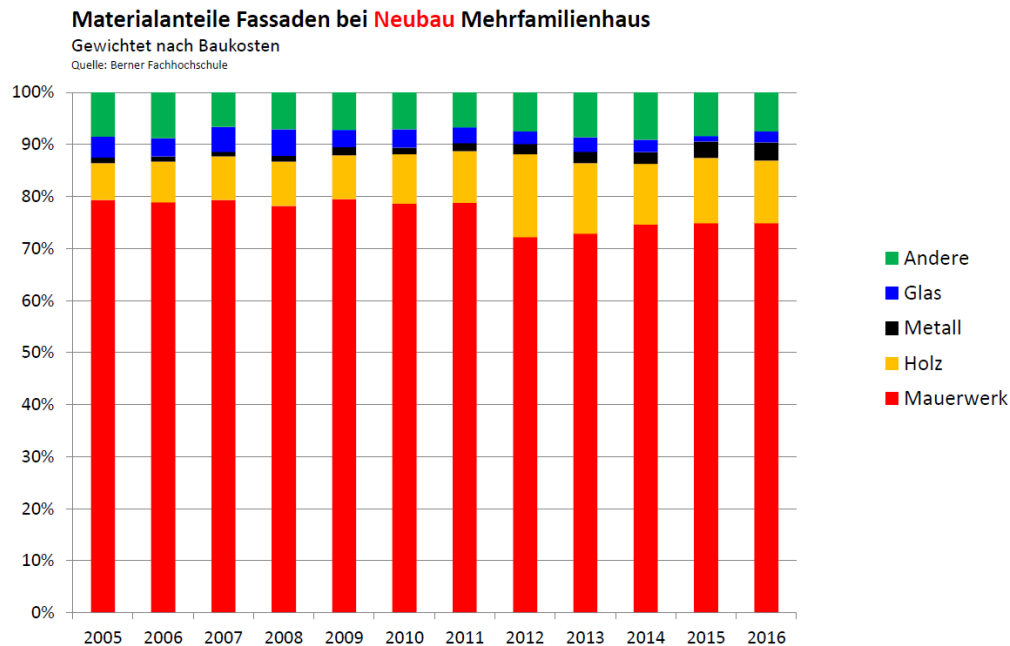


Abbildung 12: Materialanteile Fassaden beim MFH-Neubau [8].

4.2.1.5. Fazit zu statistischen Grundlagen

Die statistischen Grundlagen verdeutlichen die Bedeutung von Mehrfamilienhäusern, sowohl hinsichtlich des grössten Anteils am Gesamtvolumen des Gebäudebestands (33%), der absoluten Wohnungsanzahl (Tendenz steigend), als auch der steigenden Wohnfläche pro Person (ca. 48m²). Daraus folgt, dass das grösste absolute Potenzial im Hinblick auf Vorkehrungen angesichts des Klimawandels bei Mehrfamilienhäusern liegt.

4.2.2. Typologie Wohngebäude (MFH)

4.2.2.1. Identifikation und Kategorisierung relevanter Merkmale

Beim Projektstart wurde die folgende Liste von Parametern festgelegt, welche relevante Merkmale von Bauelementen beinhaltet, die erfahrungsgemäss einen Einfluss auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit von Wohngebäuden haben:

- „Wärmespeicherfähigkeit“: Massiv- und Leichtbau, Materialisierung Innenräume
- „Fenster“: Flächenanteil, thermische Qualität, Orientierung
- „Sonnenschutz“: fix/mobil, Typ, Qualität
- „Balkon“: Dimension, Anordnung, Ausrichtung, zusätzliche Verglasung
- „Dämmung“: Stärke, Lage, Dämmwert
- „Luft“: natürliche/mechanische Lüftung, Nachtauskühlung, Luftdichtigkeit
- „Gebäudeform“: Kompaktheit, Proportion, Verformung; basierend auf Gebäudetypologie
- „Orientierung“: Abdrehung
- „Standort“: Region, Höhe ü.M.



Die Merkmale werden hauptsächlich durch die Bauweise der Gebäude (**Tragwerks- und Deckentyp**) beeinflusst. Diese hat einen massgeblichen Einfluss auf die Wärmespeicherfähigkeit, Transmissionswärmeverluste, den solaren Eintrag und die Eigenverschattung. Der **Fassadentyp** erlaubt Rückschlüsse auf das Tragwerk und den Fensterflächenanteil der Aussenwand. Mit dem **Typ des privaten Aussenraums** können Bauteile charakterisiert werden, welche durch Verschattung den solaren Eintrag beeinträchtigen.

Tabelle 4 zeigt eine Matrix wesentlicher Einflussgrössen dieser **Bautypen** auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit von Wohngebäuden.

- Der *Tragwerkstyp* und der *Deckentyp* sind definiert durch die Konstruktionsart und Materialisierung (Massivbau, Skelettbau, Hybridbau/ Leichtbau)
- Der *Fassadentyp* ist definiert durch Konstruktionsart, Materialisierung und den Verglasungsanteil der Aussenwand (Lochfassade, Bandfassade, Skelettfassade)
- Der *Typ des privaten Aussenraums* ist definiert durch Anordnung der vor- bzw. rückspringenden Bauteile (Balkon, Loggia, Laubengang)

Tragwerkstyp	Deckentyp	Fassadentyp	Typ des privaten Aussenraums
<i>Massivbau (ein- / mehrschalig)</i> – Stahlbeton – Mauerwerk	<i>Massivdecken</i> – Stahlbeton → z.B. Stahlbetonplatten, Stahlbalkendecken, Stahlbetonrippendecken	<i>Lochfassade (tragend)</i> – ca. 30%-50% Verglasungsanteil → z.B. Mauerwerksfassade	<i>Balkon (vorspringend)</i> – einzeln – umlaufend
<i>Skelettbau</i> – Beton, Holz, Stahl → z.B. Brettschichtholz/ Vollholz	<i>Verbunddecken</i> – Holz-Beton – Stahl-Beton	<i>Bandfassade (nicht tragend)</i> – ca. 40%-60% Verglasungsanteil → z.B. Beton-Fertigteilfassade, Elementfassade	<i>Loggia (rückspringend)</i> – einzeln – umlaufend
<i>Hybridbau / Leichtbau</i> – Beton, Holz, Stahl → z.B. Holzrahmenkonstruktion, Holzbohlenkonstruktion, Holzplattenkonstruktion	<i>Balken / Rippen / Kastendecken</i> – Beton, Holz, Stahl → z.B. Balken- oder Rippendecken, Hohlkastendecken, Massivholz- oder Brettstapeldecken, Brettsperrholzplatten	<i>Skelettfassade (nicht tragend)</i> – ca. 60%-90% Verglasungsanteil → z.B. Pfosten-Riegel Fassade	<i>Laubengang (vor- / rückspringend)</i>

Tabelle 4: Matrix wesentlicher Einflussgrössen von Bauweisen auf Energiebedarf und Behaglichkeit.

4.2.2.2. Beispielgebäude und Ableitung von Gebäudetypen

In einem ersten Schritt erfolgte eine Vorauswahl und Kategorisierung (gemäss Kapitel 4.2.2.1) von 19 Beispielgebäuden durch das Projektteam. Diese wurden aufgrund der identifizierten Merkmale zu 11

Gebäudetypen zusammengefasst. Die Steckbriefe zu den vorgeschlagenen Beispielgebäuden finden sich im Anhang 8.1 (Abbildung 110 bis Abbildung 120). Die Gebäudetypen 1-5 repräsentieren Massivbaukonstruktionen aus Mauerwerk und Stahlbeton, die Gebäudetypen 6-11 zeigen Hybrid- und Leichtbaubaukonstruktionen mit verschiedenen Kombinationen der Materialien Beton, Holz, Stahl. Durch den Einbezug von Leuchtturmprojekten wurden bei der vorgeschlagenen Auswahl der Beispielgebäude potentielle zukünftige architektonische Entwicklungen berücksichtigt. Die Beispielgebäude repräsentieren somit experimentelle bzw. progressive Ansätze im Wohnungsbau. Neben diesen Neubauten wurden zwei Wohngebäude aus den 20er bzw. 70er Jahren aufgeführt, die exemplarisch die Sanierung von Wohnhochhäusern und einer denkmalgeschützten Siedlung aufzeigen. Die Beispielgebäude lassen sich den folgenden Themen zuordnen:

- Entwicklungen in *Konstruktion und Material*
- Nutzung *erneuerbarer Energien* und Steigerung der *Energieeffizienz*
- *Neue Wohnformen / Typologien*, z.B. aufgrund gesellschaftlicher und demografischer Entwicklungen
- *Flexibilität* und Anpassungsfähigkeit von Gebäuden über den Lebenszyklus
- Entwicklungen der *Gebäudetechnik bzw. des Technisierungsgrades*, z.B. Low-Tech vs. High-Tech
- *Sanierung* erhaltenswerter und schützenswerter Gebäude

In einem zweiten Schritt wurde, unter Einbezug von externen Fachleuten (vgl. Kapitel 4.2.3) und des Projektteams, eine Auswahl von vier Beispielgebäuden getroffen (vgl. Kapitel 4.2.4).

4.2.3. Experteninterviews

Die Experteninterviews hatten zum Ziel, unterschiedliche Stakeholder zu zukunftsfähigen Entwicklungen und zum Umgang mit den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Wohngebäude zu befragen. Die Experten wurden ferner in der Auswahl der Beispielgebäude für die thermischen Simulationen miteinbezogen.

4.2.3.1. Interviewpartner

- #1 Bundesamt für Wohnungswesen BWO – Felix Walder (Stv. Direktor, Leiter Bereich Bauwesen)
- #2 Allgemeine Baugenossenschaft Luzern ABL – Peter Bucher (Leiter Bau & Entwicklung)
- #3 Renggli AG – Max Renggli (CEO) am 04.04.2016
- #4 Halter AG – Christian Erb (Leiter Energie und Gebäudetechnik)
- #5 Stadt Zürich Amt für Hochbauten – Annick Lalive (Leiterin Fachstelle Nachhaltigkeit)
- #6 Pensimo AG – Marc Derron (Construction & Development)

4.2.3.2. Kernfragen- und Aussagen

Die Interviewfragen gliederten sich in vier Bereiche: *Einstiegsfragen* zur Entwicklung des Wohnungsbaus, *Fachfragen* bezogen auf die Arbeit des Interviewpartners, Fragen zur Auswahl der *Beispielgebäude* und *Schlussfragen*, wie Anforderungen an Energiebedarf und Behaglichkeit, angesichts des Klimawandels, erfüllt werden können. In der nachfolgenden Auflistung sind die Kernaussagen zu den



Interviewfragen zusammengefasst. Die Auswahl der Beispielgebäude wird im Kapitel 4.2.4 thematisiert. Eine detaillierte Zusammenstellung der Aussagen der einzelnen Interviewpartner befindet sich im Anhang 8.2.

Einstiegsfragen

- Welche Entwicklungen prägen aus ihrer Sicht den Wohnungsbau der Zukunft?
 - Wirtschaftliche Entwicklung und Zinsniveau
 - Abwägung Low-Tech vs. High-Tech: Technische Entwicklung z.B. Hybridkollektoren, Erdsonden zum Heizen und Kühlen, Assistenzsysteme, Standardisierung und Vorfabrikation (Bautradition als Hemmnis)
 - Optimierungen im Planungs- und Bauprozess (integrale, interdisziplinäre Planung)
 - Nachfrage nach flexiblem Wohnen (z.B. mit zumietbaren Räumen) und neuen Wohnformen (z.B. Clusterwohnen, Alterswohnen)
 - Demographische Entwicklung und Zuwanderung erfordern günstigen Wohnraum, was den Kosten- und Planungsdruck (Baugeschwindigkeit) verschärft
 - Verschärfung der Vorschriften z.B. energetische Standards, Verdichtung (Verdrängungsdruck auf den Gebäudebestand)
 - Qualitätsvolle Gestaltung des Aussenraums gewinnt an Bedeutung (Quartiersentwicklung)
 - Nachfrage nach hellen Wohnungen (grosse Fenster) mit einem Fensterflächenanteil von ca. 50% und dem Trend zu einer Vergrößerung des privaten Aussenraums (Balkon, Loggia)

- Welche Wohntypologien bzw. Wohnformen könnten in Zukunft gefragt sein?
 - Neue Wohntypologien wie Clusterwohnen, Grosshaushalte, Alterswohnen, Mehrgenerationenwohnen in den grossen Städten mit erweiterten Dienstleistungen
 - Suffiziente Wohnformen (aufgrund des wirtschaftlichen Drucks), die weniger Wohnfläche verbrauchen – mehr Qualität als Quantität
 - Universell nutzbarer Wohnraum (hauptsächlich 3-4 Zi. Wohnungen) und zunehmend auch Kleinwohnungen

Fachfragen

#1 Thema: Wohnen und Energie

#2 Thema: Bau und Entwicklung

- Energiestandard und Energiestrategie; wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung ein?
 - Der energetische Standard der gesetzlichen Vorgaben ist ausreichend, eine weitere Erhöhung nicht sinnvoll, der Fokus liegt auf der Vermeidung von CO₂ (Vorgaben 2000 Watt Gesellschaft)
 - Low Tech Ansätze sind robust und wenig fehleranfällig vgl. Baumschlager Eberle Projekt 2226 in Lustenau, Österreich. Das Projekt erfüllt viele Aspekte nachhaltigen Bauens, wie z.B. Kompaktheit, Sommerlicher Wärmeschutz (tiefe Leibungen), Dauerhaftigkeit, kein Untergeschoss, angemessener Fensteranteil, Nutzung interner Wärmelasten (Personen, Geräte), natürliche Lüftung über automatisch gesteuerte Kippflügel. Kritisch anzumerken sind folgende Aspekte:
 - Risikobereitschaft (kein Standard für Investoren)
 - Bereitschaft Komforteinschränkungen hinzunehmen (Zugerscheinungen)
 - Akustische Probleme (Entschärfung durch Vorhänge)
 - Hoher Aufwand für gebäudetechnische Simulationen



- Wie werden sich Eigentumsformen und der Anteil am Eigentum entwickeln?
 - Bauland wird knapper und teurer, deshalb wird der Anteil EFH zurückgehen
 - Stockwerkeigentum wird weiter gefragt sein, Vorgehen bei Erneuerung muss sich etablieren
- Welche strategische Ausrichtung verfolgt die Genossenschaft? Wie sehen die Leitbilder aus?
 - Es wird von einem Lebenszyklus mit 100 Jahren gerechnet, bei einer Abschreibung des Gesamtbaus nach 50 Jahren
 - Unterhalt und Erneuerung erfolgen nach einer eingehenden Beurteilung des Gebäudebestands (eine umfassende Erneuerung soll den Lebenszyklus um ca. 30 Jahre verlängern)
 - Erneuerung ist abhängig von der Situation der Mieter, wie und wo diese umgesiedelt werden können

#3 Thema: Holzbau, Hybridbau, modulare Bauweise und Energieeffizienz

- Welche Rolle wird der Holzbau in Zukunft spielen?
 - Kostenfrage, derzeit sind Hybridbauten 10% teurer (Primärkonstruktion) als Massivbauten (Angabe bezieht sich auf aktuelle Offertenvergleiche der ABL)
 - Dauerhaftigkeit muss im Vergleich zu einem Massivbau gewährleistet sein
 - Aufgrund des Gewichts ist der Holzbau prädestiniert für das Weiterbauen im Bestand
 - Erwartete Marktanteile bis 2050: EFH ca. 20-25%, MFH ca. 20% (Vorfabrikation)
- Was verstehen Sie unter Hybridbau?
 - Einsatz von Materialien entsprechend ihrer Stärken, z.B. Beton in der Erschliessung und im Bereich der Geschossdecken
 - Problem der Toleranzen und der Kombination von Nass- und Trockenbau:
 - Übergangserscheinung, die langfristig dem integral- und vorgefertigten System- und Modulbau weichen wird
- Welche Vorteile sehen Sie in der modularen Bauweise?
 - Ausnutzung der Vorteile industrieller Produktion vs. handwerklicher Produktion, insbesondere die integrale Planung im Werk
 - Mehrwert durch Replizierbarkeit - in Abhängigkeit der Stückzahlen
- Was kann den Holzbau wettbewerbsfähiger machen, wo kann er seine Stärken ausspielen?
 - Problem: billige, unqualifizierte Arbeitskräfte drücken den Preis der traditionellen Massivbauweise, demgegenüber stehen teurere, qualifizierte Arbeitskräfte der vorgefertigten Bauweise im Holzbau
 - Kosten müssen über den gesamten Lebenszyklus visualisiert werden (inkl. Energie im Betrieb), dafür fehlen die entsprechenden Tools
 - Innerhalb kürzester Zeit geschossweise erstellbar, mit der Möglichkeit der Errichtung über das gesamte Jahr (unabhängig von tiefen Temperaturen)
- Was kann der Holzbau im Bereich der Sanierung leisten?
 - Vorfabrikation macht für rein energetische Sanierungen keinen Sinn, da sie zu unwirtschaftlich ist – für Erweiterungen ist sie sinnvoll (Leichtbaukonstruktionen auf Bestandsgebäuden)
 - Je nach Unterhaltsstrategie ist der Ersatzneubau in der Regel besser als eine umfassende Sanierung, insbesondere betreffend den Anforderungen nach Brandschutz, Schallschutz und Statik



#4 Thema: energieeffiziente Gebäudetechnik sowie Wohnkomfort

- Welche Tendenzen zeichnen sich in der Gebäudetechnik ab, welche Technologien werden in Zukunft eingesetzt?
 - Nutzung von PV mit Netzeinspeisung anstelle von WW Kollektoren (Überschuss im Sommer und Mangel im Winter)
 - Rein thermische Kollektoren werden Hybridkollektoren weichen (Produktion von Strom, Wärme und Regeneration von Erdsondenfeldern)
 - Der Einsatz von Wärmepumpen wird in Zukunft standardmässig erfolgen, z.B. in Verbindung mit Erdsonden/ Erdregister/ Aussenluft/ Grundwasser/ Netz- bzw. Ringverbünde von Arealen
 - Wärmepumpenkältemaschine (WPKM) im Change Over Betrieb (im Winter heizen und im Sommer kühlen), besonders für Mischnutzungen (Wohnen, Büro und Gewerbe) sinnvoll – die Kühlung im Wohnungsbau geht über die Fussbodenheizung, im Bürobau über TABS (Lebensdauer 90 Jahre = Beton), dadurch können Erdsondenfelder entsprechend regenerieren
 - Die Dämmung der Gebäudehülle soll nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen (Auslotung des Optimums zwischen Energievermeidung und Produktion)
 - Lokale Energiespeicher für Spitzenlasten statt für Grundlasten dimensionieren (Netzdesign)
 - Leistungsoptimierung steht im Vordergrund durch die vereinfachte Vernetzung von Angebot und Nachfrage
 - Low Tech Ansätze in der Gebäudetechnik, die robust und günstig im Betrieb sind, z.B. Nachströmöffnungen für Zuluft (Fensterlüfter), vgl. auch Projekt 2226 von Baumschlagler Eberle

#5 Thema: Nachhaltiges Bauen

- Welche Innovationen erwarten Sie im Rahmen des nachhaltigen Bauens?
 - Durch den Einsatz neuer Materialien und Bautechnologien verringert sich der Bedarf an Grauer Energie
 - Prozess der Zusammenarbeit d.h. integrale Planung und vernetztes Denken wird an Bedeutung gewinnen – braucht es den klassischen Architekten noch?
 - Anpassungsfähigkeit ist im Wohnungsbau kein Thema (Umbau unwirtschaftlich), gefragt sind nutzungsneutrale Wohnungen, in denen verschiedene Wohnformen möglich sind
 - Moderate Strukturtrennung, z.B. Lüftung in abgehängter Decke, pro Wohnung ein Schacht für die gebäudetechnischen Installationen
 - Aus nachhaltiger Sicht (v.a. bei der Grauen Energie) sind Holzbauten interessant, insbesondere für Aufstockungen. Beim Neubau sind sie jedoch i.d.R. nicht wirtschaftlich.
- Wo liegt aus ihrer Sicht der zukünftige Fokus nachhaltigen Bauens betreffend Suffizienz, Effizienz, Konsistenz? Wie kann eine Suffizienzsteigerung erreicht werden?
 - Das grosse Potenzial der Effizienz liegt in der Sanierung des Bestands
 - Der Einsatz regenerativer Energien scheitert häufig an der technischen, wirtschaftlichen oder gestalterischen Umsetzbarkeit sowie dem politischen Willen
 - Erdsonden benötigen Platz im Erdreich und können nur bei entsprechender Regeneration an Nachbarsonden angrenzen und nur in ausgewiesenen Zonen eingesetzt werden
 - Grosse Potenzial in der Verringerung des Flächenbedarfs durch Konsum- und Mobilitätsverhalten, was einen gesellschaftlichen Wandel erfordert (politisch nicht durchsetzbar) vgl. auch betriebliche Massnahmen z.B. Mehrfachnutzung von Schulgebäuden in der Stadt Zürich



Schlussfragen

- Inwiefern sind die baulichen Herausforderungen des Klimawandels für Ihre Arbeit von Bedeutung?
 - Ressourcen- und Klimawandel (vor allem auch Wetterextreme) sind von grosser Bedeutung, es geht um die Optimierung von Ressourcen und Treibhausgasen
 - Sommerlicher Wärmeschutz gewinnt an Bedeutung und erfolgt zunehmend über Erdsonden mit einer Verteilung über die Lüftung oder die Fussbodenheizung oder über die Aktivierung thermischer Speichermasse (TABS)

- Wie kann der Energiebedarf weiter gesenkt werden – was sind aus ihrer Sicht die relevanten Stell-schrauben?
 - Muss er weiter gesenkt werden? Die Frage sollte lauten: Wieviel CO₂ können wir uns leisten
 - Energie ist zu günstig (Abhängigkeit von den ausländischen Energiepreisen) und müsste be-steuert werden, erneuerbare Energieträger sind nur bedingt wirtschaftlich
 - Nutzung erneuerbarer Energien (Sonne-, Wind-, und Wasserkraft) unter Einbezug des Stand-orts und der lokal verfügbaren Ressourcen (Berücksichtigung der Volkswirtschaftlichkeit)
 - Wandel der Bautradition (Bewusstsein für nachhaltige Bauweise)
 - Steigerung durch Informations- und Bautechnologie (z.B. Smart Grid / Energieverbünde)
 - Optimierung im Baubetrieb: Eine optimierte Einstellung der Heizgrenze, z.B. in Verbindung mit Wetterdaten, abgestimmt auf die verfügbare thermische Masse kann den Heizenergiebedarf massiv senken

- Wie lassen sich Anforderungen an Einfachheit und Komfort für den Nutzer umsetzen?
 - Anforderungen sind durch den angemessenen Einsatz von Gebäudetechnik zu lösen
 - Die Komfortanforderungen von Büro und Wohnen werden sich annähern, eine Kühlung von Wohngebäuden wird in absehbarer Zeit Standard sein
 - Durch faire und transparente Aushandlungsprozesse, unter Einbezug von Eigentümern, Bau-herren- und Nutzerververtretungen können die Anforderungen erfüllt werden
 - Gebäude müssen so robust konzipiert sein, dass das Nutzerverhalten wenig Einfluss hat

4.2.3.3. Fazit zu Experteninterviews

Die Interviews zeigten auf, dass das Thema *Planen angesichts des Klimawandels* von aktueller Be-deutung ist. Planer, Ausführende, Betreibern und Nutzende sind bestrebt Vorkehrungen zu treffen, um die Anforderungen des Energiebedarfs und der Behaglichkeit heutiger und zukünftiger Wohnneubau-ten zu erfüllen. Dabei wurden auch die Hemmnisse und Risiken der einzelnen Interessenvertreter er-sichtlich. Die öffentliche Hand sieht sich mit einem steigenden Druck konfrontiert, in hohem Tempo kostengünstigen Wohnraum zu schaffen (z.B. Stadt Zürich), insbesondere unter Berücksichtigung der geforderten baulichen Verdichtung. Bauträgerschaften und Bauunternehmen nutzen die verfügbaren Innovationen (z.B. Optimierungen in der Planung, Erstellung und Betrieb) nicht optimal, da sie z.T. noch wenig wirtschaftlich sind und / oder ein Wandel in der Bautradition erforderlich machen.



4.2.4. Auswahl der Beispielgebäude

Die Auswahl der repräsentativen Beispielgebäude erfolgte in zwei Schritten. Zunächst erfolgte eine Vorauswahl durch die Interviewpartner. Diese wurde in der Folge mit der Projektbegleitgruppe diskutiert und hinterfragt. Aus den Rückmeldungen resultierte die Bestimmung von vier realen Gebäuden als Basis für die Untersuchungen mit thermischen Raumsimulationen.

4.2.4.1. Empfehlung der Interviewpartner

Den externen Experten wurden 19 Beispielgebäude vorgelegt, aufgeteilt in 11 Gebäudetypen (vgl. Kapitel 4.2.2.2 und Anhang 8.1) und folgende Fragen gestellt:

- Welchen Bautyp sehen Sie aufgrund der vorgegebenen Merkmale als zukunftsweisend an:
Tragwerkstyp, Aussenwandtyp, Deckentyp, Typ des privaten Aussenraums?
- Welche fünf Gebäude würden Sie als zukunftsweisend betrachten?

Tabelle 23 im Anhang 8.2 zeigt die getroffene Auswahl der Interviewpartner im Detail. Bei der Fragenbeantwortung sind z.T. konträre Expertenmeinungen aufeinandergetroffen. Es hat sich gezeigt, dass zukunftsweisende Wohnbauten je nach Blickwinkel und Interessenslage sehr unterschiedlich eingeschätzt wurden. So wurde z.B. von Renggli AG (Interview mit Max Renggli) das Marktpotenzial des Holzbaus bis 2080 auf 20-25% geschätzt, während dem Holzbau bei Halter AG (Interview mit Christian Erb) nur sehr geringe Wachstumschancen eingeräumt wurden. Aus dem Auswahlverfahren resultierten letztendlich fünf Gebäudetypen mit folgenden Charakteristiken:

- Typ 1: MFH in Zürich, Massivbau mit Baujahr 2015
Tragwerkstyp: Mauerwerk. *Aussenwandtyp:* dämmendes Einsteinmauerwerk, Lochfassade.
Deckentyp: Stahlbeton. *Typ des privaten Aussenraums:* Balkone einzeln.
- Typ 3: MFH in Zürich, Massivbau mit Baujahr 2012
Tragwerkstyp: Mauerwerk. *Aussenwandtyp:* Backstein mit EPS-Dämmung, Lochfassade.
Deckentyp: Stahlbeton. *Typ des privaten Aussenraums:* Loggien.
- Typ 5, Nr. 2: MFH in Zürich, Massivbau mit Baujahr 2011
Tragwerkstyp: Stahlbeton. *Aussenwandtyp:* Dämmbeton, Bandfassade.
Deckentyp: Stahlbeton. *Typ des privaten Aussenraums:* Dachterrasse.
- Typ 6, Nr. 2: MFH in Zürich, Hybridbau mit Baujahr 2014
Tragwerkstyp: Stahlbetonstützen. *Aussenwandtyp:* Holzrahmenbau, Lochfassade.
Deckentyp: Stahlbeton. *Typ des privaten Aussenraums:* Balkone einzeln.
- Typ 9, Nr. 1: Wohn- und Gewerbehaus in Zürich-Leimbach, Hybridbau mit Baujahr 2015
Tragwerkstyp: Vertikalbohlen Holz. *Aussenwandtyp:* Vertikalbohlen, Lochfassade.
Deckentyp: Verbund Holz-Beton. *Typ des privaten Aussenraums:* Loggien einzeln.

4.2.4.2. Diskussion und definitive Auswahl

Bei der Diskussion mit der Projektbegleitgruppe ergaben sich zum grossen Teil klare Übereinstimmungen mit der Vorauswahl der Experten, die als Tendenzen für den zukunftsweisenden Wohnungsbau gesehen werden können. Dennoch wurden zwei weitere Gebäudetypen zur Weiterbearbeitung vorgeschlagen, um einerseits den gegenwärtigen Standard im Wohnungsbau abzubilden (eine Massivbau-



Siedlung mit Minergie®-Standard) und andererseits um einen typischen Vertreter aus dem Gebäudebestand der 50er-60er Jahren einzubeziehen. Der Vorschlag der Begleitgruppe zielte damit auf eine Verschiebung des Fokus vom gegenwärtigen „State of the Art“ hin zum gegenwärtigen Standard im Wohnungsbau, unter Einbezug von Gebäuden, die sich in einer späten Phase des Lebenszyklus befinden. Neben der Verschiebung des Fokus waren folgende Gründe ausschlaggebend für die Aussortierung der Expertenauswahl:

- Typ 5, Nr. 2 wurde aufgrund der Leistungsfähigkeit des Dämmbetons (unwirtschaftliche Konstruktion) kritisch betrachtet und nicht weiterbearbeitet
- Typ 6, Nr. 2 wurde durch Typ 8, Nr. 3 ersetzt, da von einer zunehmenden Standardisierung mit industrieller Fertigung ausgegangen wird
- Typ 2, Nr. 1 wurde als Gebäude einer denkmalgeschützten Siedlung aufgenommen, da unter Schutz stehende Gebäude nicht rückgebaut werden, theoretisch eine unbegrenzte Lebensdauer aufweisen und sich deshalb im Gebäudebestand „ansammeln“

Aufgrund der Expertenempfehlung, der Diskussion im Projektteam, sowie der Rückmeldung aus der Begleitgruppe, wurden demzufolge die nachfolgenden vier Beispielgebäude für die Simulationen der thermischen Behaglichkeit und Berechnung der Energiebilanzen verwendet (Abbildung 13).

Ein detaillierter Beschrieb der vier abschliessend ausgewählten Beispielgebäude ist im separaten Dokument „ClimaBau - Grundlegendokument Simulationen“ [9] festgehalten. Eine Tabelle mit den wichtigsten Eigenschaften der Bauten findet sich im Anhang 8.3 „Kurzbeschrieb Beispielgebäude“.



Massivbau

		
<p>Altbau-Gebäude, Zürich Baujahr 1954 Tragwerkstyp: Mauerwerk Wandtyp: Backstein Lochfassade Deckentyp: Stahlbeton Typ Aussenraum: Balkone einzeln „Altbau standard“</p>	<p>Gebäudetyp 2, Nr. 1, Zürich Baujahr 1929, Sanierung 2013 Tragwerkstyp: Mauerwerk Wandtyp: Backstein Lochfassade Deckentyp: Holzbalkendecke Typ Aussenraum: Balkone einzeln „Altbau geschützt“</p>	<p>Minergie-Gebäude, Lyss Baujahr 2017 Tragwerkstyp: Mauerwerk Wandtyp: Backstein Lochfassade Deckentyp: Stahlbeton Typ Aussenraum: Loggien einzeln „Neubau massiv“</p>

Hybridbau


<p>Gebäudetyp 8 Nr. 3, Nebikon Baujahr 2014 Tragwerkstyp: Stützensystem Holz Wandtyp: Holzrahmen Lochfassade Deckentyp: Holzrippendecke / UB Typ Aussenraum: Loggien einzeln → „Neubau hybrid“</p>

Abbildung 13: Auswahl der Beispielgebäude durch Experten und nach Revision durch die Projektbegleitgruppe und die Projektbearbeiter. In Anführungszeichen ist die Bezeichnung der Beispielgebäude in den folgenden Abschnitten dieses Berichts festgehalten.

4.3. Thermische Raumsimulationen

Die Simulationen wurden in zwei Schritten, respektive in zwei Projektphasen durchgeführt. Die erste Phase (Kapitel 5.1) zielte darauf ab, die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf und den Komfort der vier Beispielobjekte zu bestimmen. In der zweiten Phase (Kapitel 5.2) wurden spezifisch ausgewählte Gebäudeparameter untersucht, um deren Auswirkungen in Zusammenhang mit dem Klimawandel zu bestimmen. Ausgewertet wurden Parameter, die eine gesamtheitliche Beurteilung des Energiebedarfs sowie der Behaglichkeit ermöglichen.

4.3.1. Auswertungsparameter

4.3.1.1. Energiebedarf

Die Raumsimulationen mit IDA ICE erlaubten die Quantifizierung von drei wesentlichen Kenngrössen der Betriebsenergie von Wohngebäuden auf Stufe Nutzenergie. Es wurde der **Heizwärmebedarf** bestimmt, um eine Wohnraumtemperatur von 21° C während der Heizperiode zu gewährleisten (gemäss SIA MB 2024:2015 [10]). Im Gegenzug wurde der theoretische **Klimakältebedarf** ermittelt, um eine Innenraumtemperatur von maximal 26° C während der Sommerperiode (von 16. April bis 15. Oktober) zu garantieren (gemäss SIA MB 2024:2015 [10]). Zudem wurde der **Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung** der einzelnen Wohnungen gemäss SIA MB 2024:2015 [10] bestimmt. Die zeitliche Auflösung der Simulationsergebnisse erlaubten zusätzliche Aussagen zur notwendigen **spezifischen Leistung** der gebäudetechnischen Systeme in den drei Bereichen.

Die Leistung der Beleuchtung wurde für die Simulationen, gemäss der SIA MB 2024:2015 [10], mit einem Ausgangswert von 2.7 W/m² angenommen. Die Simulationsauswertung zeigte, dass diese Bemessungsleistung in den Wintermonaten durchaus benötigt wurde, in den sommerlichen Monaten hingegen die erforderliche Leistung, abgesehen von einzelnen Spitzenwerten, stets auf einem geringeren Niveau war. Die Unterschiede waren jedoch nicht relevant und wurden deshalb nicht in der standardmässigen Resultatübersicht aufgenommen. Bei der Heizwärme und der Klimakälte wird bei den Simulationen kein Ausgangswert definiert, die angegebenen Werte entsprechen deshalb der über das Jahr tatsächlich notwendigen maximalen Leistung.

Die energetische Auswertung erfolgte jeweils über einen Zeitraum von 30 Jahren. Bei der Periode „2060“ wurde für die ersten zwei Gebäudetypologien mit zehn GCM-RCM Modellketten des Klimaszenarios A1B kalkuliert. Wird im Bericht nichts Anderes vermerkt, bezieht sich der angegebene jährliche Energiebedarf auf den Medianwert der Modellketten, respektive der jeweiligen untersuchten Periode. Bei den Typologien „Altbau geschützt“ und „Neubau hybrid“ erfolgte die Auswertung mit der Modellkette MPI-ECHAM5, da die Analyse der ersten Simulationsergebnisse zeigte, dass diese Modellkette den Medianwert der zehn Modellketten in genügendem Masse repräsentieren konnte.

4.3.1.2. Behaglichkeit

Mit dem Ziel die thermische Behaglichkeit in den Gebäuden zu analysieren, wurden die entsprechenden Modelle ohne technische Kühlsysteme simuliert. Die Betrachtung erfolgte anhand der **empfundene Temperatur** und der jährlichen **Anzahl an Überhitzungsstunden** in den Innenräumen sowie an-

hand des **PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied), dem vorausgesagten Anteil Unzufriedener. Berücksichtigt wird beim PPD definitionsgemäss nur die Zeit, in der sich Personen in den Wohnräumen aufhalten (vgl. Belegungsplan im Kapitel 5.1.1.6).

Die Überhitzungsstunden sind definiert als die Stunden, an denen die Temperatur höher als die zulässige Temperatur nach SIA 180:2014 [12] liegt. Berücksichtigt wurde dabei der angenommene Anwesenheitszeitraum der Bewohner gemäss SIA MB 2024:2015 [10] (vgl. Abschnitt 5.1.1.6). Zu beachten gilt es, dass die SIA 180:2014 [12] zwei Grenzwerte vorsieht: einer für Räume mit natürlicher Lüftung, während diese weder beheizt noch gekühlt sind, und einer für Räume, die beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind. Dabei wird angenommen, dass höhere Raumtemperaturen in natürlich belüfteten Räumen von den Nutzern eher akzeptiert werden. Daher liegt da der Grenzwert höher als bei mechanisch belüfteten bzw. klimatisierten Räumen, wo der obere Schwellenwert 26.5 °C beträgt, wenn der gleitende Mittelwert der Aussentemperatur während 48 Stunden höher als 17.5 °C liegt (Abbildung 14). Es wurde jeweils die Überschreitung beider Grenzwerte ermittelt. Ist im Bericht nichts spezifischer vermerkt, wird, um einen besseren Vergleich ermöglichen zu können, der untere Grenzwert zur Bewertung herangezogen.⁵

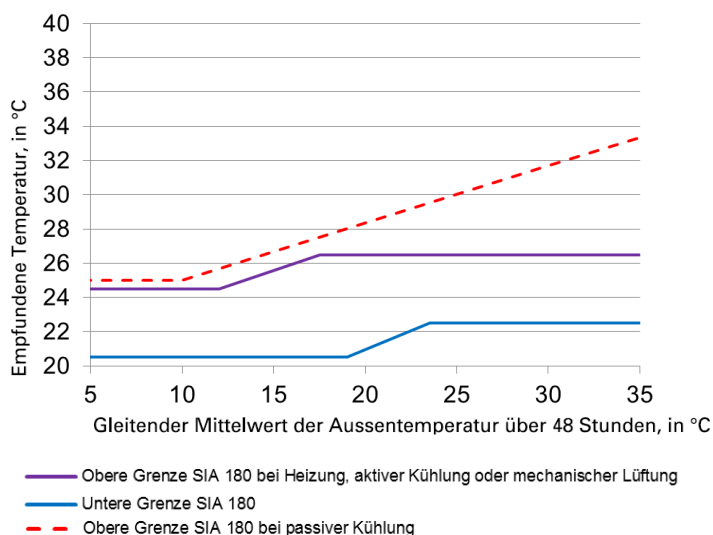


Abbildung 14: Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind, in Abhängigkeit des Mittelwertes der Aussentemperatur (angelehnt an die SIA 382/1:2014 [18]).

Der PPD berechnet eine Unzufriedenheitsquote der Menschen unter gegebenen Bedingungen gemäss UNE EN ISO 7730 [24]. Er ist aus dem PMV (Predicted Mean Vote, vorausgesagtes mittleres Votum) abgeleitet. Eine überwiegend akzeptierte thermische Umgebung wird durch einen PPD unter 10% definiert.

Die Behaglichkeitsbetrachtung wurde, im Gegensatz zur energetischen Analyse, anhand ausgewählter Jahre durchgeführt. Dabei wurden das Medianjahr der Referenzperiode „1995“ (*das Jahr 2004*),

⁵ Die Anzahl der Überhitzungsstunden im Bericht ist nicht direkt vergleichbar mit den kalkulierten Werten nach SIA 180/2014 [12], da die Bedingungen für die Lüftung- und Verschattungssysteme teilweise nicht der Norm entsprechen. Es wurden beispielsweise Parametervariationen durchgeführt um unterschiedliche Nutzerverhalten abzubilden.



das Medianjahr der Periode „2060“ (*das Jahr 2063*) sowie zwei aussergewöhnlich warme Jahre (*die Jahre 2003 und 2068*) berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.1.7).

4.3.2. Konzept Phase I

Die Auswahl der vier typologisch unterschiedlichen Beispielgebäude diente als Basis zur Modelldefinition für die thermischen Raumsimulationen. Diese repräsentieren die Vielfalt des Schweizer Gebäudeparks. In der ersten Simulationsphase war das Ziel, die Wohngebäude so realitätsnah wie möglich, unter Berücksichtigung der gängigen Normen, abzubilden. Grundlegende typologische Anpassungen an den ausgewählten Beispielgebäuden wurden deshalb vermieden. Die Vorgehensweise erlaubte es, das Verhalten der Gebäude bei heutigen klimatischen Bedingungen mit demjenigen bei zukünftigen Klimaszenarien direkt zu vergleichen. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Simulationen am selben Gebäude sind ausschliesslich dem Klimawandel zuzuordnen. Der Vergleich der Simulationsergebnisse der **vier Fallstudien** erlaubte Rückschlüsse zum Einfluss der typologischen Charakteristiken angesichts des Klimas respektive des Klimawandels.

Die ermittelten Kenngrössen wurden jeweils mit den heutigen Standardwerten für Wohngebäude aus der SIA MB 2024:2015 [10] verglichen. Die wichtigsten Rahmenbedingungen für die Simulationen sind im Kapitel 5.1.1 zusammengefasst.

4.3.3. Konzept Phase II

Bei den Simulationen ist allgemein eine Reduktion auf die wesentlichen Parameter anzustreben. In der zweiten Simulationsphase war dementsprechend die Untersuchung von ausgewählten und als relevant erachteten Parametern in Wohngebäuden das primäre Ziel. Dafür wurde ein Referenzmodell gebildet, aufbauend auf einer der vier Fallstudien, und daran konsequenterweise jeweils nur ein Parameter verändert. Der Einfluss dieser **Parametervariation** wurde bei heutigen klimatischen Bedingungen und bei zukünftigem Klimaszenario untersucht. Die Vorgehensweise erlaubte Rückschlüsse zur heutigen Relevanz des Parameters im Vergleich zur Relevanz angesichts des Klimawandels. Daraus liessen sich Handlungsempfehlungen für eine optimierte Bauweise unter Berücksichtigung der künftig veränderten klimatischen Bedingungen ableiten.



5. Ergebnisse und Erkenntnisse

5.1. Simulationen – Phase I (Fallbeispiele)

Im folgenden Kapitel werden die Rahmenbedingungen und die getroffenen Annahmen beschrieben, auf denen die Simulationen basieren. Diese Parameter haben einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse, was bei der Analyse der Simulationsergebnisse entsprechend berücksichtigt wurde.

In einem ersten Schritt wurden die Simulationen der vier Fallstudien am Standort Basel durchgeführt. Mit der Analyse dieser Ergebnisse konnten die für die Simulationen getroffenen Annahmen überprüft werden.

5.1.1. Rahmenbedingungen

Im Abschnitt werden die wichtigsten Parameter für die Simulationen definiert. Eine weiter gehende Beschreibung der Kenndaten der Fallstudien sowie der Simulationseingaben (einschließlich des Personenprofils, des Geräteprofils und der Leistung ausserhalb der Nutzungszeit für Geräte oder die Auslegungswerte der Raumlufttemperatur für Heizung und Kühlung) ist im separaten Dokument "ClimaBau - Grundlegendokument Simulationen" [9] festgehalten.

5.1.1.1. Lüftung

5.1.1.1.1. Natürliche Lüftung (Fallstudien „Altbau standard“ und „Altbau geschützt“)

Es wurde eine CO₂-gesteuerte Fensterlüftung simuliert. Die Fensteröffnung erfolgt dabei automatisch in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration im Raum, bei einem CO₂-Pegel von 1'000-1'400 ppm gemäss SIA 382/1:2014 [18], Raumluftqualität RAL 3 (100%ig geöffnetes Fenster, Durchflussbeiwert = 0.65).

5.1.1.1.2. Mechanische Lüftung (Fallstudien „Neubau massiv“ und „Neubau hybrid“)

Es wurde grundsätzlich ein konstanter Lüftungsstrom von 1m³/m²h angenommen (gemäss SIA MB 2024:2015 [10]). Bei extremen Aussenlufttemperaturen gemäss SIA 382/1:2014 [18], Abschnitt 2.2.6.5, wurde eine Reduktion des Aussenluft-Volumenstroms angenommen (Abbildung 15). Zur Gewährleistung einer Nachtkühlung wurde hingegen eine Erhöhung des Aussenluft-Volumenstroms gemäss Kapitel 5.1.1.3 vorgesehen.

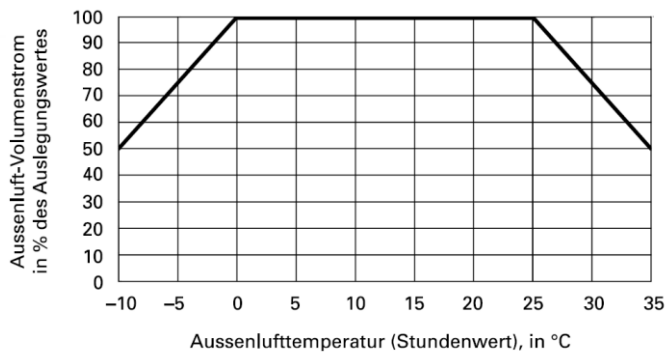


Abbildung 15: Reduktion des Aussenluft-Volumenstroms in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur (SIA 382/1:2014 [18])

5.1.1.1.3. Wärmerückgewinnung WRG („Neubau massiv“ und „Neubau hybrid“)

Die Regelung der Wärmerückgewinnung erfolgte gemäss folgenden Bedingungen:

- 1) Während der Heizperiode ist die WRG zur Rückgewinnung der Raumluftwärme immer eingeschaltet;
- 2) Wenn die Aussentemperatur höher als die Raumlufttemperatur ist, dient die WRG der Vorkühlung der Zuluft;

Der Wirkungsgrad der WRG wurde mit 0.85 angenommen, der Sollwert für die Zulufttemperatur betrug 21 °C.

5.1.1.2. Verschattungssysteme

5.1.1.2.1. Rollläden / Fensterläden („Altbau standard“ und „Altbau geschützt“)

Ab einer Globalstrahlung von mehr als 150 W/m² (in Anlehnung an die Studie „S.A.D.L.E.S.S.“ [25] auf die entsprechende Fassade und einer Außentemperatur von mehr als 15 °C (um die Aktivierung im Winter zu verhindern) wurden die Sonnenschutz-Systeme als zu 2/3 geschlossen simuliert, bei einem Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) von 0.1.

Die Sonnenschutz-Systeme wurden während der Winterperiode (vom 16. Oktober bis zum 15. April) in der Nacht (zwischen 21.00 und 6.00 Uhr) als geschlossen simuliert, um die Wärmeverluste zu minimieren. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand (ΔR) dieser Systeme gemäss Norm UNE EN 13659:2015 [29] wurde mit 0.22 m²K/W für Rollläden aus Holz und mit 0.36 m²K/W für Fensterläden aus Holz definiert.

5.1.1.2.2. Markisen / Rafflamellenstoren („Neubau massiv“ und „Neubau hybrid“)

Ab einer Globalstrahlung von mehr als 150 W/m² (in Anlehnung an die Studie „S.A.D.L.E.S.S.“ [25]) auf die entsprechende Fassade und einer Außentemperatur von mehr als 15 °C (um die Aktivierung im Winter zu verhindern) sowie einer Windgeschwindigkeit (Stundenmittelwert) von weniger als 40

km/h (gemäss SIA 382/1:2007 [26]) wurden die Sonnenschutz-Systeme als zu 2/3 geschlossen simuliert, bei einem g-Wert von 0.1 für Rafflamellenstoren und 0.15 für Stoffmarkisen.

Die Sonnenschutz-Systeme wurden während der Winterperiode (vom 16. Oktober bis zum 15. April) in der Nacht (zwischen 21.00 bis 6.00 Uhr) als geschlossen simuliert, um die Wärmeverluste zu minimieren. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand (ΔR) dieser Systeme nach Norm UNE EN 13659:2015 [29] wurde mit 0.08 m²K/W für Lamellenstoren und mit 0.15 m²K/W für Fassadenmarkisen definiert.

5.1.1.3. Nachtkühlung

5.1.1.3.1. Natürliche Lüftung („Altbau standard“ und „Altbau geschützt“)

Die Öffnung der Fenster erfolgte bei folgenden Temperaturbedingungen der Aussen- und Raumluft: $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C, gemäss SIA 382/1:2007 [26] (100%ig geöffnetes Fenster).

5.1.1.3.2. Mechanische Lüftung („Neubau massiv“ und „Neubau hybrid“)

Der Luftstrom wurde zur Nachtkühlung auf 10m³/m²h erhöht, um die Überhitzung zu reduzieren, wenn: $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C, gemäss SIA 382/1:2007 [26].

Die Erhöhung des Aussenluft-Volumenstroms für Nachtlüftung von 3m³/m²h auf 10m³/m²h wird in der SIA 180:2014 [12] Anhang C, Absatz C.1 beschrieben. Diese Massnahme ist insbesondere bei Bürobauten üblich. Es ist zu bedenken, dass eine solche Erhöhung der Kanalgeschwindigkeiten bei Wohnungslüftungen zu problematischen Lärmbelastungen führen kann (vgl. Interpretation der Ergebnisse im Kapitel 5.1.6 „Diskussion Phase I“)

5.1.1.4. Beleuchtung

Die Beleuchtung wurde über einen Zeitplan (Abbildung 16) und über die natürliche Belichtung der Räume gesteuert. Die minimale Beleuchtungsstärke wurde mit 500 Lux definiert (gemäss SIA MB 2024:2015 [10]).

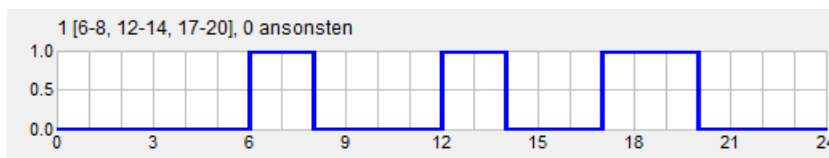


Abbildung 16: Zeitplan der Beleuchtung (gemäss SIA MB 2024:2015 [10]).

Bei 1.0 ist das Licht eingeschaltet, bei 0.0 ausgeschaltet.

5.1.1.5. Dimensionierung des Heizung- und Kühlungssystems

In den älteren Gebäuden („Altbau standard“ und „Altbau geschützt“) reichte die Heizwärmeleistung gemäss SIA MB 2024:2015 [10] nicht aus, um die vorgegebene Temperatur von 21 °C in sämtlichen Zo-

nen durchwegs zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde die Heizwärmeleistung in den vier Fallstudien gemäss SIA 382/2:2011 [28] Absatz 3.1 mit den Klimadaten der Station Basel-Binningen in der SIA MB 2028:2010 [21] dimensioniert. Die Klimakälteleistung ist nicht begrenzt.

5.1.1.6. Personenbelegung

Die Personenbelegung wurde über einen Zeitplan geregelt (vgl. Abbildung 17):

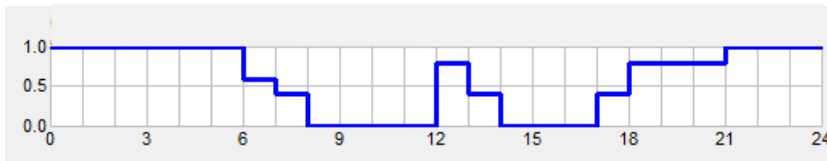


Abbildung 17: Zeitplan der Personenbelegung (gemäss SIA MB 2024:2015 [10]). 1.0 entspricht einer Vollbelegung des Raumes, 0.0 einer Personenabwesenheit.

5.1.2. Fallbeispiel „Altbau standard“

Das untersuchte Gebäude ist zweigeschossig und besitzt zwei Treppenhäuser, die jeweils vier Wohnungen erschliessen. Es handelt sich um einen Bau aus den 50er Jahre mit entsprechendem Fensteranteil (ca. 18% der Fassadenfläche) und für heutige Standards ungenügenden Dämmwerten (Aussenwand 1.4 W/m²K, Dach 0.28 W/m²K). Im Untergeschoss (teilweise im Erdreich) sind Garagen, Waschräume und Lagerräume angeordnet. Das Dachgeschoss ist als unbeheizter Estrichraum ausgebildet.



Abbildung 18: Bild des in IDA ICE aufgebauten Simulationsmodells „Altbau standard“.

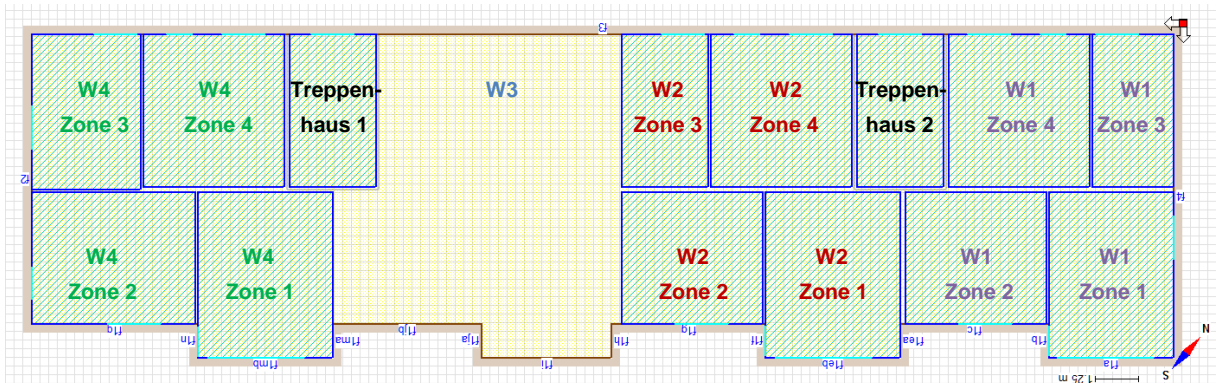


Abbildung 19: Grundriss des in IDA ICE aufgebauten Wohngeschossmodells „Altbau standard“ mit 4 Wohnungen (W1-4) und entsprechender Zonenaufteilung. In der nicht untersuchten Wohnung 3 (W3) werden aufgrund der ähnlichen Geometrie und der identischen Fensterflächen nahezu dieselben Temperaturen wie in der Wohnung 2 (W2) angenommen.

5.1.2.1. Energiebedarf

Referenzperiode „1995“ (1980-2009)

Der mediane **Heizwärmebedarf** der untersuchten Wohnungen während der Referenzperiode „1995“ beträgt 119.5 kWh/m²a. Der maximale Wert wird im Jahr 1980 registriert und der minimale Wert



(100.5 kWh/m²a) im Jahr 2000. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 53.4 W/m². Der höchste Leistungswert, im Jahr 1987, liegt um 25% höher. Da werden 67.0 W/m² benötigt, um eine Raumtemperatur von 21 °C zu gewährleisten.

Beim **Klimakältebedarf** beträgt der mediane Wert vergleichsweise unbedeutende 0.03 kWh/m²a. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei 0.9 kWh/m²a (im Jahr 2003) respektive 0.0 kWh/m²a (im Jahr 1980). Die mediane Klimakälteleistung beträgt 2.4 W/m², der Wert steigt jedoch im Jahr 2003 auf 11.7 W/m², um eine maximale Raumtemperatur von 26 °C zu gewährleisten. Diese Bedarfswerte weisen darauf hin, dass in der Referenzperiode kaum ein Kühlsystem notwendig gewesen wäre. Nur in bestimmten Zeiten, z.B. in der besonders warmen Periode des Sommers 2003, war ein tatsächlicher Klimakältebedarf feststellbar, welcher jedoch sehr gering ausfiel.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** beträgt 3.8 kWh/m²a. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei 3.9 kWh/m²a (im Jahr 1997), respektive 3.5 kWh/m²a (im Jahr 1980).

Die simulierten Medianwerte für Heizung, Kühlung und Beleuchtung liegen im Bereich der in der SIA MB 2024:2015 [10] angegebenen Standardwerte für Wohnbauten (Wert „Bestand“). Der Heizwärmebedarf liegt etwas höher, der Klimakältebedarf etwas tiefer als der SIA-Wert. Bei der spezifischen Klimakälteleistung fällt der hohe Standardwert auf. Eine Begründung dafür ist, dass die erforderliche Klimakälteleistung ohne Berücksichtigung der Fensterlüftung ermittelt wird und bei Bestandsbauten höher angesetzt ist als der Zielwert bei Neubauten.

	Heizwärmebedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärmeleistung (W/m ²)	Klimakältebedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälteleistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	119.5	53.4	0.0	2.4	3.8
Maximalwert	145.0	67.0	0.9	11.7	3.9
<i>Zeitpunkt (Jahr)</i>	<i>(1980)</i>	<i>(1987)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(1997)</i>
Minimalwert	100.5	46.9	0.0	0.3	3.5
<i>Zeitpunkt (Jahr)</i>	<i>(2000)</i>	<i>(1984)</i>	<i>(1980)</i>	<i>(1980)</i>	<i>(1980)</i>
<i>SIA MB 2024</i>	<i>112.9</i>	<i>54.6</i>	<i>1.6</i>	<i>21.0</i>	<i>4.0</i>

Tabelle 5: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Referenzperiode „1995“ für die Fallstudie „Altbau standard“. Vergleichshalber werden die entsprechenden Werte für bestehende Wohnbauten gemäss SIA MB 2024:2015 [10] dargestellt.

Periode „2060“ (2045-2074), Szenario A1B

Der mediane **Heizwärmebedarf** der Periode „2060“ beträgt 97.0 kWh/m²a. Der maximale und der minimale Wert liegen bei 120.7 kWh/m²a respektive 79.9 kWh/m²a. Gegenüber der Referenzperiode „1995“ liegt jeweils eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von etwa 20% vor. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 48.7 W/m² (9% tiefer als in der Referenzperiode) und der Maximalwert 66.0 kWh/m²a (2% tiefer als in der Referenzperiode).

Der mediane **Klimakältebedarf** beträgt 0.7 kWh/m²a, was im Vergleich zur Referenzperiode einem mehr als 20-fach höheren Wert entspricht. Der mediane Maximalwert der zehn untersuchten Modellketten liegt bei 5.4 kWh/m²a, was eine Steigerung von mehr als 500% bedeutet. Die mediane Klimakälteleistung beträgt 13.8 W/m², was ebenfalls einer Steigerung von ca. 500% entspricht. Der Wert stieg jedoch im 2068 gar auf 35.3 W/m² an.



Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** in der Periode 2045-2074 beträgt 3.9 kWh/m²a. Der mediane Maximal- und Minimalwert der zehn Modellketten liegen bei 4.0 kWh/m²a respektive 3.6 kWh/m²a. Dies bedeutet einen leichten Anstieg des Elektrizitätsbedarfs, was durch die erhöhte Nutzung des Sonnenschutzes bei höherer Sonneneinstrahlung und Temperaturen erklären lässt.

Der mediane Wert für Heizwärmebedarf liegt nun im Vergleich zum SIA MB 2024:2015 [10] Wert ebenfalls tiefer. Auffallend ist, dass der Maximalwert zur Klimakälteleistung nun deutlich über den Merkblatt-Standardwert liegt.

	Heizwärme- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärme- leistung (W/m ²)	Klimakälte- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälte- leistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	97.0	48.7	0.7	13.8	3.9
Veränderung zur Referenzperiode	-19%	-9%	+2188%	+477%	+3%
Maximalwert	120.7	66.0	5.4	35.3	4.0
Veränderung zur Referenzperiode	-17%	-2%	+525%	+201%	+3%
Minimalwert	79.9	41.7	0.2	6.1	3.6
Veränderung zur Referenzperiode	-20%	-11%	+12'693%	+1'696%	+4%

Tabelle 6: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Periode „2060“ für die Fallstudie „Altbau Standard“. Angegeben werden jeweils Medianwert aus den 10 Modellketten sowie der Median aus den Maximal- respektive Minimalwerten der 10 Modellketten und die entsprechende Veränderung im Vergleich zur Referenzperiode „1995“.

Vergleich der periodenspezifischen Ergebnisse

Die Abbildung 20 zeigt die Relevanz der Veränderung des Heizwärmebedarfs der Periode „2060“ gegenüber der Referenzperiode „1995“ auf: Die Reduktion des Medianwerts beträgt ca. 20%. Die Schwankungen in den einzelnen Modellketten sind jedoch beträchtlich. In der Abbildung 21 ist die Entwicklung des Klimakältebedarfs dargestellt. Dieser steigt bedeutend an und ist in der Periode „2060“ 20 Mal höher als in der Referenzperiode. Der absolute Wert bleibt jedoch, im Vergleich zum Heizwärmebedarf, gering. In einigen Modellketten sind dennoch Jahre vorhanden, bei denen der Klimakältebedarf einen Wert von nahezu 10 kWh/m²a erreichen kann. Bei den Beleuchtungswerten ist die Variabilität in den verschiedenen Modellketten viel niedriger und die Steigerung gegenüber der Referenzperiode mit 6% relativ geringfügig (vgl. Abbildung 22).

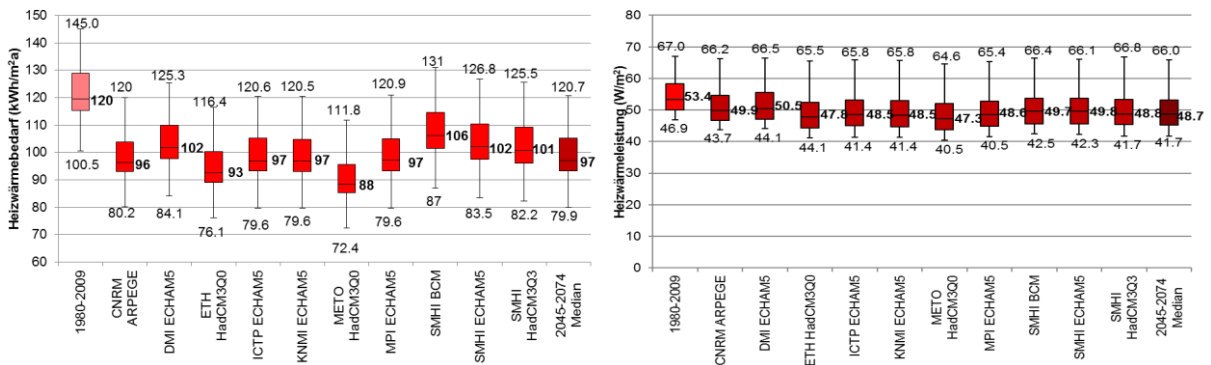


Abbildung 20: Vergleich des Heizwärmebedarfs (Bild links) und der spezifischen Heizwärmeleistung (Bild rechts) der Periode „1995“, von 10 Modellketten für die Periode „2060“ und des Medianwerts der 10 Modellketten.

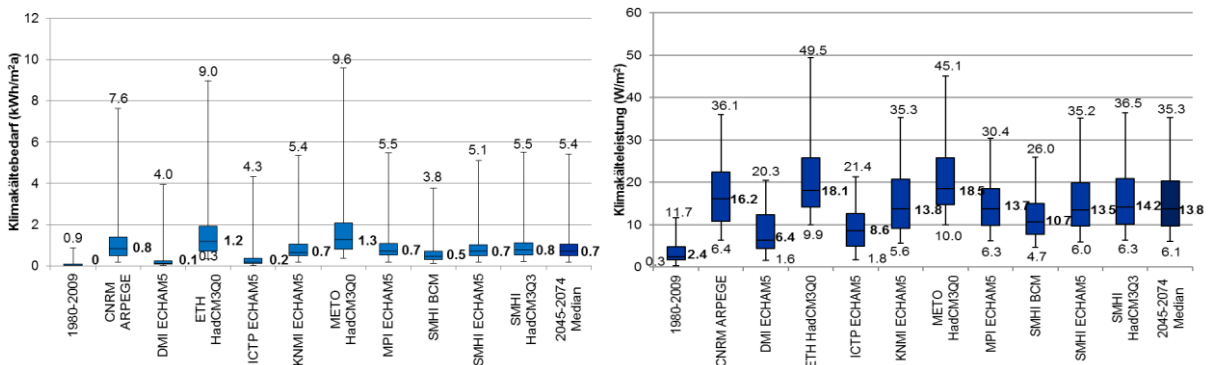


Abbildung 21: Vergleich des Klimakältebedarfs (Bild links) und der spezifischen Klimakälteleistung (Bild rechts) der Periode „1995“, von 10 Modellketten für die Periode „2060“ und des Medianwerts der 10 Modellketten.

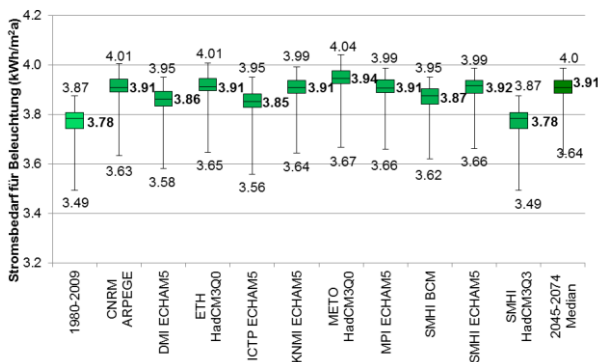


Abbildung 22: Vergleich des Elektrizitätsbedarfs für Beleuchtung der Periode „1995“, von 10 Modellketten für die Periode „2060“ und des Medianwerts der 10 Modellketten.

In den Abbildungen sind jeweils Maximum, Median und Minimum festgehalten sowie der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil als farbige Fläche dargestellt.



5.1.2.2. Thermische Behaglichkeit

Die Tabelle 7 stellt einen Überblick der maximalen *empfundenen Temperaturen*, der jährlichen *Anzahl Überhitzungsstunden* sowie des *Predicted Percentage of Dissatisfied PPD* für die vier untersuchten Jahre in ausgewählten Zonen des Gebäudes dar:

Die Zone im Gebäude, in der die höchsten Temperaturen auftreten, ist *W1 1OG Zone 1*. Es handelt sich dabei um das südöstlich orientierte Wohnzimmer mit dreiseitiger Befensterung der Wohnung 1 in der ersten Etage. Die in der Regel tiefsten Temperaturen werden in der *W2 EG Zone 3* registriert, ein nach Nordwesten orientiertes Erdgeschosszimmer der Wohnung 2. Die *W2 1OG Zone 2*, ein südlich orientiertes Zimmer in der ersten Etage, repräsentiert hingegen die Zone, in der mediane Werte für das Gebäude auftreten. Geht man davon aus, dass innerhalb der Wohnung üblicherweise ein Luftaustausch stattfinden, z.B. durch offene Türen, eignet sich diese Zone besonders für die Behaglichkeitsbetrachtung.

Eine Darstellung der Werte für sämtliche Gebäudezonen findet sich im Anhang 8.4 „Umfassende Simulationsergebnisse – Phase I“. Die Abbildung 23 zeigt indes die Zunahme der Temperatur und der Überhitzungsstunden in den simulierten Räumen vom Jahr 2063 im Vergleich zum Jahr 2004, den beiden Medianjahren der untersuchten Perioden.

Der Medianwert der maximalen **empfundenen Temperatur** über alle Zonen liegt bei 25.2 °C im 2004 und steigt bis auf 28.3 °C im 2003 an, dem wärmsten Jahr der Referenzperiode „1995“. In der Periode „2060“ beträgt der Medianwert im 2063 28.7 °C und steigt entsprechend auf 30.4 °C im 2068 an. Die Temperatur in den verschiedenen Zonen schwankt zwischen 24.1 °C und 26.6 °C im 2004 und erhöht sich auf 27.1, respektive 30.5 °C im 2063, was einer Steigerung um 3.0-3.9 °C bedeutet. In den extremen Jahren steigt die Temperatur von 27.2-29.5 °C (2003) auf 29.0-31.8 °C (2068) an, was einer Temperaturerhöhung um rund 5 °C gegenüber 2004 gleichkommt. Der durchschnittliche Anstieg der jährlichen Aussentemperatur gemäss Szenario AB1 beträgt zwischen den Medianjahren 2004 und 2063 am Standort Basel – im Vergleich dazu – 2.1 °C.

Der Medianwert der **Überhitzungsstunden** über alle Zonen liegt bei 0 im 2004. Das bedeutet, dass im Medianjahr der Referenzperiode „1995“ kaum Überhitzungsprobleme wahrgenommen werden. Im zukünftigen Medianjahr 2063 werden 34 Überhitzungsstunden registriert. In den extremen Jahren beträgt die Anzahl an Überhitzungsstunden 94 im 2003 und steigt auf 229 im 2068 an. Werden die einzelnen Zonen betrachtet, kann notiert werden, dass die Überhitzungsstundenanzahl im 2063 zwischen 9 und 103 schwankt. Im Extremjahr 2068 wird ein Höchstwert von 378 Stunden erzielt.

Bei den **PPD**-Werten ist die Variation zwischen den beiden Perioden klein. Zu beachten gilt es jedoch, dass in der Tabelle Mittelwerte über das ganze Jahr dargestellt werden. Es bestehen durchaus Zeiträume und Zonen, in denen der PDD-Wert viel höher ist. Im der wärmsten Zone wird beispielsweise im Jahr 2068 am wärmsten Tag ein PPD-Maximalwert von 85%, bei einem Tagesmittelwert von 45%, registriert.

	Ref. Medianjahr (2004)			Ref. wärmstes Jahr (2003)			A1B Medianjahr (2063)			A1B wärmstes Jahr (2068)		
	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD
Kühlste Zone (W2 EG Zone 3)	24.1	0	6.9%	27.2	31	7.2%	27.1	9	7.0%	29.0	141	7.6%
Median Zone (W2 1OG Zone 2)	25.0	0	6.7%	28.5	102	7.3%	28.7	38	7.0%	30.5	249	8.0%
Wärmste Zone (W1 1OG Zone 1)	26.6	1	7.1%	29.5	174	7.9%	30.5	103	7.5%	31.8	378	8.7%
Gebäude Mittelwert	25.1	0	7.0%	28.3	94	7.5%	28.6	39	7.2%	30.3	240	8.2%
Gebäude Medianwert	25.0	0	7.0%	28.2	94	7.4%	28.6	34	7.1%	30.3	229	8.0%

Tabelle 7: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Altbau standard“.

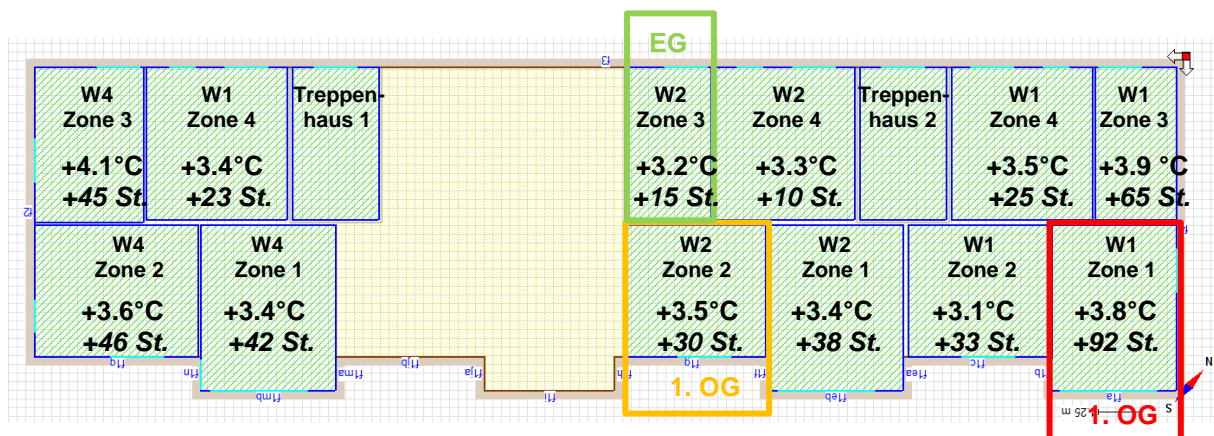


Abbildung 23: Zunahme der maximalen empfundene Temperatur und Anzahl Überhitzungsstunden (unterer Grenzwert SIA 180:2014 [3]) im Jahr 2063 im Vergleich zum Jahr 2004 in den verschiedenen Zonen. Dargestellt wird jeweils der Mittelwert zwischen den jeweiligen Zonen im EG und im 1. OG. Farblich hervorgehoben sind die Zonen, in denen besonders niedrige (grünes Rechteck), durchschnittliche (gelbes Rechteck) und hohe (rotes Rechteck) Temperaturen registriert werden.

Die empfundene Temperatur in den drei Zonen für die vier Betrachtungsjahre werden in Abbildung 24 bis Abbildung 26 in Relation zu den Grenzwerten gemäss SIA 180:2014 [3] gesetzt.

Die Temperaturen liegen 2004 in sämtlichen Zonen innerhalb der Komfortgrenzen des unteren Grenzwerts. 2063 sind hingegen Überhitzungsstunden bereits in allen Zonen ersichtlich; in der kühlest Zone betragen sie allerdings nur 9 Stunden. Im warmen Jahr 2003 ist die Überschreitung des unteren Grenzwerts in allen Zonen erkennbar.

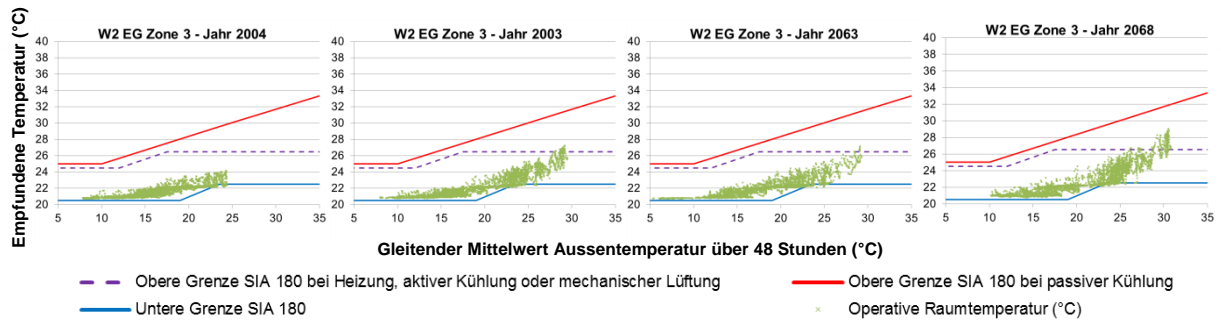


Abbildung 24: Empfundene Temperatur in der *W2 EG Zone 3* (kühlste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

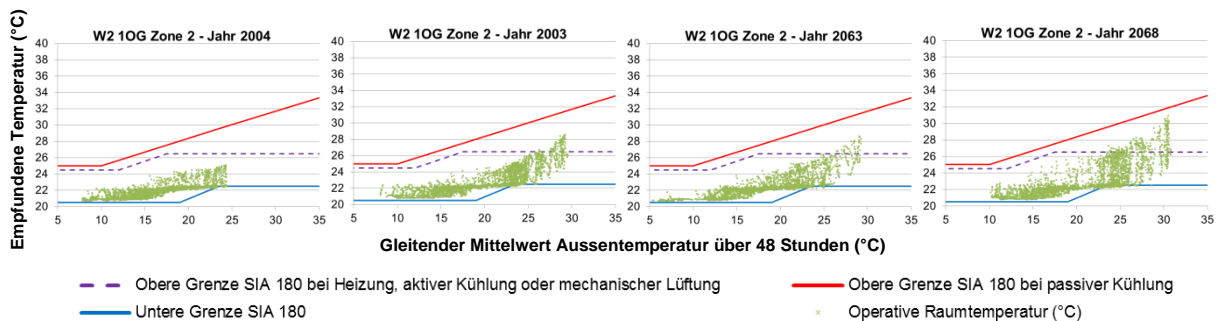


Abbildung 25: Empfundene Temperatur in der *W2 1OG Zone 2* (median Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

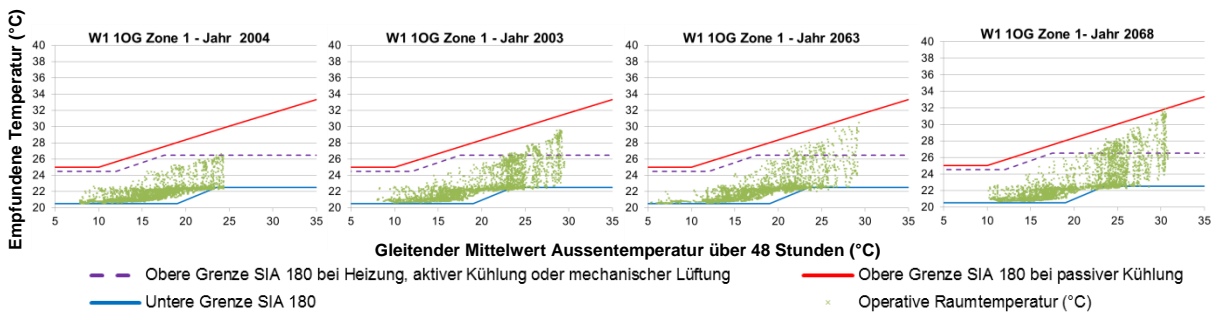


Abbildung 26: Empfundene Temperatur in der *W1 1OG Zone 1* (wärmste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

In der vergleichsweise kühlen „*W2 EG Zone 3*“ bleibt die empfundene Temperatur in der Sommerperiode 2004 während mehr als 95% der Zeit unter 23 °C; 2063 sinkt die Zeitspanne auf 83%. In den extremen Jahren beträgt der analoge Wert 69% im 2003 und noch 61%; im 2068 liegt die Temperatur zudem während 6% der Zeit höher als 26 °C.

In der durchschnittlichen „*W2 1OG Zone 2*“ liegt die empfundene Temperatur im 2004 während mehr als 87% und im 2063 während mehr als 76% der Zeit unter 23 °C. In den warmen 2003 und 2068 reduziert sich dieser Wert auf 63% respektive 57%. Während im 2004 kaum Temperaturen über 26 °C



registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 6%, 3% und bzw. 12% der Zeit darüber.

In der warmen „W1 1OG Zone 1“ liegt die empfundene Temperatur 2004 während mehr als 86% der Zeit unter 23 °C, im 2063 beträgt der Wert 77%. 2003 und 2068 reduziert sich der prozentuale Anteil auf 65% respektive 60%. Die Zeitspanne mit Temperaturen über 26 °C steigt im 2068 auf 20% der Sommerperiode an.

Abbildung 27 zeigt dementsprechend, dass nicht nur der maximale Temperaturanstieg in der jeweils betrachteten Zeitspanne und Zonen wichtig ist, sondern auch der Anteil der Zeit, während der die höheren Temperaturen erreicht werden. Werden 2004 allgemein, das heisst im Gebäudemittelwert, während fast 90% der Sommerperiode Innentemperaturen unter 23 °C registriert, beschränkt sich der entsprechende prozentuale Anteil im 2003 auf 66%. 2063 liegt der analoge Wert bei 78%, im 2068 beträgt er noch 59%. Im Gegenzug kann beobachtet werden, dass 2004 kaum Temperaturen über 26 °C auftreten, während im 2003 der entsprechende Mittelwert des prozentualen Anteils 5% beträgt und im 2068 auf 12% ansteigt. Der Mittelwert der empfundenen Temperatur beträgt 21.8 °C im Jahr 2004, 22.7 °C im Jahr 2003, 22.3 °C im Jahr 2063 und 23.2 °C im Jahr 2068.

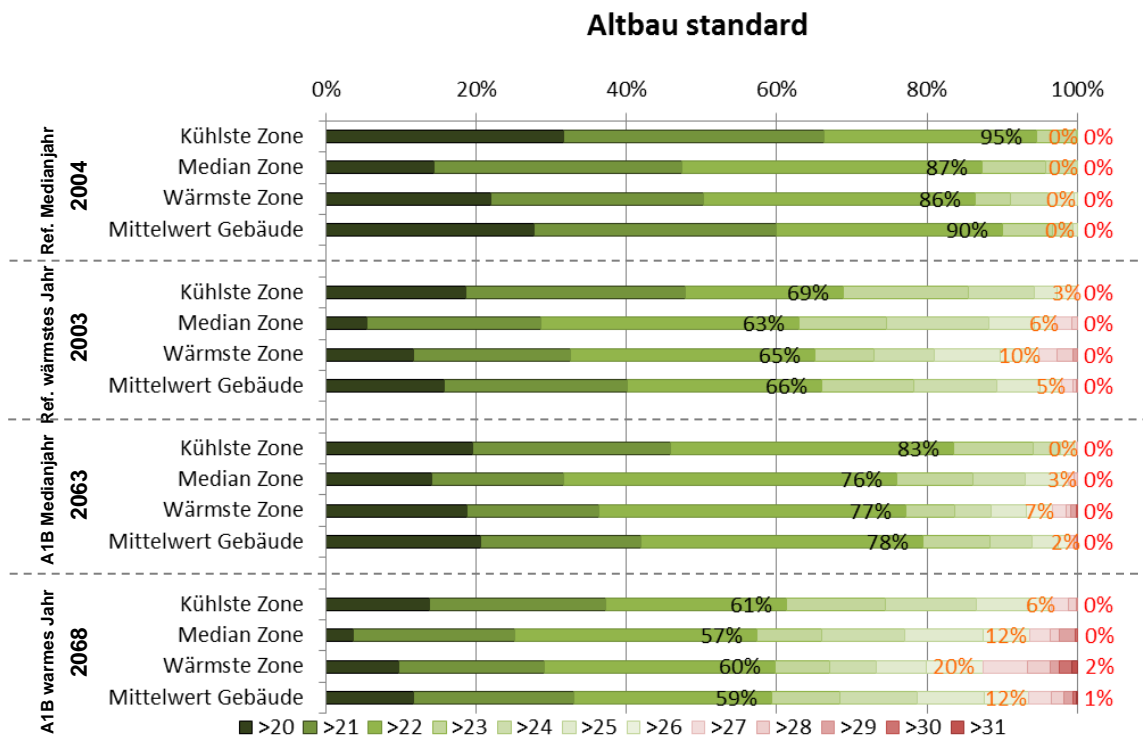


Abbildung 27: Prozentualer Zeitanteil zwischen dem 15. April und dem 16. Oktober im entsprechenden Temperaturbereich. Die schwarze Prozentzahl bezieht sich auf die Zeitspanne bei der $T_{max} < 23$ °C ist, die orange auf derjenigen bei der $T_{max} > 26$ °C ist, die rote auf derjenigen bei der $T_{max} > 30$ °C ist. Dargestellt werden die Werte in ausgewählten Zonen sowie im Mittelwert des Gebäudes „Altbau standard“ in vier betrachteten Jahren.



5.1.2.3. Schlussfolgerungen Fallstudie „Altbau standard“

Vergleicht man die Referenzperiode „1995“ mit der Periode „2060“, reduziert sich der Heizwärmebedarf um 20%, von 119.5 kWh/m²a auf 97.0 kWh/m²a. Der Klimakältebedarf erhöht sich prozentual deutlich stärker, von nahezu keinem Bedarf auf einen Klimakältebedarf von 0.7 kWh/m²a. Dieser Wert ist im Vergleich zum Heizwärmebedarf klein. In einigen Klimamodellketten besonders warmer Jahre erreicht der Klimakältebedarf jedoch Werte um 10 kWh/m²a.

Die mediane spezifische Heizwärmeleistung sinkt um 10% von 55.4 W/m² auf 48.7 W/m², während die Klimakälteleistung sich von 2.4 W/m² auf 13.8 W/m² versechsfacht. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt demnach immer noch über das dreifache der Klimakälteleistung. Diese erreicht in verschiedenen Modellketten dennoch Maximalwerte um 35 W/m².

Der Strombedarf für die Beleuchtung erhöht sich in sämtlichen untersuchten Modellketten nur geringfügig. Dies ist damit begründbar, dass die Beleuchtung in Wohnbauten, anders als in Bürogebäuden, vorwiegend abends betätigt wird und dadurch weniger von der Nutzung der Sonnenschutzsysteme abhängig ist.

Die Komfortanalyse zeigt im Medianjahr 2063 eine deutliche Erhöhung der mittleren empfundenen Temperatur um 3.5 °C gegenüber dem Referenzmedianjahr 2004. Die Anzahl der Überhitzungsstunden nach SIA 180:2014 [12] (unterer Grenzwert) erhöht sich dabei von 0 auf 39 Stunden, während sich der PPD kaum verändert. In extremen Szenarien und Jahren, wie z.B. dem Jahr 2068 der Serie MPI ECHAM5, steigt die mittlere empfundene Temperatur in einer durchschnittlichen Zone um 5.3 °C an und die Anzahl Überhitzungsstunden erhöht sich auf 240.

5.1.3. Fallbeispiel „Altbau geschützt“

Das untersuchte Beispielgebäude weist fünf Wohngeschosse und ein Untergeschoss mit Wasch- und Lagerräumlichkeiten auf. Das Hofgebäude umfasst 135 Wohnungen, deren fünf simuliert wurden. Das unter Denkmalschutz stehende Gebäude wurde in den 20er-Jahren erstellt und weist einen Fensteranteil der Fassade von ca. 21% auf. Es wurde zwischen 2011 und 2013 „sanft“ renoviert. Die energetischen Sanierungsmassnahmen beschränkten sich dabei auf die Innenhofseite (U-Wert Aussenwand 0.52 W/m²K, Dach 0.28 W/m²K, Boden 0.32 W/m²K). Strassenseitig wurde der Fassadenausdruck weitgehend erhalten (U-Wert Aussenwand 1.40 W/m²K).

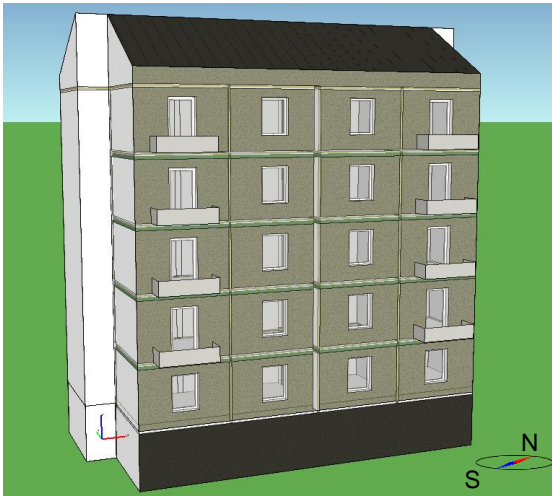


Abbildung 28: Bild des in IDA ICE aufgebauten Simulationsmodells „Altbau geschützt“.

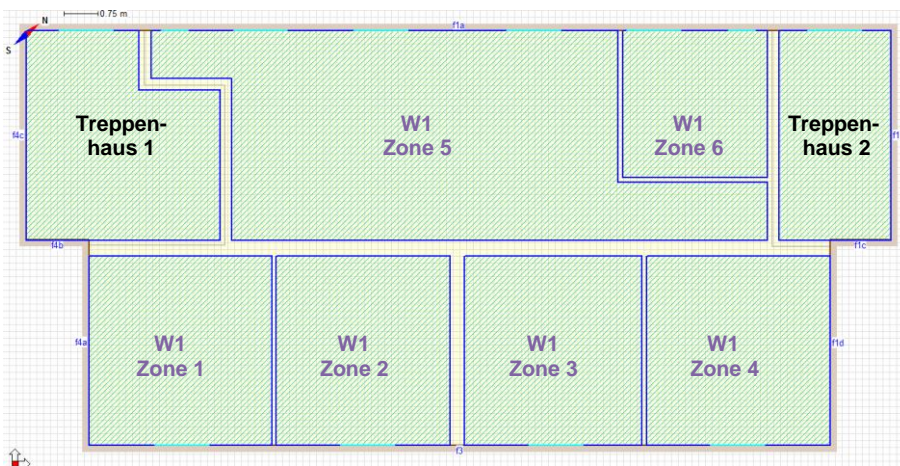


Abbildung 29: Grundriss des aufgebauten Wohngeschossmodells „Altbau geschützt“ mit Zonenaufteilung.

5.1.3.1. Energiebedarf

Referenzperiode „1995“ (1980-2009)

Der mediane **Heizwärmebedarf** der untersuchten Wohnungen während der Referenzperiode „1995“ beträgt $55.6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der maximale Wert ($65.1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) wird im Jahr 1980 registriert und der minimale Wert ($46.3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) im Jahr 1985. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 29.8 W/m^2 . Der höchste Leistungswert, im Jahr 2000, liegt um 15% höher. Da werden 34.2 W/m^2 benötigt, um eine Raumtemperatur von $21 \text{ }^\circ\text{C}$ zu gewährleisten.

Beim **Klimakältebedarf** beträgt der mediane Wert vergleichsweise unbedeutende $0.01 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei $0.5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (im Jahr 2003) respektive $0.0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (im Jahr 1980). Die mediane Klimakälteleistung beträgt 1.1 W/m^2 , der Wert steigt jedoch im Jahr 2003 auf 9.0 W/m^2 , um eine maximale Raumtemperatur von $26 \text{ }^\circ\text{C}$ zu gewährleisten. Diese Bedarfswerte weisen darauf hin, dass in der Referenzperiode ein Kühlsystem kaum notwendig war. Nur in bestimmten



Zeiten, z.B. in der besonders warmen Periode des Sommers 2003, war ein tatsächlicher Klimakältebedarf feststellbar, welcher jedoch sehr gering ausfiel.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** beträgt 5.0 kWh/m²a. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei 4.9 kWh/m²a (im Jahr 1994), respektive 5.1 kWh/m²a (im Jahr 1999).

Die simulierten Medianwerte für Heizung und Kühlung liegen allesamt tiefer als die in der SIA MB 2024:2015 [10] angegebenen Standardwerte für Wohnbauten (Wert „Bestand“). Lediglich der Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung liegt leicht darüber.

	Heizwärmebedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärmeleistung (W/m ²)	Klimakältebedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälteleistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	55.6	29.8	0.0	1.1	5.0
Maximalwert	65.1	34.2	0.5	9.0	5.1
<i>(Zeitpunkt)</i>	<i>(1985)</i>	<i>(2000)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(1999)</i>
Minimalwert	46.3	24.6	0.0	0.1	4.9
<i>(Zeitpunkt)</i>	<i>(2000)</i>	<i>(1984)</i>	<i>(1980)</i>	<i>(1980)</i>	<i>(1994)</i>
SIA MB 2024	112.9	54.6	1.6	21.0	4.0

Tabelle 8: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Referenzperiode „1995“ für die Fallstudie „Altbau geschützt“. Vergleichshalber werden die entsprechenden Werte für bestehende Wohnbauten gemäss SIA MB 2024:2015 [10] dargestellt.

Periode „2060“ (2045-2074), Szenario A1B

Der mediane **Heizwärmebedarf** der Periode „2060“ beträgt 44.7 kWh/m²a. Der maximale und der minimale Wert liegen bei 54.5 kWh/m²a respektive 33.8 kWh/m²a. Gegenüber der Referenzperiode „1995“ liegt jeweils eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von etwa 20% vor. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 27.1 W/m² (9% tiefer als in der Referenzperiode) und der Maximalwert 34.2 kWh/m²a (trotz feststellbarem, allgemeinem Rückgang des Heizwärmebedarfs bleibt die Maximalleistung dieselbe wie in der Referenzperiode).

Der mediane **Klimakältebedarf** beträgt 0.5 kWh/m²a, was im Vergleich zur Referenzperiode einem fast 60-fach höheren Wert entspricht. Der Maximalwert liegt bei 4.6 kWh/m²a, was eine Steigerung von fast 800% bedeutet. Die mediane Klimakälteleistung beträgt 11.3 W/m², was ebenfalls einer Steigerung von mehr als 900% entspricht. Der Wert stieg jedoch im 2068 gar auf 19.7 W/m² an.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** in der Periode „2060“ beträgt 5.3 kWh/m²a. Der maximale und minimale Wert liegen bei 5.5 kWh/m²a respektive 5.1 kWh/m²a. Dies bedeutet einen leichten Anstieg des Elektrizitätsbedarfs um 6%, was durch die erhöhte Nutzung des Sonnenschutzes bei höherer Sonneneinstrahlung und Temperaturen erklären lässt.

Der mediane Wert für den Heizwärmebedarf liegt nun erwartungsgemäss im Vergleich zum SIA MB 2024:2015 [10] Wert noch deutlicher tiefer. Derjenige zum Klimakältebedarf bleibt aber ebenfalls tiefer als der Merkblatt-Standardwert. Der Beleuchtungswert bleibt leicht darüber



	Heizwärme- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärme- leistung (W/m ²)	Klimakälte- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälte- leistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	44.7	27.1	0.5	11.3	5.3
Veränderung zur Referenzperiode	-20%	-9%	+5'852%	+917%	+6%
Maximalwert	54.5	34.2	4.6	19.7	5.5
Veränderung zur Referenzperiode	-16%	0%	+776%	+119%	+7%
Minimalwert	33.8	21.6	0.1	3.6	5.1
Veränderung zur Referenzperiode	-27%	-12%	+16'639%	+5'825%	+5%

Tabelle 9: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Periode „2060“ für die Fallstudie „Altbau geschützt“. Angegeben werden jeweils Median-, Maximal- sowie Minimalwerte der Modellkette MPI ECHAM (stimmt annähernd mit einer medianen der 10 untersuchten Modellketten überein) und die entsprechende Veränderung im Vergleich zur Referenzperiode „1995“.

5.1.3.2. Thermische Behaglichkeit

Die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit wird wie in den vorherigen Fällen durchgeführt.

Die Tabelle 10 stellt einen Überblick der maximalen *empfundenen Temperaturen*, der jährlichen *Anzahl Überhitzungsstunden* sowie des *Predicted Percentage of Dissatisfied PPD* für die vier untersuchten Jahre in ausgewählten Zonen des Gebäudes dar:

Die Zone im Gebäude, in der die höchsten Temperaturen auftreten, ist *W1 4OG Zone 3*. Es handelt sich dabei um das südöstlich orientierte Zimmer der Wohnung 1 in der vierten und obersten Etage. Die in der Regel tiefsten Temperaturen werden in der *W1 EG Zone 5* registriert, ein grosses nordöstlich orientiertes Wohnzimmer in der ersten Etage. Die *W1 2OG Zone 4*, ein nach Norden orientierte Erdgeschosszimmer in der zweiten Etage, repräsentiert hingegen die Zone, in der mediane Werte für das Gebäude auftreten. Geht man davon aus, dass innerhalb der Wohnung üblicherweise ein Luftaustausch stattfinden, z.B. durch offene Türen, eignet sich diese Zone besonders für die Behaglichkeitsbetrachtung.

Die Abbildung 30 zeigt indes die Zunahme der Temperatur und der Überhitzungsstunden in den simulierten Räumen vom Jahr 2063 im Vergleich zum Jahr 2004, den beiden Medianjahren der untersuchten Perioden.

Der Medianwert der maximalen **empfundenen Temperatur** über alle Zonen liegt bei 25 °C im Jahr 2004 und steigt bis auf 28.5 °C im Jahr 2003 an, dem wärmsten Jahr der Referenzperiode „1995“. In der Periode „2060“ beträgt der Medianwert im Jahr 2063 28.6 °C und steigt entsprechend auf 30.3 °C im Jahr 2068 an. Die Temperatur in den verschiedenen Zonen schwankt zwischen 24.1 °C und 26.4 °C im Jahr 2004 und erhöht sich auf 26.9, respektive 30.5 °C im Jahr 2063, was einer Steigerung um 2.8 bis 4.1 °C bedeutet. In den extremen Jahren steigt die Temperatur von 26.8-30.2 °C (2003) auf 28.7-32.2 °C (2068) an, was einer Temperaturerhöhung um 4.6-5.8 °C gegenüber 2004 gleichkommt. Im Vergleich dazu beträgt der durchschnittliche Anstieg der jährlichen Aussentemperatur gemäss Szenario AB1 zwischen den Medianjahren 2004 und 2063 am Standort Basel 2.1 °C.

Der Medianwert der **Überhitzungsstunden** über alle Zonen liegt bei 0 im Jahr 2004. Das bedeutet, dass im Medianjahr der Referenzperiode „1995“ kaum Überhitzungsprobleme wahrgenommen werden. Im zukünftigen Medianjahr 2063 werden 40 Überhitzungsstunden registriert. In den extremen Jahren beträgt die Anzahl an Überhitzungsstunden 99 im 2003 und steigt auf 256 im 2068 an. Werden

die einzelnen Zonen betrachtet, kann notiert werden, dass die Überhitzungsstundenanzahl im 2063 zwischen 3 und 131 schwankt. Im Extremjahr 2068 wird ein Höchstwert von 491 Stunden erzielt.

Bei den **PPD**-Werten ist die Variation zwischen den beiden Perioden klein. 2068 erhöht sich dieser Wert auf ca. 8%. Zu beachten gilt es jedoch, dass in der Tabelle Mittelwerte über das ganze Jahr dargestellt werden. Es bestehen durchaus Zeiträume und Zonen, in denen der PDD-Wert viel höher ist. Im der wärmsten Zone wird beispielsweise im Jahr 2068 am wärmsten Tag ein PPD-Maximalwert von 87%, bei einem Tagesmittelwert von 57%, registriert.

	Ref. Medianjahr (2004)			Ref. wärmstes Jahr (2003)			A1B Medianjahr (2063)			A1B wärmstes Jahr (2068)		
	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD
Kühlste Zone (W1 EG Zone 5)	24.1	0	7.2%	26.8	5	7.2%	26.9	3	7.0%	28.7	110	7.5%
Median Zone (W1 2OG Zone 4)	25.0	0	6.8%	28.5	100	7.2%	28.6	40	6.9%	30.3	254	7.9%
Wärmste Zone (W1 4OG Zone 3)	26.4	0	7.0%	30.2	237	7.9%	30.5	131	7.3%	32.2	491	9.1%
Gebäude Mittelwert	24.8	0	6.9%	28.1	84	7.2%	28.2	32	6.9%	29.9	217	7.8%
Gebäude Medianwert	25.0	0	6.9%	28.5	99	7.2%	28.6	40	6.9%	30.3	256	8.0%

Tabelle 10: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Altbau geschützt“.

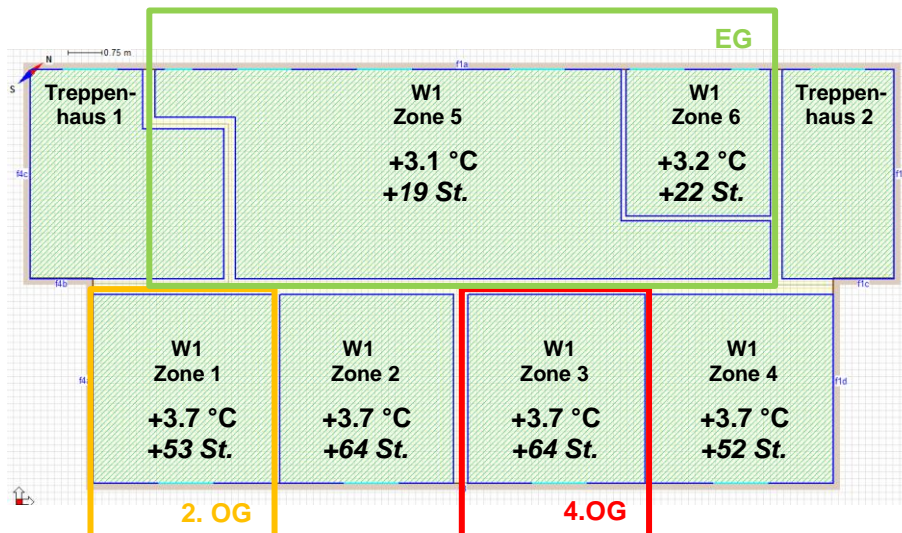


Abbildung 30: Zunahme der maximalen empfundene Temperatur (Mittelwert zwischen aller Stöcke) und Anzahl Überhitzungsstunden im A1B Medianjahr im Vergleich zum Referenz Medianjahr in den verschiedenen Zonen (unterer Grenzwert). Es sind Zonen farblich hervorgehoben, in denen besonders niedrige (grünes Rechteck), durchschnittliche (gelbes Rechteck) und hohe (rotes Rechteck) Temperaturen registriert werden.

Die empfundene Temperatur in den drei Zonen für die vier Betrachtungsjahre werden in Abbildung 31 bis Abbildung 33 in Relation zu den Grenzwerten gemäss SIA 180:2014 [12] gesetzt.

Die Temperaturen liegen im 2004 in sämtlichen Zonen innerhalb der Komfortgrenzen des unteren Grenzwerts. Im 2063 sind hingegen Überhitzungsstunden bereits in allen Zonen ersichtlich, in der kältesten Zone betragen sie allerdings nur 3 Stunden. Im warmen Jahr 2003 ist die Überschreitung des unteren Grenzwerts in allen Zonen erkennbar. Sie wird 2068 noch deutlicher.

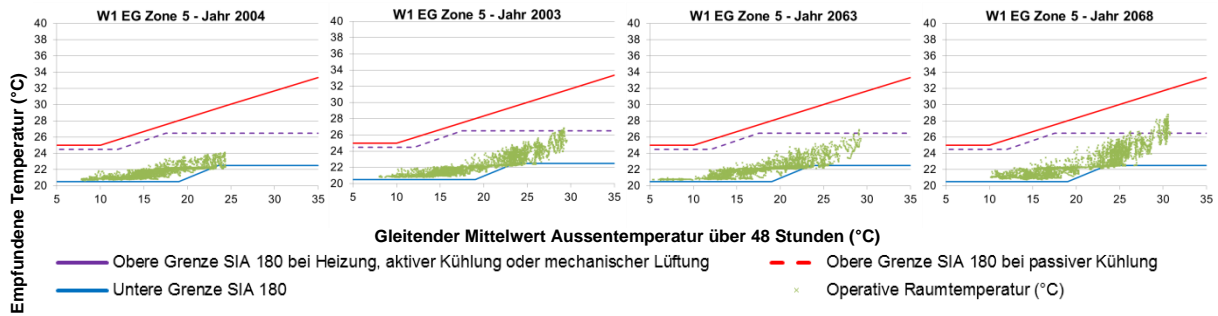


Abbildung 31: Empfundene Temperatur in der *W1 EG Zone 5* (kühlste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

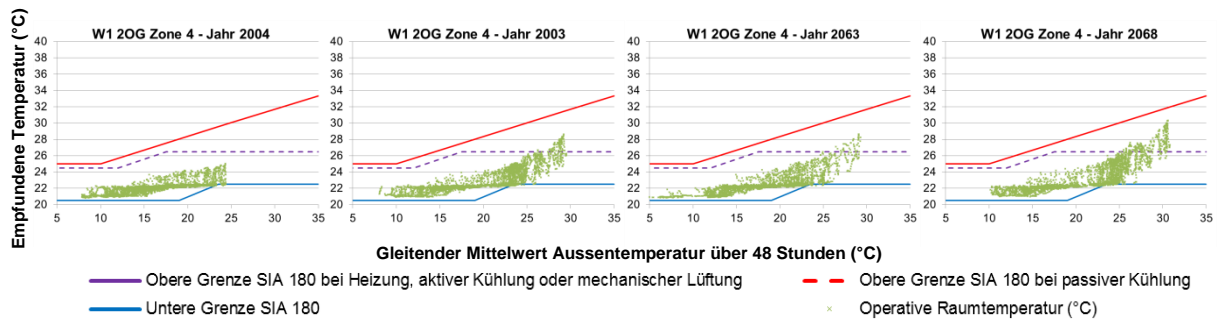


Abbildung 32: Empfundene Temperatur in der *W1 2OG Zone 4* (median Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

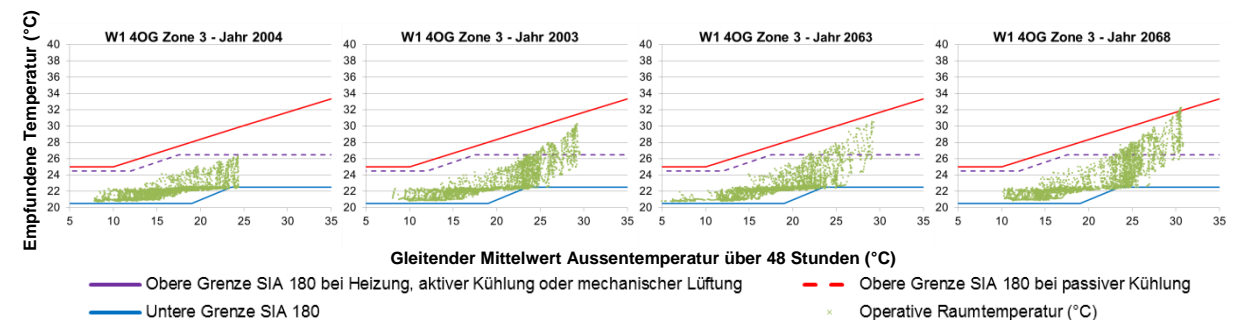


Abbildung 33: Empfundene Temperatur in der *W1 4OG Zone 3* (wärmste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.



In der vergleichsweise kühlen „W1 EG Zone 5“ bleibt die empfundene Temperatur in der Sommerperiode 2004 während mehr als 95% der Zeit unter 23 °C; 2063 sinkt die Zeitspanne auf 84%. In den extremen Jahren beträgt der analoge Wert 70% (2003) und 62% (2068). Im Jahr 2068 liegt die Temperatur während 6% der Zeit höher als 26 °C.

In der durchschnittlichen „W1 2OG Zone 4“ liegt die empfundene Temperatur 2004 während mehr als 87% und im 2063 während mehr als 76% der Zeit unter 23 °C. In den warmen 2003 und 2068 reduziert sich dieser Wert auf 62% respektive 56%. Während im 2004 kaum Temperaturen über 26 °C registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 6%, 3% und bzw. 12% der Zeit darüber.

In der warmen „W1 4OG Zone 3“ liegt die empfundene Temperatur 2004 während mehr als 86% der Zeit unter 23 °C, im 2063 beträgt der Wert 77%. In 2003 und 2068 reduziert sich der prozentuale Anteil auf 58% respektive 53%. Die Zeitspanne mit Temperaturen über 26 °C steigt im 2068 auf 23% der Sommerperiode an.

Die Abbildung 34 zeigt dementsprechend, dass nicht nur der maximale Temperaturanstieg in der jeweils betrachteten Zeitspanne und Zonen wichtig ist, sondern auch der Anteil der Zeit, während der die höheren Temperaturen erreicht werden. Werden im 2004 allgemein, das heisst im Gebäudemittelwert, während fast 88% der Sommerperiode Innentemperaturen unter 23 °C registriert, beschränkt sich der entsprechende prozentuale Anteil im 2003 auf 63%. In 2063 liegt der analoge Wert bei 78%, im 2068 beträgt er noch 57%. Im Gegenzug kann beobachtet werden, dass im 2004 durchschnittlich kaum Temperaturen über 26 °C auftreten, während im 2003 der entsprechende Mittelwert des prozentualen Anteils 5% beträgt und im 2068 auf 12% ansteigt. Der Mittelwert der empfundenen Temperatur beträgt 22.0 °C im Jahr 2004, 22.9 °C im 2003, 22.5 °C im Jahr 2063 und 23.4 °C im Jahr 2068.

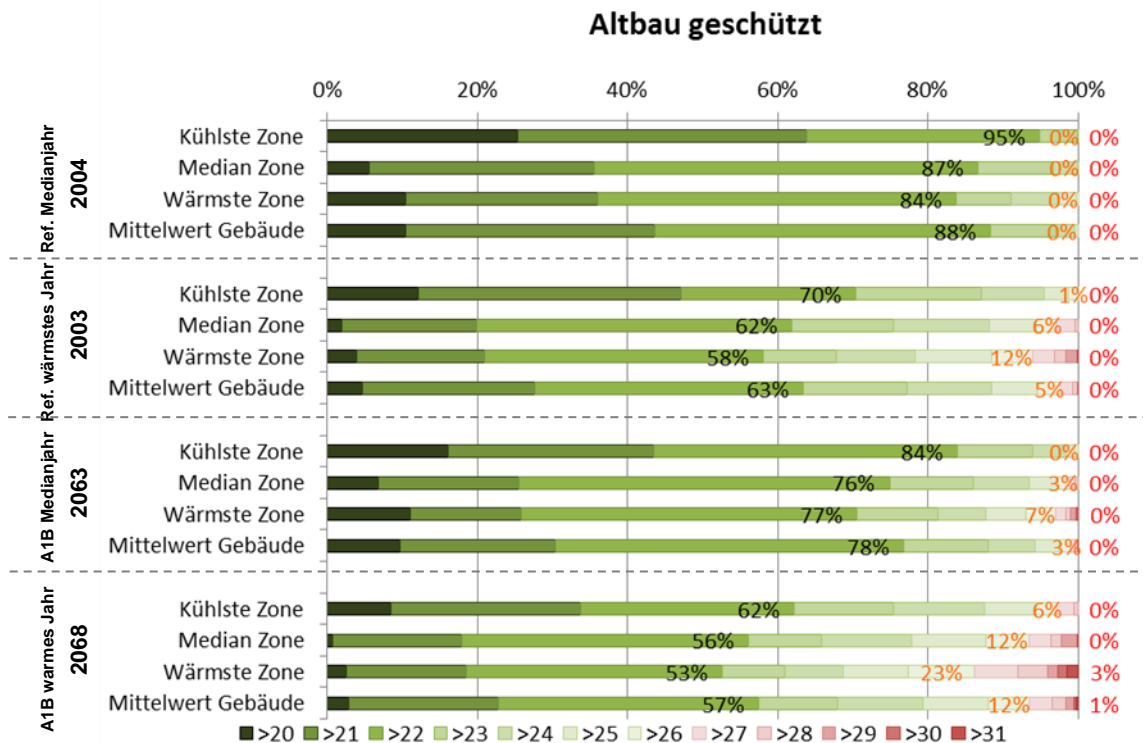


Abbildung 34: Prozentualer Zeitanteil zwischen dem 15. April und dem 16. Oktober im entsprechenden Temperaturbereich. Die schwarze Prozentzahl bezieht sich auf die Zeitspanne bei der $T_{max} < 23\text{ °C}$ ist, die orange auf derjenigen bei der $T_{max} > 26\text{ °C}$ ist, die rote auf derjenigen bei der $T_{max} > 30\text{ °C}$ ist. Dargestellt werden die Werte in ausgewählten Zonen sowie im Mittelwert des Gebäudes „Altbau geschützt“ in vier betrachteten Jahren.

5.1.3.3. Schlussfolgerungen Fallstudie „Altbau geschützt“

Vergleicht man die Referenzperiode „1995“ mit der Periode „2060“, reduziert sich der Heizwärmebedarf um 20%, von $56.0\text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $44.6\text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Klimakältebedarf erhöht sich prozentual deutlich stärker von nahezu null auf $0.5\text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dieser Wert ist im Vergleich zum Heizwärmebedarf niedrig. Der Maximalwert beträgt $4.6\text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Die mediane spezifische Heizwärmeleistung sinkt um 10% von 29.8 W/m^2 auf 26.8 W/m^2 , während die Klimakälteleistung sich deutlich von 0.5 W/m^2 auf 8.0 W/m^2 erhöht. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt demnach immer noch über das Zweifache der Klimakälteleistung. Diese erreicht im wärmsten Jahr der untersuchten Modellkette dennoch Maximalwerte um 20 W/m^2 .

Der Strombedarf für die Beleuchtung erhöht sich in sämtlichen untersuchten Modellketten nur geringfügig.

Die Komfortanalyse zeigt im Medianjahr 2063 eine deutliche Erhöhung der mittleren empfundenen Temperatur um 3.4 °C gegenüber dem Referenzmedianjahr 2004. Die Anzahl der Überhitzungsstunden nach SIA 180:2014 [12] (unterer Grenzwert) erhöht sich dabei auf 32 Stunden (im 2004r resultierte keine Überhitzung) während sich der PPD kaum verändert. In extremen Szenarien und Jahren, wie z.B. dem Jahr 2068 der Serie MPI ECHAM5, steigt die mittlere empfundene Temperatur in einer



durchschnittlichen Zone um 5.0 °C und die Anzahl Überhitzungsstunden erhöhte sich auf mehr als 250.

Die meisten Zonen des Simulationsmodells bleiben während den durchschnittlich warmen Jahren bei der Perioden und dem wärmsten Jahr der Referenzperiode innerhalb des komfortablen Temperaturbereichs. Im überdurchschnittlich warmen Jahr der Periode „2060“ wird hingegen Überhitzungsstunden in allen Zonen registriert. In den mittleren Geschossen beträgt die Anzahl der Überhitzungsstunden ungefähr 100-150 (nördlich orientierte Zonen) und 250-300 Stunden (südlich orientierte Zonen), während in südlich orientierten Zonen der oberste Etage Wert um die 350 Stunden auftreten.

5.1.4. Der „Neubau massiv“

Das ausgewählte Beispielgebäude besteht aus vier Wohngeschossen und einem Untergeschoss mit Einstellhalle. Es umfasst zwölf Wohnungen (drei pro Etage) und ist nach Minergie® zertifiziert (U-Wert Aussenwand 0.15 W/m²K, Dach 0.16 W/m²K, Boden 0.19 W/m²K). Der Wohnbau zeichnet sich zudem durch einen zeitgemässen, hohen Fensteranteil der Fassade von über 50% aus.

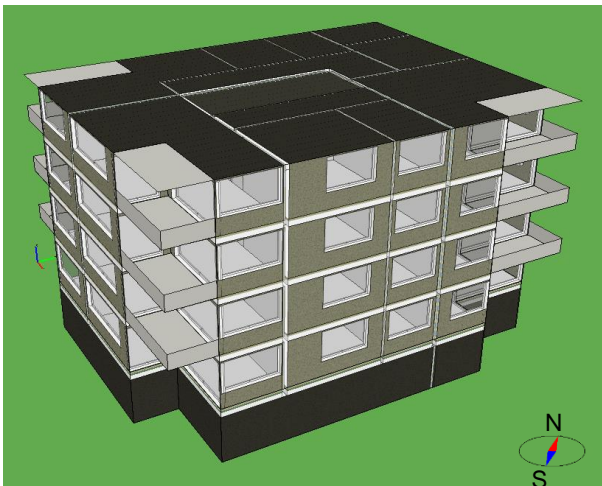


Abbildung 35: Bild des in IDA ICE aufgebauten Simulationsmodells „Neubau massiv“.

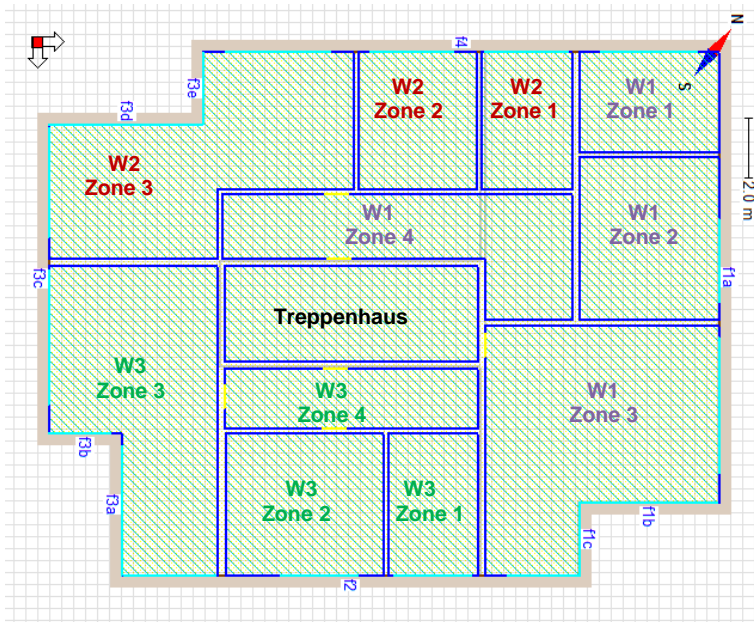


Abbildung 36: Grundriss des aufgebauten Wohngeschossmodells „Neubau massiv“ mit Zonenaufteilung.

5.1.4.1. Energiebedarf

Referenzperiode „1995“ (1980-2009)

Der mediane **Heizwärmebedarf** der untersuchten Wohnungen während der Referenzperiode „1995“ beträgt $8.6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der maximale Wert ($13.3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) wird im Jahr 1985 registriert und der minimale Wert ($5.5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) im Jahr 2000. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 11.2 W/m^2 . Der höchste Leistungswert, im Jahr 1997, liegt um 30% höher. Da werden 14.5 W/m^2 benötigt, um eine Raumtemperatur von $21 \text{ }^\circ\text{C}$ zu gewährleisten.

Beim **Klimakältebedarf** beträgt der mediane Wert $0.4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei $3.5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (im Jahr 2003) respektive $0.1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (im Jahr 1981). Die mediane Klimakälteleistung beträgt 6.8 W/m^2 , der Wert steigt jedoch im Jahr 2003 auf 14.6 W/m^2 , um eine maximale Raumtemperatur von $26 \text{ }^\circ\text{C}$ zu gewährleisten.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** beträgt $3.3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei $3.35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (im Jahr 1980), respektive $3.2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (im Jahr 2003).

Die simulierten Medianwerte für Heizung und Kühlung und liegen allesamt unterhalb der in der SIA MB 2024:2015 [10] angegebenen Zielwerte für Wohnbauten, derjenige zum Klimakältebedarf deutlich. Der Elektrizitätswert für Beleuchtung liegt zwischen Standard- und Zielwert.



	Heizwärme- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärme- leistung (W/m ²)	Klimakälte- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälte- leistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	8.6	11.2	0.4	6.8	3.3
Maximalwert	13.3	14.5	3.5	14.6	3.3
<i>(Zeitpunkt)</i>	<i>(1985)</i>	<i>(1997)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(1980)</i>
Minimalwert	5.5	8.2	0.1	4.1	3.2
<i>(Zeitpunkt)</i>	<i>(2000)</i>	<i>(1984)</i>	<i>(1981)</i>	<i>(1981)</i>	<i>(2003)</i>
<i>SIA MB 2024</i>	<i>11.2</i>	<i>13.5</i>	<i>6.5</i>	<i>10.0</i>	<i>4.0¹</i>

¹ Standardwert statt Zielwert (2.0 kWh/m²a) zum Vergleich herangezogen, da die Simulationen mit einer „Standardbeleuchtung“ hinsichtlich der elektrischen Leistung und der Lichtausbeute der Raumbelichtung durchgeführt wurden.

Tabelle 11: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Referenzperiode „1995“ für die Fallstudie „Neubau massiv“. Vergleichshalber werden die entsprechenden Zielwerte für Wohnbauten gemäss SIA MB 2024:2015 [10] dargestellt.

Periode „2060“ (2045-2074), Szenario A1B

Der mediane **Heizwärmebedarf** der Periode „2060“ beträgt 5.8 kWh/m²a. Der maximale und der minimale Wert liegen bei 10.3 kWh/m²a respektive 3.4 kWh/m²a. Gegenüber der Referenzperiode „1995“ liegt jeweils eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von etwa 30% vor. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 9.4 W/m² (15% tiefer als in der Referenzperiode) und der Maximalwert aber 14.3 kWh/m²a (4% tiefer als in der Referenzperiode).

Der mediane **Klimakältebedarf** beträgt 3.0 kWh/m²a, was im Vergleich zur Referenzperiode einer Erhöhung um 700% entspricht. Der Maximalwert liegt bei 11.9 kWh/m²a, was eine Steigerung von mehr als 200% bedeute. Die mediane Klimakälteleistung beträgt 17.8 W/m², was ebenfalls einer Steigerung von mehr als 150% entspricht. Der Wert stieg jedoch im 2068 gar auf 22.2 W/m² an (fast 50% höher als in der Referenzperiode). Es ist bemerkenswert, dass die zukünftige Klimakälteleistung fast die doppelte Heizwärmeleistung wird.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** in der Periode „2060“ beträgt 3.3 kWh/m²a. Der Maximal- sowie der Minimalwert liegen nur unwesentlich über- respektive unterhalb des Median, sie kaum variiert in Bezug auf die Referenzperiode.

Der mediane Wert für Heizwärmebedarf liegt nun im Vergleich zum SIA MB 2024:2015 [10] Wert deutlich tiefer. Derjenige für Klimakältebedarf nähert sich hingegen dem Zielwert an. Die Maximalwerte der Kälte (Energiebedarf und Leistung) sind nun bereits doppelt so hoch wie der Zielwert. Auffallend ist, dass der minimale Wert der Klimakälteleistung ebenfalls höher als der Zielwert der Norm ist.



	Heizwärme- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärme- leistung (W/m ²)	Klimakälte- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälte- leistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	5.8	9.4	3.0	17.8	3.3
<i>Veränderung zur Referenzperiode</i>	-32%	-15%	+703%	+162%	+0.1%
Maximalwert	10.3	14.3	11.9	22.2	3.4
<i>Veränderung zur Referenzperiode</i>	-23%	-4%	+238%	+52%	+0.2%
Minimalwert	3.4	6.9	1.2	12.6	3.2
<i>Veränderung zur Referenzperiode</i>	-39%	-16%	+968%	+209%	+0.2%

Tabelle 12: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Periode „2060“ für die Fallstudie „Neubau massiv“. Angegeben werden jeweils Medianwert aus den 10 Modellketten sowie der Median aus den Maximal- respektive Minimalwerten der 10 Modellketten und die entsprechende Veränderung im Vergleich zur Referenzperiode „1995“.

Vergleich der periodenspezifischen Ergebnisse

Die Abbildung 37 verdeutlicht die Relevanz der Veränderung des Heizwärmebedarfs der Periode 2045-2074 gegenüber der Referenzperiode 1980-2009. Die Reduktion beträgt ca. 30%. In der Abbildung 38 ist der Klimakältebedarf dargestellt. Dieser steigt bedeutend an und ist in der Periode 2045-2074 rund 10 Mal höher als in der Periode 1980-2009. Der absolute Medianwert des Klimakältebedarfs liegt aber immer noch rund drei Mal tiefer als derjenige des Heizwärmebedarfs. In der Modellkette METO HadCM3Q3 beträgt der Maximalwert des Klimakältebedarfs dennoch bereits bedeutende 14.7 kWh/m²a. Wie in der Fallstudie „Altbau Standard“ ist die Variabilität der Beleuchtungswerte in den verschiedenen Modellketten sehr klein und die Steigerung der Periode 2045-2074 gegenüber der Referenzperiode 1980-2009 mit 0.1% unbedeutend.

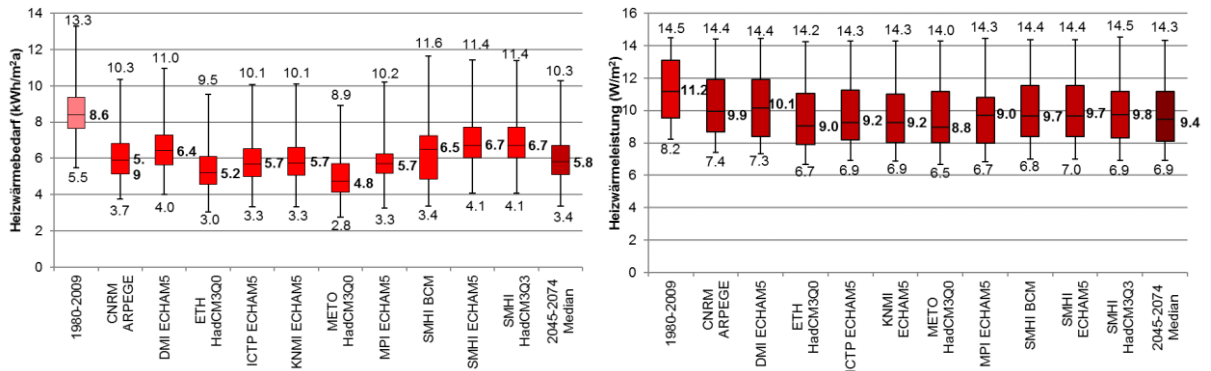


Abbildung 37: Vergleich des Heizwärmebedarfs (Bild links) und der spezifischen Heizwärmeleistung (Bild rechts) der Periode 1980-2009, der 10 Modellketten für die Periode 2045-2074 und des Medianwerts der 10 Modellketten für die Fallstudie „Neubau massiv“.

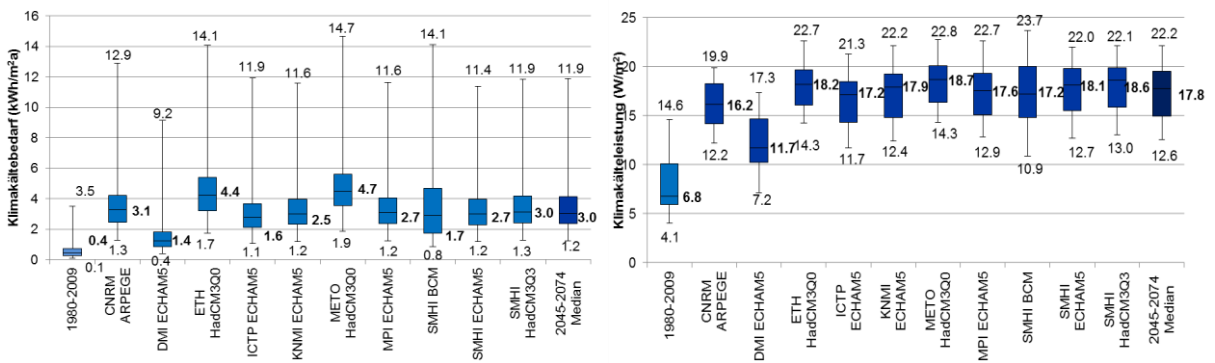


Abbildung 38: Vergleich des Klimakältebedarfs (Bild links) und der spezifischen Klimakälteleistung (Bild rechts) der Periode 1980-2009, der 10 Modellketten für die Periode 2045-2074 und des Medianwerts der 10 Modellketten für die Fallstudie „Neubau massiv“.

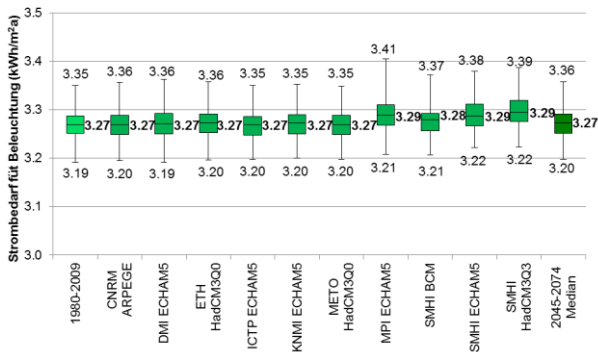


Abbildung 39: Vergleich des Strombedarfs für Beleuchtung (Bild links) und der spezifische Leistung (Bild rechts) der Periode 1980-2009, der 10 Modellketten für die Periode 2045-2074 und des Medianwerts der 10 Modellketten für die Fallstudie „Neubau massiv“.

5.1.4.2. Thermische Behaglichkeit

Die Tabelle 13 stellt einen Überblick der maximalen *empfundenern Temperaturen*, der jährlichen *Anzahl Überhitzungsstunden* sowie des *Predicted Percentage of Dissatisfied PPD* für die vier untersuchten Jahren in ausgewählten Zonen des Gebäudes dar:

Die Zone im Gebäude, in der die höchsten Temperaturen auftreten, ist *W3 3OG Zone 3*. Es handelt sich dabei um das südöstlich orientierte Wohnzimmer der Eckwohnung 3 in der dritten und obersten Etage. Die in der Regel tiefsten Temperaturen werden in der *W2 EG Zone 2* registriert, ein nach Norden orientierte Erdgeschosszimmer der Wohnung 2. Die *W1 2OG Zone 1*, ein nordwestlich orientiertes Eckzimmer in der zweiten Etage der Wohnung 2, repräsentiert hingegen die Zone, in der mediane Werte für das Gebäude auftreten. Geht man davon aus, dass innerhalb der Wohnung üblicherweise ein Luftaustausch stattfinden, z.B. durch offene Türen, eignet sich diese Zone besonders für die Behaglichkeitsbetrachtung.

Die Abbildung 40 zeigt die Zunahme der Temperatur und der Überhitzungsstunden in den simulierten Räumen vom Jahr 2063 im Vergleich zum Jahr 2004, den beiden Medianjahren der untersuchten Perioden.

Der Medianwert der maximalen **empfundenern Temperatur** über alle Zonen liegt bei 26.2 °C im 2004 und steigt bis auf 31.2 °C im 2003 an, dem wärmsten Jahr der Referenzperiode „1995“. In der Periode „2060“ beträgt der Medianwert im 2063 29.5 °C und steigt entsprechend auf 33.2 °C im 2068 an. Die Temperatur in den verschiedenen Zonen schwankt zwischen 25.6 °C und 28.5 °C im 2004 und erhöht sich auf 27.6, respektive 33.1 °C im 2063, was einer Steigerung um 2 bis 4.6 °C bedeutet. In den extremen Jahren steigt die Temperatur von 29.5-33.7 °C (2003) auf 31.0-36.8 °C (2068) an, was einer Temperaturerhöhung um 5.4-8.3 °C gegenüber 2004leichtkommt. Der durchschnittliche Anstieg der jährlichen Aussentemperatur gemäss Szenario AB1 beträgt zwischen den Medianjahren 2004 und 2063 am Standort Basel – im Vergleich dazu – 2.1 °C.

Der Medianwert der **Überhitzungsstunden** über alle Zonen liegt bei 0 im 2004. Das bedeutet, dass im Medianjahr der Referenzperiode „1995“ kaum Überhitzungsprobleme wahrgenommen werden. Im zukünftigen Medianjahr 2063 werden 136 Überhitzungsstunden registriert. In den extremen Jahren beträgt die Anzahl an Überhitzungsstunden 539 im 2003 und steigt auf 1017 im 2068 an. Werden die einzelnen Zonen betrachtet, kann notiert werden, dass die Überhitzungsstundenanzahl im 2063 zwischen 34 und 466 schwankt. Im Extremjahr 2068 wird ein Höchstwert von 1346 Stunden erzielt.

Bei den **PPD**-Werten ist die Variation zwischen den beiden Perioden ersichtlich. Beträgt der Wert in den Medianjahren noch weniger als 7%, erhöht er sich im 2068 auf über 10%. Zu beachten gilt es, dass in der Tabelle Mittelwerte über das ganze Jahr dargestellt werden. Es bestehen Zeiträume und Zonen, in denen der der PDD-Wert viel höher ist. Im der wärmsten Zone wird beispielsweise im Jahr 2068 am wärmsten Tag ein PPD-Maximalwert von nahezu 100%, bei einem Tagesmittelwert von 88%, registriert.



	Ref. Medianjahr (2004)			Ref. wärmstes Jahr (2003)			A1B Medianjahr (2063)			A1B wärmstes Jahr (2068)		
	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD
Kühlste Zone (W2 EG Zone 2)	25.6	0	6.2%	29.5	345	7.4%	27.6	34	6.0%	31.0	763	8.5%
Mediane Zone (W1 2OG Zone 1)	26.2	0	6.7%	30.7	576	8.6%	29.1	134	6.8%	32.4	997	10.4%
Wärmste Zone (W3 3OG Zone 3)	28.5	107	6.8%	33.7	1017	10.3%	33.1	466	8.1%	36.8	1346	14.5%
Gebäude Mittelwert	26.9	47	6.3%	31.5	667	8.5%	30.2	253	6.8%	33.8	1054	11.2%
Gebäude Medianwert	26.2	0	6.3%	31.2	539	8.2%	29.5	136	6.6%	33.2	1017	10.2%

Tabelle 13: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Neubau massiv“.

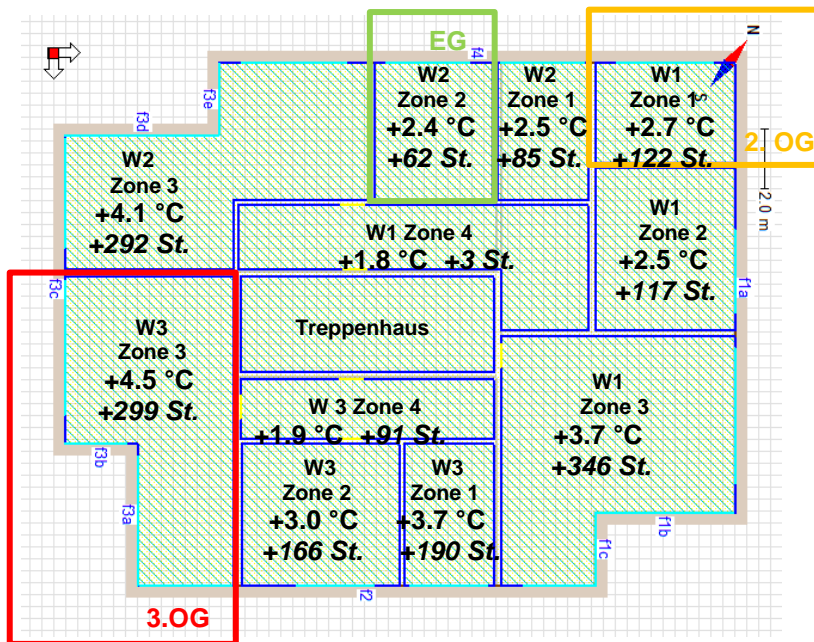


Abbildung 40: Zunahme der maximalen empfundene Temperatur (Mittelwert zwischen EG und 1. OG) und Anzahl Überhitzungsstunden im Medianjahr 2063 im Vergleich zum Referenzmedianjahr 2004 in den verschiedenen Zonen. Es sind Zonen farblich hervorgehoben, in denen besonders niedrige (grünes Rechteck), durchschnittliche (gelbes Rechteck) und hohe (rotes Rechteck) Temperaturen registriert werden.

Die empfundene Temperatur in den drei Zonen für die vier Betrachtungsjahre werden in Abbildung 41 bis Abbildung 43 in Relation zu den Grenzwerten gemäss SIA 180:2014 [12] gesetzt.

Die Temperaturen liegen im 2004 in zwei der drei Zonen innerhalb der Komfortgrenzen des unteren Grenzwerts. Im 2063 sind hingegen Überhitzungsstunden bereits in allen Zonen ersichtlich, in der kühleren Zone betragen sie allerdings 34 Stunden. Im wärmeren 2003 ist die Überschreitung des unteren Grenzwerts in allen Zonen erkennbar. Sie wird im 2068 noch deutlicher: in der wärmsten Zone



wird die zulässige empfundene Temperatur während 1346 Stunden überschritten, aber auch die kühlsste Zone weist 763 Überhitzungsstunden auf.

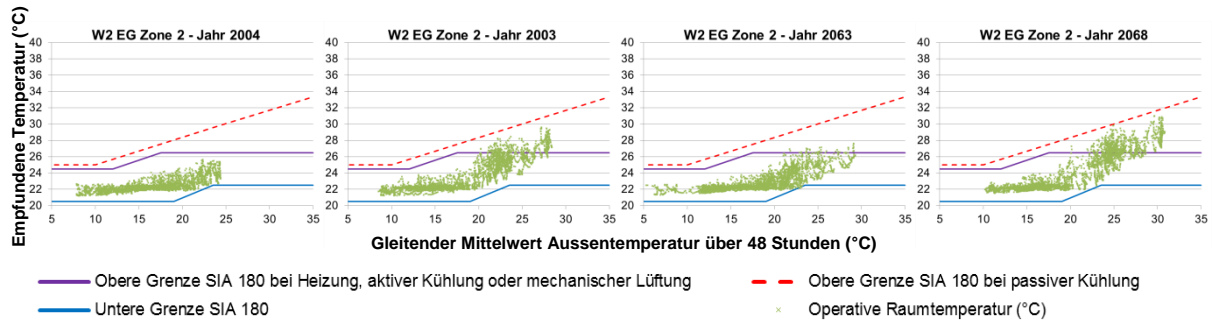


Abbildung 41: Empfundene Temperatur in der *W2 EG Zone 2* (kühlsste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [3] dar.

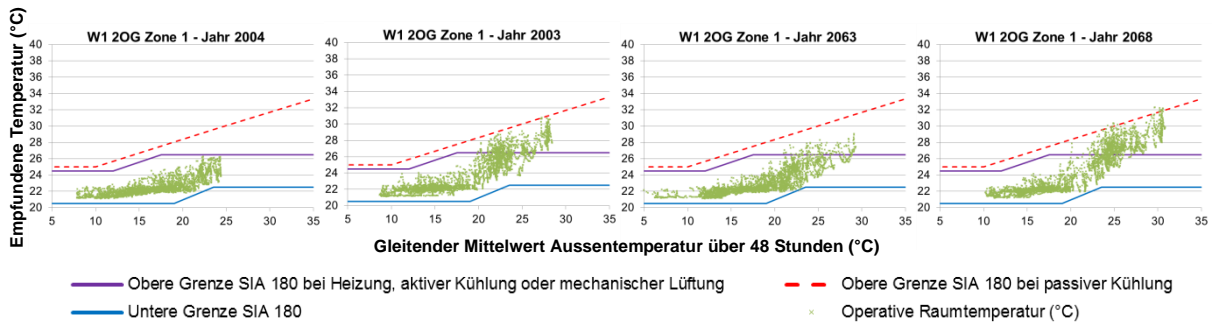


Abbildung 42: Empfundene Temperatur in der *W1 2OG Zone 1* (median Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

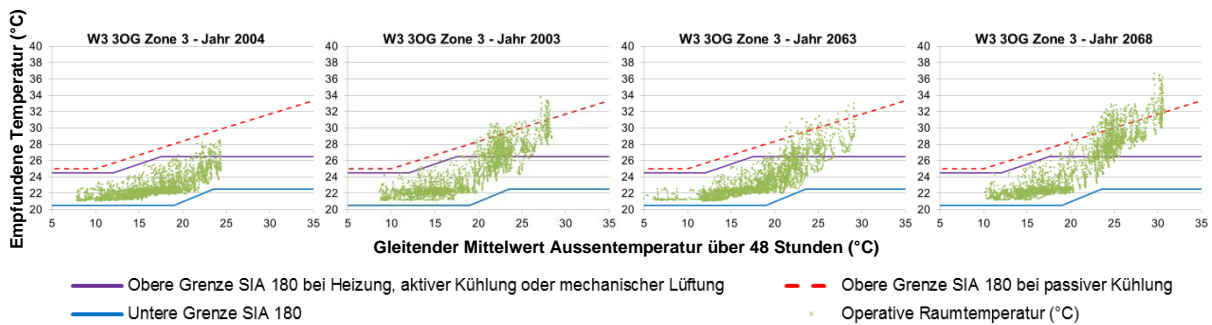


Abbildung 43: Empfundene Temperatur in der *W3 3OG Zone 3* (wärmste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

In der vergleichsweise kühlen „*W2 EG Zone 2*“ bleibt die empfundene Temperatur in der Sommerperiode 2004 während mehr als 76% der Zeit unter 23 °C; 2063 sinkt die Zeitspanne auf 62%. In den extremen Jahren beträgt der analoge Wert noch 48% (2003) und 45% (2068). Während 2004 kaum Temperaturen über 26 °C registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 6%, 25% bzw. 36% der Zeit darüber. 2068 liegt die Temperatur während 3% der Zeit über 30 °C.



In der durchschnittlichen „W1 2OG Zone 1“ liegt die empfundene Temperatur 2004 während mehr als 70% und 2063 während mehr als 51% der Zeit unter 23 °C. In den warmen Jahren 2003 und 2068 reduziert sich dieser Wert auf 44% respektive 39%. Während 2004 nur 3% der Zeit Temperaturen über 26 °C registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 16%, 33% bzw. 44% der Zeit darüber. 2068 liegt die Temperatur während 12% der Zeit über 30 °C.

In der warmen „W3 3OG Zone 3“ liegt die empfundene Temperatur im 2004 während mehr als 66% der Zeit unter 23 °C, im 2063 beträgt der Wert 48%. In 2003 und 2068 reduziert sich der prozentuale Anteil auf 41% respektive 46%. Während im 2004 6% der Zeit Temperaturen über 26 °C registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 36%, 20% und bzw. 46% der Zeit darüber. Die Zeitspanne mit Temperaturen über 30 °C steigt im 2068 auf 17% der Sommerperiode an.

Die Abbildung 44 zeigt dementsprechend, dass nicht nur der maximale Temperaturanstieg in der jeweils betrachteten Zeitspanne und Zonen wichtig ist, sondern auch der Anteil der Zeit, während der die höheren Temperaturen erreicht werden. Werden im 2004 allgemein, das heisst im Gebäudemittelwert, während fast 71% der Sommerperiode Innentemperaturen unter 23 °C registriert, beschränkt sich der entsprechende prozentuale Anteil im 2003 auf 54%. In 2063 liegt der analoge Wert bei 44%, im 2068 beträgt er noch 30%. Im Gegenzug kann beobachtet werden, dass im 2004 3% der Zeit die Temperaturen über 26 °C auftreten, während im 2003 der entsprechende Mittelwert des prozentualen Anteils 30% beträgt und im 2068 auf 41% ansteigt. Während im 2004 kaum Temperaturen über 30 °C registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 1%, 2% und bzw. 10% der Zeit darüber. Der Mittelwert der empfundenen Temperatur beträgt 22.8 °C im 2004, 24.5 °C im 2003, 23.6 °C im 2063 und 25.3 °C im 2068.

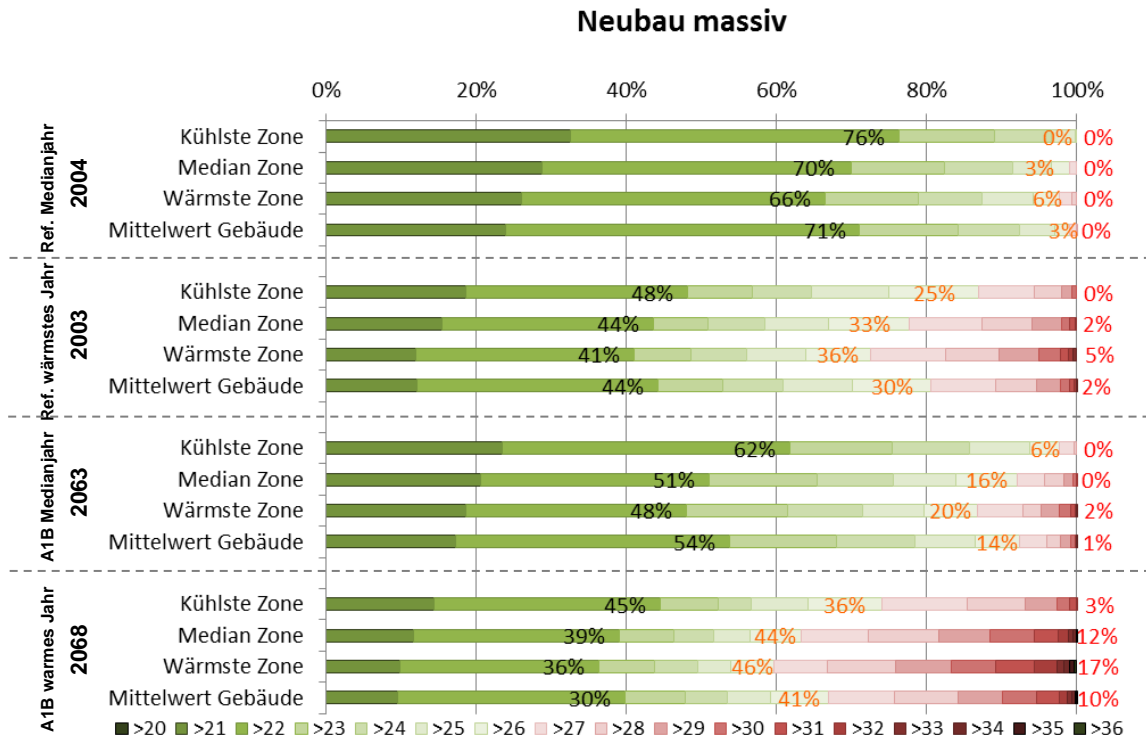


Abbildung 44: Prozentualer Zeitanteil zwischen dem 15. April und dem 16. Oktober im entsprechenden Temperaturbereich. Die schwarze Prozentzahl bezieht sich auf die Zeitspanne bei der Tmax < 23 °C ist, die orange auf



derjenigen bei der $T_{max} > 26 \text{ °C}$ ist, die rote auf derjenigen bei der $T_{max} > 30 \text{ °C}$ ist. Dargestellt werden die Werte in ausgewählten Zonen sowie im Mittelwert des Gebäudes „Neubau massiv“ in vier betrachteten Jahren.

5.1.4.3. Schlussfolgerungen Fallstudie „Neubau massiv“

Vergleicht man die Referenzperiode „1995“ mit der Periode „2060“, reduziert sich der Heizwärmebedarf um 30% von $14.4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $8.3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Klimakältebedarf erhöht sich um 600% von $0.4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $3.0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Klimakältebedarf beträgt demnach etwa ein Drittel des Heizwärmebedarfs. Der Median der Klimakältebedarf-Maximalwerte beträgt jedoch in durchschnittlich warmen Jahren bereits $11.9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und in extrem warmen Jahren gar $14.7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. In solchen Jahren ist der Klimakältebedarf höher als der Heizwärmebedarf.

Die mediane spezifische Heizwärmeleistung sinkt um 15% von 11.2 W/m^2 auf 9.4 W/m^2 , während sich die Klimakälteleistung deutlich um nahezu 250% von 7.1 W/m^2 auf 17.8 W/m^2 erhöht. Die Klimakälteleistung beträgt somit fast doppelt so viel wie die Heizwärmeleistung. Sie erreicht in verschiedenen Modellketten gar einen Maximalwert von fast 24 W/m^2 .

Der Strombedarf für die Beleuchtung erhöht sich in sämtlichen untersuchten Modellketten nur geringfügig.

Die Komfortanalyse zeigt im Medianjahr 2063 eine deutliche Erhöhung der mittleren empfundenen Temperatur um 3.3 °C gegenüber dem Referenzmedianjahr 2004. Der Mittelwert der Anzahl der Überhitzungsstunden nach SIA 180:2014 [12] erhöht sich von 47 auf mehr als 250 Stunden während sich der PPD kaum verändert. In extremen Szenarien und Jahren, wie z.B. dem Jahr 2068 der Serie MPI ECHAM5, steigt die mittlere Temperatur in einer durchschnittlichen Zone um 6.9 °C und die Anzahl der Überhitzungsstunden erhöht sich auf 1'054. Dabei liegt der Medianwert der PPD in einigen Zonen über 11%.

5.1.5. Der „Neubau hybrid“

Das untersuchte Gebäude „Neubau hybrid“ besitzt zwei Haupteingänge für jeweils neun Wohnungen (vier im Erdgeschoss, sechs im 1. und 2. Geschoss und zwei in der Attika). Im Untergeschoss (teilweise im Erdreich) befinden sich die Garagen, Waschräume und Lagerräume. Der lineare Wohnneubau ist nach Minergie-P® zertifiziert (U-Wert Aussenwand $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, Dach $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$, Boden $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$) und weist einen Fensteranteil der Fassade von über 40% auf.

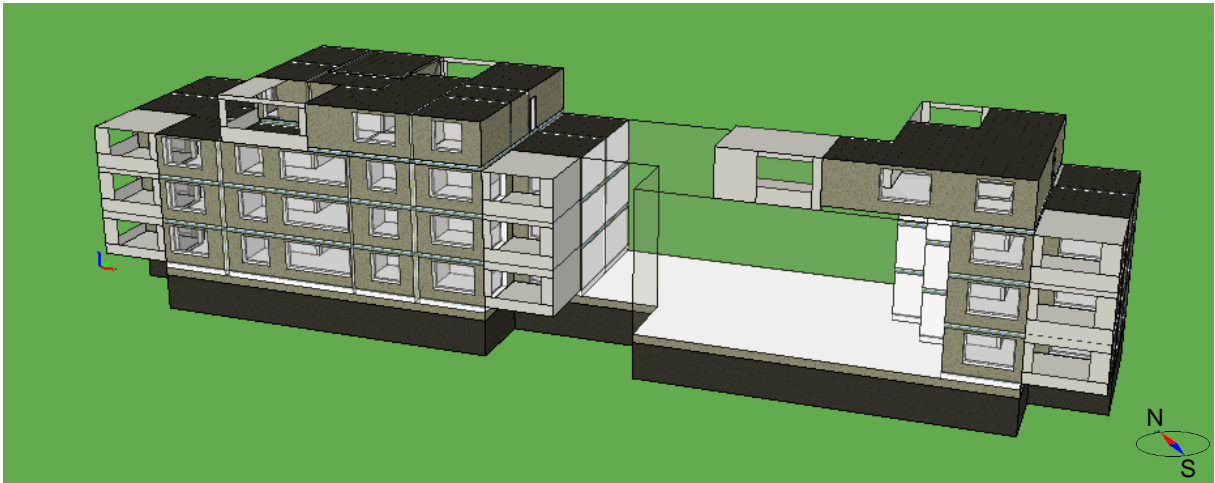


Abbildung 45: Bild des in IDA ICE aufgebauten Simulationsmodells „Neubau hybrid“.

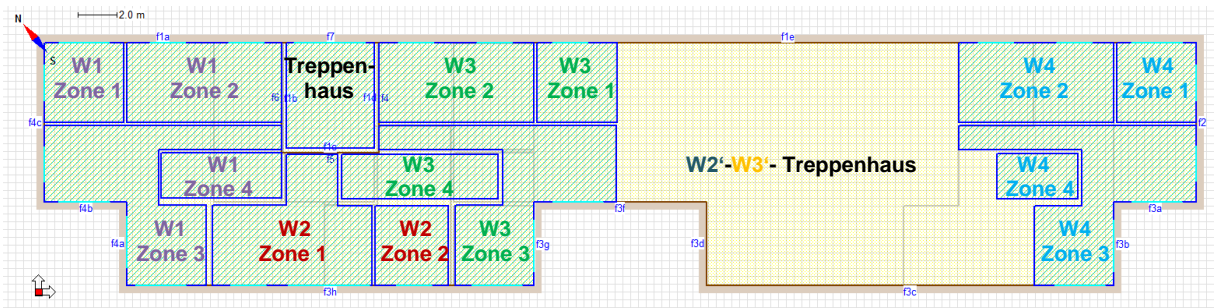


Abbildung 46: Grundriss des Gebäudes in IDA ICE aufgebauten Wohngeschossmodells „Neubau hybrid“ mit Zonenaufteilung.

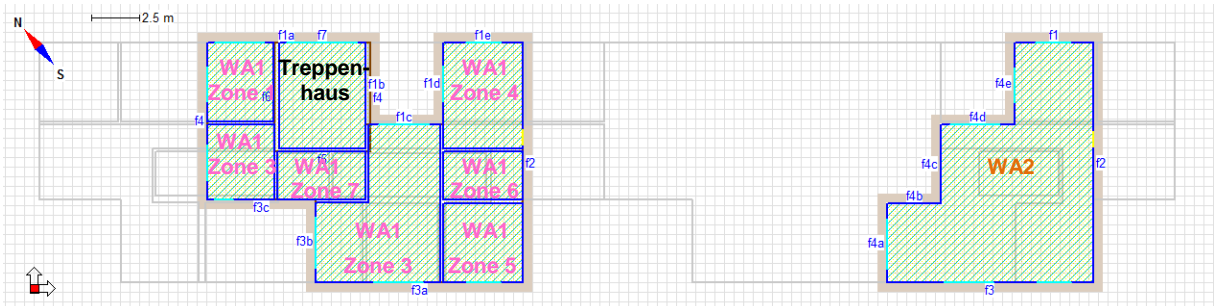


Abbildung 47: Grundriss der Attika des Gebäudes in IDA ICE aufgebauten Wohngeschossmodells „Neubau hybrid“ mit Zonenaufteilung.



5.1.5.2. Energiebedarf

Referenzperiode „1995“ (1980-2009)

Der mediane **Heizwärmebedarf** der untersuchten Wohnungen während der Referenzperiode „1995“ beträgt 12.0 kWh/m²a. Der maximale Wert (17.3 kWh/m²a) wird im Jahr 1985 registriert und der minimale Wert (8.6 kWh/m²a) im Jahr 2000. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 13.0 W/m². Der höchste Leistungswert, im Jahr 1987, liegt um 70% höher. Da werden 21.9 W/m² benötigt, um eine Raumtemperatur von 21 °C zu gewährleisten.

Beim **Klimakältebedarf** beträgt der mediane Wert 0.9 kWh/m²a. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei 4.1 kWh/m²a (im Jahr 2003) respektive 0.2 kWh/m²a (im Jahr 1981). Die mediane Klimakälteleistung beträgt 11.2 W/m², der Wert steigt jedoch im Jahr 2003 auf 17.9 W/m², um eine maximale Raumtemperatur von 26 °C zu gewährleisten.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** beträgt 2.9 kWh/m²a. Der maximale, bzw. der minimale Wert liegen bei 3.1 kWh/m²a (im Jahr 1987), respektive 2.8 kWh/m²a (im Jahr 2003). Die Variation ist sehr klein aufgrund der großen Größe der Fenster, denn obwohl die Sonnenstrahlung und mit Sonnenschutz -Systemdateien in Klima variieren, groß genug, um die Fenstergröße ist so, dass die Strahlung in allen Fällen erhalten.

Die simulierten Medianwerte der Heizung liegen etwa im Bereich der in der SIA MB 2024:2015 [10] angegebenen Zielwerte für Wohnbauten, derjenige für den Klimakältebedarf liegt hingegen deutlich darunter. Die mediane Klimakälteleistung ist allerdings höher. Der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung liegt zwischen Standard- und Medianwert des Merkblatts.

	Heizwärme- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärme- leistung (W/m ²)	Klimakälte- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälte- leistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	12.0	13.0	0.9	11.2	2.9
Maximalwert	17.3	21.9	4.1	17.9	3.1
<i>(Zeitpunkt)</i>	<i>(1985)</i>	<i>(1987)</i>	<i>(2003)</i>	<i>(2002)</i>	<i>(1987)</i>
Minimalwert	8.6	9.2	0.2	4.9	2.8
<i>(Zeitpunkt)</i>	<i>(2000)</i>	<i>(1990)</i>	<i>(1981)</i>	<i>(1981)</i>	<i>(2003)</i>
<i>SIA MB 2024</i>	<i>11.2</i>	<i>13.5</i>	<i>6.5</i>	<i>10.0</i>	<i>4.0¹</i>

¹ Standardwert statt Zielwert (2.0 kWh/m²a) zum Vergleich herangezogen, da die Simulationen mit einer „Standardbeleuchtung“ hinsichtlich der elektrischen Leistung und der Lichtausbeute der Raumbelichtung durchgeführt wurden.

Tabelle 14: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Referenzperiode „1995“ für die Fallstudie „Neubau hybrid“. Vergleichshalber werden die entsprechenden Zielwerte für Wohnbauten gemäss SIA MB 2024:2015 [10] dargestellt.

Periode „2060“ (2045-2074), Szenario A1B

Der Energiebedarf für die Periode 2045-2074 wurde, wie im bisherigen Fall, mit den Modellkette MPI ECHAM5 kalkuliert.



Der mediane **Heizwärmebedarf** der Periode „2060“ beträgt 8.6 kWh/m²a. Der maximale und der minimale Wert liegen bei 13.3 kWh/m²a respektive 5.7 kWh/m²a. Gegenüber der Referenzperiode „1995“ liegt jeweils eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von etwa 30% vor. Die mediane Heizwärmeleistung beträgt 11.3 W/m² (13% tiefer als in der Referenzperiode) und der Maximalwert 20.1 kWh/m²a (8% tiefer als in der Referenzperiode).

Der mediane **Klimakältebedarf** beträgt 3.9 kWh/m²a, was im Vergleich zur Referenzperiode einer Erhöhung um fast 350% entspricht. Der Maximalwert liegt bei 11.8 kWh/m²a, was wiederum eine Steigerung von fast 200% bedeutet. Die mediane Klimakälteleistung beträgt 22.8 W/m², was ebenfalls einer Steigerung von ca. 100% entspricht. Der Wert stieg jedoch im 2068 gar auf 27.9 W/m² an.

Der mediane **Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung** in der Periode „2060“ beträgt 2.9 kWh/m²a. Der maximale und minimale Wert liegen bei 3.1 kWh/m²a respektive 2.8 kWh/m²a. Die Veränderung der Beleuchtungswerte ist im Vergleich zur Referenzperiode vernachlässigbar klein.

Der mediane Wert des Heizwärmebedarfs liegt nun im Vergleich zum SIA MB 2024:2015 [10] Wert ebenfalls tiefer, derjenige des Klimakältebedarfs beträgt etwas mehr als die Hälfte des Zielwerts. Auffallend ist, dass die mediane Klimakälteleistung auf mehr als das Doppelte des entsprechenden Zielwerts ansteigt.

	Heizwärme- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Heizwärme- leistung (W/m ²)	Klimakälte- bedarf (kWh/m ² a)	spez. Klimakälte- leistung (W/m ²)	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung (kWh/m ² a)
Median	8.6	11.3	3.9	22.8	2.9
<i>Veränderung zu Referenzperiode</i>	-29%	-13%	+348%	+103%	+2%
Maximalwert	13.3	20.1	11.8	27.9	3.1
<i>Veränderung zu Referenzperiode</i>	-23%	-8%	+190%	+56%	+0%
Minimalwert	5.7	8.3	1.8	17.0	2.8
<i>Veränderung zu Referenzperiode</i>	-33%	-10%	+659%	+244%	+1%

Tabelle 15: Energiebedarf sowie Leistung für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in der Periode „2060“ für die Fallstudie „Neubau hybrid“. Angegeben werden jeweils Median-, Maximal- sowie Minimalwerte der Modellkette MPI ECHAM (stimmt annähernd mit einer medianen der 10 untersuchten Modellketten überein) und die entsprechende Veränderung im Vergleich zur Referenzperiode „1995“.

5.1.5.3. Thermische Behaglichkeit

Die Tabelle 16 stellt einen Überblick der maximalen *empfundener Temperaturen*, der jährlichen *Anzahl Überhitzungsstunden* sowie des *Predicted Percentage of Dissatisfied PPD* für die vier untersuchten Jahren in ausgewählten Zonen des Gebäudes dar:

Die Zone im Gebäude, in der die höchsten Temperaturen auftreten, ist *W4 2OG Zone 1*. Es handelt sich dabei um ein nach südwesten-nordosten orientiertes Zimmer in der Ecke der Wohnung 4 des zweiten Geschosses. Die in der Regel tiefsten Temperaturen werden in der *W3 EG Zone 1* registriert, ein grosses nordosten orientiertes Erdgeschosswohnzimmer der Wohnung 3. Die *W3 2OG Zone 3*, ein südwesten orientiertes Wohnzimmer in der zweiten Etage, repräsentiert hingegen die Zone, in der mediane Werte für das Gebäude auftreten. Geht man davon aus, dass innerhalb der Wohnung üblicherweise ein Luftaustausch stattfinden, z.B. durch offene Türen, eignet sich diese Zone besonders für die Behaglichkeitsbetrachtung.

Eine Darstellung der Werte für sämtliche Gebäudezonen findet sich im Anhang 8.4 „Umfassende Simulationsergebnisse – Phase I“,. Die Abbildung 48 und Abbildung 49 zeigen indes die Zunahme der Temperatur und der Überhitzungsstunden in den simulierten Räumen vom Jahr 2063 im Vergleich zum Jahr 2004, den beiden Medianjahren der untersuchten Perioden.

Der Medianwert der maximalen **empfundenen Temperatur** über alle Zonen liegt bei 27.9 °C im 2004 und steigt bis auf 32.6 °C im 2003 an, dem wärmsten Jahr der Referenzperiode „1995“. In der Periode „2060“ beträgt der Medianwert im 2063 32.5 °C und steigt entsprechend auf 34.7 °C im 2068 an. Die Temperatur in den verschiedenen Zonen schwankt zwischen 27.4 °C und 30.5 °C im 2004 und erhöht sich auf 31.3, respektive 35.6 °C im 2063, was einer Steigerung um 3.9 bis 5.1 °C bedeutet. In den extremen Jahren steigt die Temperatur von 31.7-35.3 °C (2003) auf 33.1-37.9 °C (2068) an, was einer Temperaturerhöhung um 6.3-7.4 °C gegenüber 2004 gleichkommt. Der durchschnittliche Anstieg der jährlichen Aussentemperatur gemäss Szenario AB1 beträgt zwischen den Medianjahren 2004 und 2063 am Standort Basel – im Vergleich dazu – 2.1 °C.

Der Medianwert der **Überhitzungsstunden** über alle Zonen liegt bei 47 im 2004. Das bedeutet, dass im Medianjahr der Referenzperiode „1995“ kaum Überhitzungsprobleme wahrgenommen werden. Im zukünftigen Medianjahr 2063 werden 304 Überhitzungsstunden registriert. In den extremen Jahren beträgt die Anzahl an Überhitzungsstunden 679 im 2003 und steigt auf 1020 im 2068 an. Werden die einzelnen Zonen betrachtet, kann notiert werden, dass die Überhitzungsstundenanzahl im 2063 zwischen 246 und 641 schwankt. Im Extremjahr 2068 wird ein Höchstwert von 1382 Stunden erzielt.

Bei den **PPD**-Werten ist die Variation zwischen den beiden Perioden klein. Zu beachten gilt es jedoch, dass in der Tabelle Mittelwerte über das ganze Jahr dargestellt werden. Trotzdem im 2068 gibt Zonen mit bestimmten Zeiträume, wenn dieser Wert höher als 14% mit 16% in der wärmsten Zone, was einer Erhöhung des Anteils unzufriedener Personen gleichkommt.

Bei den **PPD**-Werten ist die Variation zwischen den beiden Perioden ersichtlich. Beträgt der Wert in den Medianjahren noch etwa bei 7%, erhöht er sich im 2068 auf nahezu 12%. Zu beachten gilt es, dass in der Tabelle Mittelwerte über das ganze Jahr dargestellt werden. Es bestehen Zeiträume und Zonen, in denen der der PDD-Wert viel höher ist. Im der wärmsten Zone wird beispielsweise im Jahr 2068 am wärmsten Tag ein PPD-Maximalwert von nahezu 100%, bei einem Tagesmittelwert von 89%, registriert.

	Ref. Medianjahr (2004)			Ref. wärmstes Jahr (2003)			A1B Medianjahr (2063)			A1B wärmstes Jahr (2068)		
	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD	Tmax. (°C)	Ü.std.	PPD
Kühlste Zone (W3 EG Zone 1)	27.4	0	6.4%	31.7	566	8.4%	31.3	246	6.8%	33.1	908	10.1%
Median Zone (W3 2OG Zone 3)	27.8	0	6.7%	32.4	593	8.9%	32.7	288	7.4%	34.9	945	11.4%
Wärmste Zone (W4 2OG Zone 1)	30.5	47	7.4%	35.3	1139	12.1%	35.6	641	9.6%	37.9	1382	15.8%
Gebäude Mittelwert	28.2	82	6.5%	32.8	691	9.1%	33.1	340	7.5%	35.2	1018	11.7%
Gebäude Medianwert	27.9	47	6.5%	32.6	679	9.1%	32.5	304	7.4%	34.7	1020	11.5%

Tabelle 16: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Neubau hybrid“.

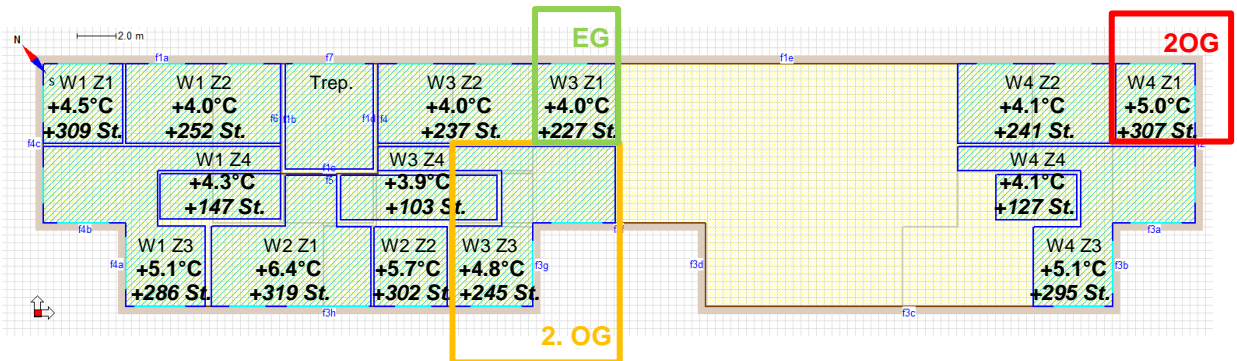


Abbildung 48: Zunahme der maximalen empfundenen Temperatur (Mittelwert zwischen EG, 1. OG und 2. OG) und Anzahl Überhitzungsstunden im Medianjahr 2063 im Vergleich zum Referenzmedianjahr 2004 in den verschiedenen Zonen. Es sind Zonen farblich hervorgehoben, in denen besonders niedrige (grünes Rechteck) und durchschnittliche (gelbes Rechteck).

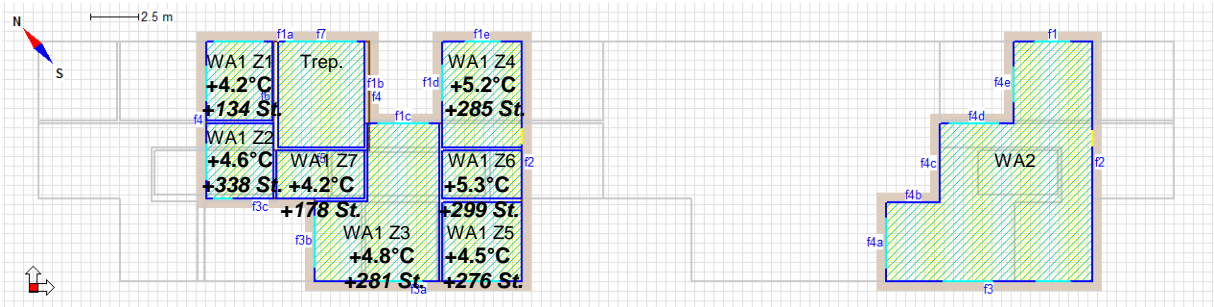


Abbildung 49: Zunahme der maximalen empfundenen Temperatur in der Attika und Anzahl Überhitzungsstunden im Medianjahr 2063 im Vergleich zum Referenzmedianjahr 2004 in den verschiedenen Zonen. Es ist eine Zone farblich hervorgehoben, in denen besonders hohe Temperaturen (rotes Rechteck) registriert werden.

Die empfundene Temperatur in den drei Zonen für die vier Betrachtungsjahre werden in Abbildung 50 bis Abbildung 52 in Relation zu den Grenzwerten gemäss SIA 180:2014 [12] gesetzt.

Die Temperaturen liegen im 2004 in den drei Zonen ausserhalb der Komfortgrenzen des unteren Grenzwerts. Im 2063 sind hingegen Überhitzungsstunden bereits in allen Zonen ersichtlich, in der kühlestem Zone betragen sie allerdings 246 Stunden. Im warmen 2003 ist die Überschreitung des unteren Grenzwerts in allen Zonen erkennbar. Sie wird im 2068 noch deutlicher: in der wärmsten Zone wird die zulässige empfundene Temperatur während 1382 Stunden überschritten, aber auch die kühlestem Zone weist 908 Überhitzungsstunden auf.

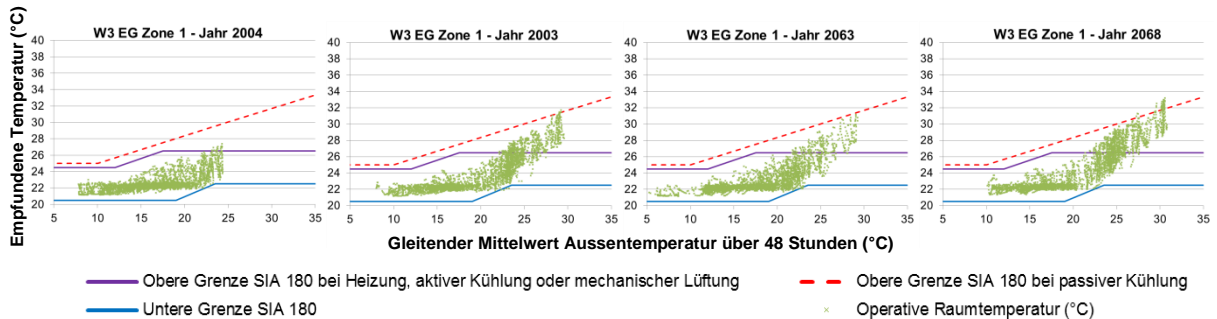


Abbildung 50: Empfundene Temperatur in der *W3 EG Zone 1* (kühlste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

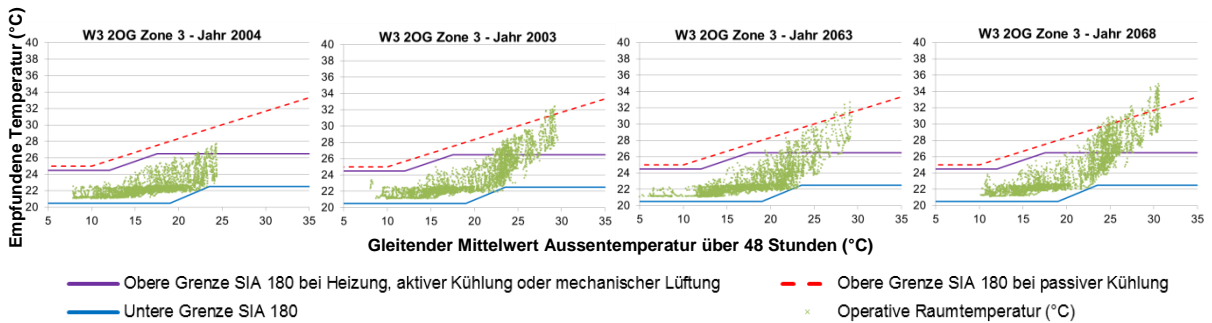


Abbildung 51: Empfundene Temperatur in der *W3 2OG Zone 3* (median Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

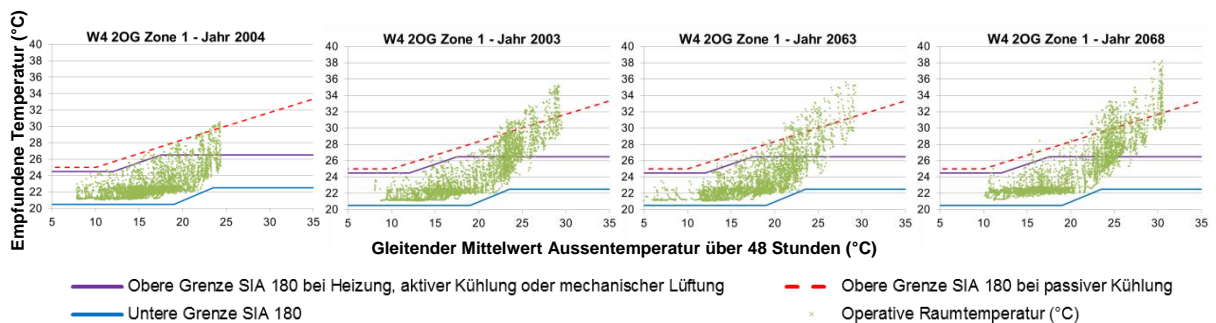


Abbildung 52: Empfundene Temperatur in der *W4 2OG Zone 1* (wärmste Zone im Gebäude) im Zeitraum vom 15. April bis zum 16. Oktober für die vier betrachteten Jahre. Die Grenzwertlinien stellen den zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur gemäss SIA 180:2014 [12] dar.

In der vergleichsweise kühlen „*W3 EG Zone 1*“ bleibt die empfundene Temperatur in der Sommerperiode 2004 während mehr als 76% der Zeit unter 23 °C; 2063 sinkt die Zeitspanne auf 61%. In den extremen Jahren beträgt der analoge Wert noch 50% (2003) und 44% (2068). Werden 2004 nur während 2% der Zeit Temperaturen über 26 °C registriert, liegen diese in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 10%, 23% bzw. 34% der Zeit darüber. 2068 liegt die Temperatur während 5% der Zeit höher als 30 °C.



In der durchschnittlichen „W3 2OG Zone 3“ liegt die empfundene Temperatur 2004 während mehr als 75% und im 2063 während mehr als 62% der Zeit unter 23 °C. In den warmen 2003 und 2068 reduziert sich dieser Wert auf 49% respektive 43%. Werden 2004 nur während 2% der Zeit Temperaturen über 26 °C registriert, liegen diese in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 12%, 23% bzw. 34% der Zeit darüber. 2068 liegt die Temperatur während 7% der Zeit höher als 30 °C.

In der warmen „W4 2OG Zone 1“ liegt die empfundene Temperatur im 2004 während mehr als 59% der Zeit unter 23 °C, 2063 beträgt der Wert 45%. 2003 und 2068 reduziert sich der prozentuale Anteil auf 38% respektive 33%. Werden 2004 während 13% der Zeit Temperaturen über 26 °C registriert, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 26%, 38% bzw. 46% der Zeit darüber. Die Zeitspanne mit Temperaturen über 30 °C steigt 2068 auf 22% der Sommerperiode an.

Die Abbildung 53 zeigt dementsprechend, dass nicht nur der maximale Temperaturanstieg in der jeweils betrachteten Zeitspanne und Zonen wichtig ist, sondern auch der Anteil der Zeit, während der die höheren Temperaturen erreicht werden. Werden 2004 allgemein, das heisst im Gebäudemittelwert, während fast 71% der Sommerperiode Innentemperaturen unter 23 °C registriert, reduziert sich der entsprechende prozentuale Anteil im Jahr 2003 auf 57%. 2063 liegt der analoge Wert bei 47%, 2068 beträgt er noch 42%. Im Gegenzug kann beobachtet werden, dass im Jahr 2004 während 4% der Zeit die Temperaturen über 26 °C auftreten, während 2003 der entsprechende Mittelwert des prozentualen Anteils 26% beträgt und 2068 auf 37% ansteigt. Während 2004 kaum Temperaturen über 30 °C registriert werden, liegen sie in den Jahren 2063, 2003 und 2068 etwa 2%, 3% bzw. 10% der Zeit darüber. Der Mittelwert der empfundenen Temperatur beträgt 22.8 °C im Jahr 2004, 24.3 °C im Jahr 2003, 23.6 °C im Jahr 2063 und 25.2 °C im Jahr 2068.

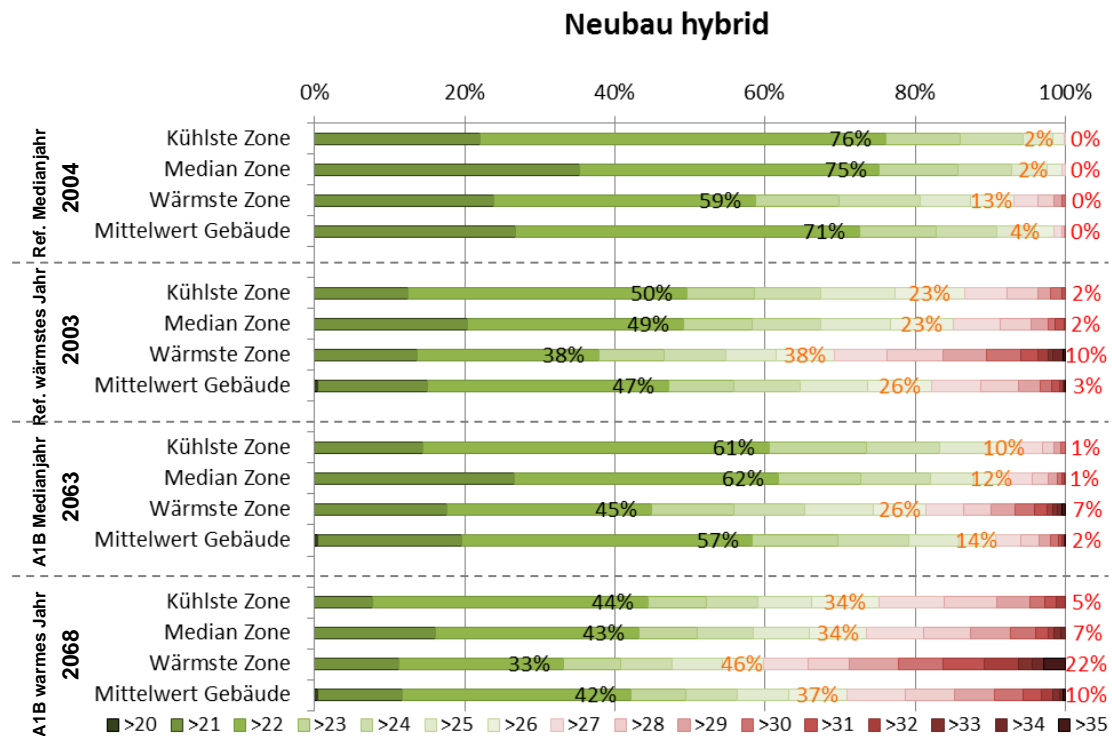


Abbildung 53: Prozentualer Zeitanteil zwischen dem 15. April und dem 16. Oktober im entsprechenden Temperaturbereich. Die schwarze Prozentzahl bezieht sich auf die Zeitspanne bei der $T_{max} < 23 \text{ }^\circ\text{C}$ ist, die orange auf derjenigen bei der $T_{max} > 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ist, die rote auf derjenigen bei der $T_{max} > 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ist. Dargestellt werden die Werte in ausgewählten Zonen sowie im Mittelwert des Gebäudes „Neubau hybrid“ in vier betrachteten Jahren.

5.1.5.4. Schlussfolgerungen Fallstudie „Neubau hybrid“

Vergleicht man die Referenzperiode „1995“ mit der Periode „2060“, reduziert sich der Heizwärmebedarf um 30% von $12.0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $8.6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Klimakältebedarf erhöht sich um 350% von $0.9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $3.9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Klimakältebedarf beträgt demnach fast die Hälfte des Heizwärmebedarfs. Der Maximalwert beträgt $11.8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Die mediane spezifische Heizwärmeleistung sinkt um 13% von 13.0 W/m^2 auf 11.3 W/m^2 , während sich die Klimakälteleistung von 11.2 W/m^2 bis 22.8 W/m^2 deutlich erhöht. Die Klimakälteleistung beträgt somit fast doppelt so viel wie die Heizwärmeleistung. Diese erreicht im wärmsten Jahr der untersuchten Modellkette dennoch Maximalwerte um 28 W/m^2 .

Der Strombedarf für die Beleuchtung erhöht sich in sämtlichen untersuchten Modellketten nur geringfügig.

Die Komfortanalyse zeigt im Medianjahr 2063 eine deutliche Erhöhung der mittleren empfundenen Temperatur um $4.8 \text{ }^\circ\text{C}$ gegenüber dem Referenzmedianjahr 2004. Der Mittelwert der Anzahl der Überhitzungsstunden nach SIA 180:2014 [12] erhöht sich von 82 auf 340 Stunden, während sich der PPD kaum verändert. In extremen Szenarien und Jahren, wie z.B. dem Jahr 2068 der Serie MPI ECHAM5, steigt die mittlere Temperatur in einer durchschnittlichen Zone um $7.0 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Anzahl der Überhitzungsstunden erhöht sich auf 1'018. Der Medianwert der PPD liegt dabei in einigen Zonen bei 11.7%.



5.1.6. Diskussion Phase I

Tabelle 17 und Tabelle 18 fassen die Simulationsergebnisse zur **energetischen Analyse** der vier Fallstudien zusammen. Dargestellt sind die Werte der Referenzperiode „1995“ und der Periode „2060“ sowie die Veränderung (prozentuale Variation „Var“) zwischen den Perioden. Tabelle 17 bezieht sich auf Heizwärmebedarf und -leistung, Tabelle 18 auf Klimakältebedarf und -leistung. Abbildung 54 und Abbildung 55 visualisieren die Entwicklung des entsprechenden Bedarfs und der Leistung.



		Altbau standard			Altbau geschützt			Neubau massiv			Neubau hybrid		
		„1995“	„2060“	„Var“	„1995“	„2060“	„Var“	„1995“	„2060“	„Var“	„1995“	„2060“	„Var“
Heizwärmebedarf (kWh/m ² a)	Medianwert	119.5	97.0	-19%	55.6	44.7	-20%	8.6	5.8	-32%	12.0	8.6	-29%
	Maximalwert	145.0	120.7	-17%	65.1	54.5	-16%	13.3	10.3	-23%	17.3	13.3	-23%
	Minimalwert	100.5	79.9	-20%	46.3	33.8	-27%	5.5	3.4	-39%	8.6	5.7	-33%
Heizwärmeleistung (W/m ²)	Medianwert	53.4	48.7	-9%	29.8	27.1	-9%	11.2	9.4	-20%	13.0	11.3	-13%
	Maximalwert	67.0	66.0	-2%	34.2	34.2	0%	15.0	14.3	-4%	21.9	20.1	-8%
	Minimalwert	46.9	41.7	-11%	24.6	21.6	-12%	8.2	6.9	-19%	9.2	8.3	-10%

Tabelle 17: Heizwärmebedarf und -leistung der vier Fallstudien der Referenzperiode „1995“ (1980-2009), der Periode „2060“ (2045-2074) und der jeweiligen Variation zwischen den Perioden. Dargestellt werden jährliche Median-, Maximal- sowie Minimalwerte.

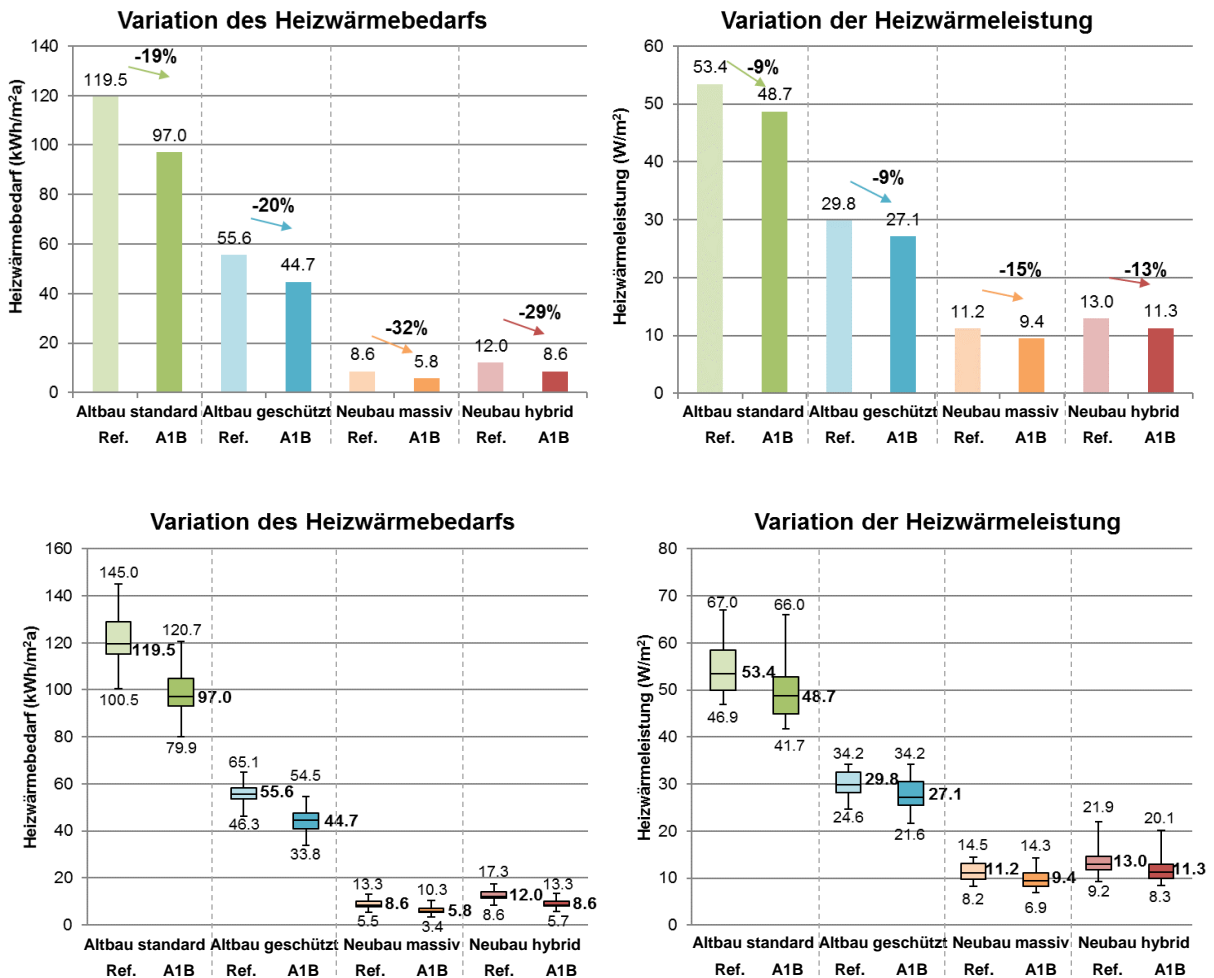


Abbildung 54:

oben: Jährliche Medianwerte zu Heizwärmebedarf und -leistung der vier Fallstudien in der Referenzperiode „1995“ (1980-2009) und der Periode „2060“ (2045-2074). Die Prozentzahlen geben die auf den Klimawandel zurückführbare Veränderung an.

unten: zusätzlich zu den Medianwerten werden die jeweiligen Maximal- und Minimalwerte sowie der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil als farbige Fläche dargestellt.



		<i>Altbau standard</i>			<i>Altbau geschützt</i>			<i>Neubau massiv</i>			<i>Neubau hybrid</i>		
		Ref.	A1B	Var.	Ref.	A1B	Var.	Ref.	A1B	Var.	Ref.	A1B	Var.
Klimakältebedarf (kWh/m²a)	Medianwert	0.0	0.7	2188%	0.0	0.5	5852%	0.4	3.0	703%	0.9	3.9	348%
	Maximalwert	0.9	5.4	525%	0.5	4.6	776%	3.5	11.9	238%	4.1	11.8	190%
	Minimalwert	0.0	0.2	1.3E2	0.0	0.1	1.66E2	0.1	1.2	968%	0.2	1.8	659%
Klimakälteleistung (W/m²)	Medianwert	2.4	13.8	477%	1.1	11.3	917%	6.8	17.8	162%	11.2	22.8	103%
	Maximalwert	11.7	35.3	201%	9.0	19.7	119%	14.6	22.2	52%	17.9	27.9	56%
	Minimalwert	0.3	6.1	1696%	0.1	3.6	5825%	4.1	12.6	209%	4.9	17.0	244%

Tabelle 18: Klimakältebedarf und -leistung der vier Fallstudien der Referenzperiode „1995“ (1980-2009), der Periode „2060“ (2045-2074) und der jeweiligen Variation zwischen den Perioden. Dargestellt werden jährliche Median-, Maximal- sowie Minimalwerte.

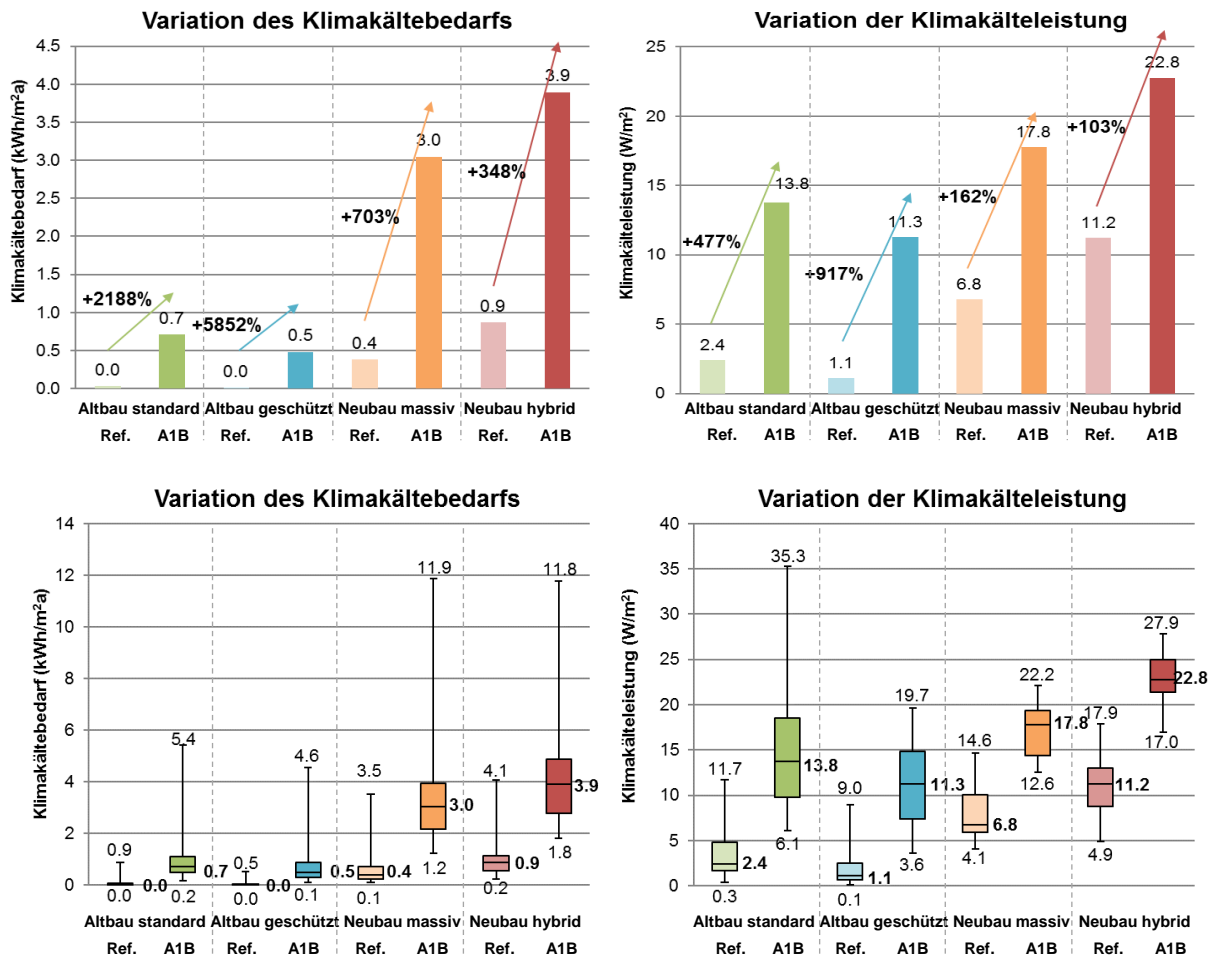


Abbildung 55:

oben: Jährliche Medianwerte zu Klimakältebedarf und -leistung der vier Fallstudien in der Referenzperiode „1995“ (1980-2009) und der Periode „2060“ (2045-2074). Die Prozentzahlen geben die auf den Klimawandel zurückführbare Veränderung an.

unten: zusätzlich zu den Medianwerten werden die jeweiligen Maximal- und Minimalwerte sowie der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil als farbige Fläche dargestellt.



In den beiden Altbauten reduziert sich der mediane Heizwärmebedarf aufgrund des Klimawandels um ca. 20%. Bei den Neubauten ist sich die Reduktion etwas höher (rund 30%). Die Abnahme des Maximalwerts ist in der Regel etwas weniger ausgeprägt, diejenige des Minimalwerts etwas ausgeprägter als beim Medianwert. Die Reduktion der medianen Heizwärmeleistung beträgt analog ca. 10% bei den Altbauten und bis zu 20% bei den Neubauten.

Die relative Veränderung bei der Klimakälte fällt viel höher aus als bei der Heizwärme. In absoluten Zahlen bleibt der Klimakältebedarf jedoch stets unterhalb des Heizwärmebedarfs. Bei den Altbauten, wo der Heizaufwand aufgrund des schlechteren Dämmstandards besonders hoch ist, bleibt der Klimakältebedarf trotz Klimawandel irrelevant. In der Periode „2060“ beträgt der Medianwert weniger als 1.0 kWh/m²a.

Beim „Neubau massiv“ macht der mediane Klimakältebedarf mit 3.0 kWh/m²a hingegen fast die Hälfte des Heizwärmebedarfs von 5. kWh/m²a aus. Im wärmsten Jahr der Periode „2060“ übersteigt der Bedarf an Klimakälte denjenigen für die Heizung des kältesten Jahrs. Beim „Neubau hybrid“ ist die Tendenz ähnlich. Steigen die Aussentemperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts erwartungsgemäss weiter, wird der Stellenwert der Klimakälte gegenüber der Heizwärme bis 2100 ebenfalls noch weiter an Bedeutung gewinnen. Dann wird die Klimakälteleistung bei Neubauten die notwendige Leistung für die Heizung übertreffen.

Die Unterschiede beim Strombedarf für die Beleuchtung in den simulierten Perioden sind bei sämtlichen Gebäuden vergleichsweise unbedeutend. Die Steigerung von der Referenzperiode „1995“ zur Periode „2060“ beträgt im extremsten Fall (renovierter Altbau) lediglich 6%. Sowohl der Beleuchtungsbedarf als auch der Anstieg zwischen beiden Perioden war bei den Altbauten etwas höher als bei den Neubauten. Der niedrigere Fensteranteil bei den älteren Gebäuden dürfte hierfür der Hauptgrund sein.

Beim Vergleich zwischen Klimakälte- und Heizwärmebedarf ist stets zu bedenken, dass er in diesem Bericht stets auf Stufe Nutzenergie erfolgte, weil der Fokus der Untersuchung auf den tatsächlichen Einfluss des Klimawandels gelegt wurde. Dementsprechend wurde die Ausweitung auf anderweitige Parameter, wie die Art der verwendeten Energieträger, möglichst vermieden. Würde der Vergleich auf Stufe Primärenergie erfolgen, könnte die Systemwahl das Bild der Ergebnisse bedeutend beeinflussen. Eine Deckung des Klimakältebedarfs durch ineffiziente Klimageräte würde beispielsweise einen markant negativen Einfluss auf die Gesamtenergiebilanz mit sich bringen. Beim Heizwärmebedarf ist die Wahl des Energieträgers, wie so oft, entscheidend für die Bilanz. Im Jahr 2013 erfolgte die Beheizung der Gebäude in der Schweiz zu über 65% mit fossilen Energieträgern (vgl. Kapitel 4.2.1.3) mit entsprechenden Folgen hinsichtlich der Treibhausgasemissionen, welche wiederum entscheidend für das Ausmass des Klimawandels sind. Angesichts der steigenden Aussentemperaturen und der zunehmenden Bedeutung der Gebäudekühlung ist die heutige Wahl von Gebäudetechniksystemen auch aus zukünftiger Sicht zu treffen. Dabei muss die Nutzungsdauer der jeweiligen gebäudetechnischen Komponenten berücksichtigt werden. Die Tragweite der heutigen konzeptionellen Entscheide kann massgeblichen Einfluss auf die Behaglichkeit und die Energiebilanz des Gebäudes über dessen gesamten Lebenszyklus. Besonders vorteilhaft werden perspektivisch Systeme sein, die sowohl der Beheizung als auch der Kühlung von Gebäuden dienen. Unter diesem Aspekt ist die Bedeutung von Wärmepumpensystemen in Kombination mit regenerierbaren Erdsonden noch höher zu gewichten. Mit Geocooling könnte ein bedeutender Teil des künftig anfallenden Klimakältebedarfs gedeckt werden und den Winterheizbetrieb effizienter gehalten werden.

Im Sauerstoff-Areal beispielsweise, einem vorwiegend mit Wohnnutzung belegtes Quartier bei Rotkreuz, im Kanton Zug, wird ein solches Konzept angewendet. Das Areal zeichnet sich durch eine thermische Arealvernetzung für Wärme und Kälte (Anergienetz), Erdwärmesonden als



Saisonalspeicher sowie Solaranlagen (PV und PVT) aus. Im Winter wird der Raumheizungs- und Warmwasserbedarf durch dezentrale Wärmepumpen gedeckt. Im Sommer wird über Wärmetauscher (Freecooling) gekühlt und die Abwärme wird genutzt, um den Erdwärmespeicher zu regenerieren. Die Abwärme von Hybridkollektoren (PVT) wird ebenfalls in das thermische Netz eingespeist. Die Funktionsweise der Gebäudetechnikkomponenten wurde durch die Hochschule Luzern im Rahmen eines fünfjährigen Monitoringprojektes geforscht [20]. Die Auswertungen zeigten, dass im Areal ein wesentlicher Anteil des Betriebsstroms der Wärmepumpen mit der Stromproduktion der Solaranlagen gedeckt werden kann. Interessant dabei ist, dass im wärmsten der beobachteten Sommer, die Effizienz des Gesamtsystems – vermutlich aufgrund der höheren Erdspeichertemperatur – gesteigert wurde. Dies deutet darauf hin, dass derartige Systeme im Hinblick auf den Klimawandel besonders geeignet sein dürften.

Hinsichtlich der **Behaglichkeit** verdeutlichten die durchgeführten Simulationen, wie sich die sommerliche Überhitzungsgefahr in Wohnbauten infolge des Klimawandels und den steigenden Aussentemperaturen erhöht. In sämtlichen Gebäuden steigen die berechneten Innenraumtemperaturen in den Jahren der untersuchten Periode „2060“ gegenüber der Referenzperiode „1995“ deutlich an.

Tabelle 19 zeigt die Maximalwerte der empfundenen Temperatur in den vier Fallstudien im Referenzmedianjahr 2004 und vergleicht sie mit denjenigen aus den weiteren untersuchten Jahren. Der Temperaturanstieg zum Jahr 2003 (2. Spalte) kann als Folge von klimatischen Jahresschwankungen betrachtet werden. Die Temperaturanstiege in der 3. und 4. Spalte sind hingegen primär als Folge des Klimawandels zu sehen, da jeweils die Medianjahre sowie die Extremjahre aus den Perioden „1995“ und „2060“ verglichen werden. In der letzten Spalte wird das Medianjahr 2004 mit dem Extremjahr 2068 verglichen und somit die Summe beider Auswirkungen - klimatische Jahresschwankungen sowie Klimawandel - aufgezeigt.

Bei den zwei Altbauten sind sowohl die Ausgangstemperatur als auch der Temperaturanstieg der Jahresschwankung (2003) klar niedriger als bei den Neubauten. Die Unterschiede zwischen Alt- und Neubauten als Folge des Klimawandels sind hingegen weniger ausgeprägt. Auffallend ist, dass beim Neubau hybrid stets die höchsten Temperaturen und Anstiege resultierten. Mit dem Temperaturanstieg um 7 °C vom Medianjahr 2004 zum Extremjahr 2068 resultieren dort in den Wohnräumen im Mittel aller Zonen bereits Maximalwerte von über 35 °C. Im Vergleich dazu beträgt der Anstieg der Aussentemperaturen zwischen diesen beiden Jahren im jährlichen Durchschnitt 2.8 °C, im Durchschnitt der Sommermonate (Juni - August) 6.1 °C.

Die Temperaturunterschiede zwischen den Medianjahren der beiden Perioden (2004 und 2063) fällt bei sämtlichen Gebäuden ausgeprägter aus als die Unterschiede bei den Extremjahren (2003 und 2068), was jedoch im Verhältnis zu den Unterschieden bei den Aussentemperaturen steht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die angenommenen Aussentemperaturen im Jahr 2068 nicht den Maximalwerten der Periode „2060“ entsprechen, sondern dem Medianwert aus dem Maximalwert von 30 Modellketten.

In der Abbildung 56 sind die grösseren Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Räumen der Neubauten im Vergleich zu denjenigen in den Altbauten ersichtlich. Diese werden in der Periode „2060“ sowohl im Medianjahr 2063 als auch im Extremjahr 2068 besonders deutlich.

	Tmax. (°C) 2004	Δ Tmax. (°C) 2004 ⇒ 2003	Δ Tmax. (°C) 2004 ⇒ 2063	Δ Tmax. (°C) 2003 ⇒ 2068	Δ Tmax. (°C) 2004 ⇒ 2068
Altbau standard	25.1	+3.1	+3.5	+2.1	+5.3
Altbau geschützt	24.8	+3.3	+3.4	+1.8	+5.1
Neubau massiv	26.9	+4.6	+3.3	+2.3	+6.8
Neubau hybrid	28.2	+4.6	+4.8	+2.4	+7.0
Aussentemperatur max.	31.5	+6.7	+6.8	+2.2	+8.9

Tabelle 19: Maximale empfundene Temperaturen (Mittel aller Zonen) in den vier Fallstudien und maximale Aussentemperatur im Jahr 2004 im Vergleich zu den Jahren 2003, 2063 und 2068.

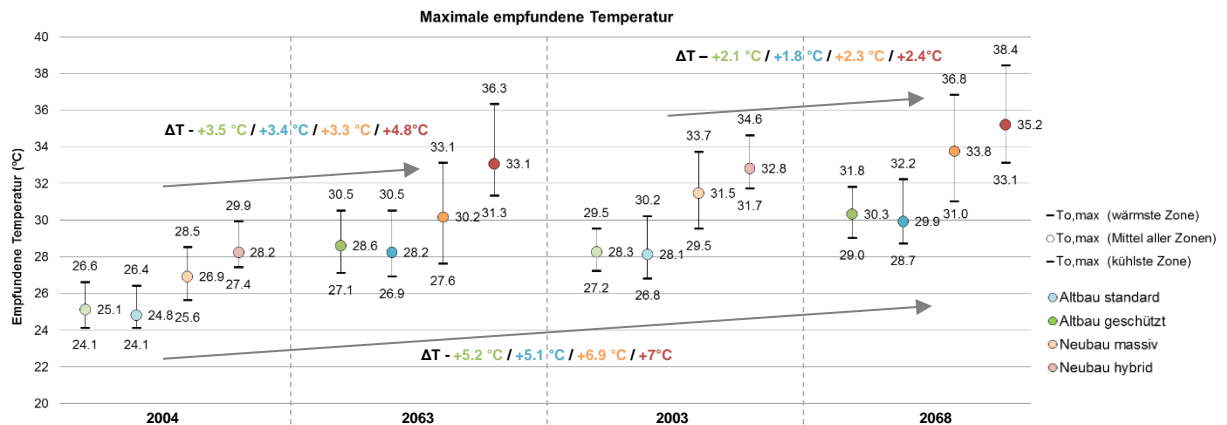


Abbildung 56: Maximale empfundene Temperaturen $T_{0,max}$ in den vier Fallstudien für die untersuchten Jahre. Die ΔT -Angaben bei den Pfeilen beziehen sich jeweils auf die Temperaturunterschiede zwischen den Jahren.

Die höheren Temperaturen bei den Neubauten zeigen sich auch bei der Auswertung der Anzahl der Überhitzungsstunden deutlich. Bei beiden Fallbeispielen werden im überdurchschnittlich warmen Sommer 2068 – trotz automatisiertem Sonnenschutz mit aussenliegenden Stoffmarkisen – in bis zu einem Drittel der Belegungszeit Raumtemperaturen über dem in der SIA 180:2014 [12] definierten Komfortbereich berechnet.

In der Tabelle 20 sind die Überhitzungsstunden in den vier Fallstudien im Referenzmedianjahr 2004 dargestellt sowie die Erhöhung der Stundenanzahl in den weiteren untersuchten Jahren gegenüber 2004. Analog dem Temperaturvergleich in der Tabelle 19 kann der Anstieg an Überhitzungsstunden zum Jahr 2003 (2. Spalte) als Folge von klimatischen Jahresschwankungen betrachtet werden, der Anstieg in der 3. und 4. Spalte primär als Folge des Klimawandels. In der letzten Spalte wird wiederum die Summe beider Auswirkungen - klimatische Jahresschwankungen sowie Klimawandel - aufgezeigt.

Die empfundene Temperatur in den älteren Gebäuden bleibt im Referenzmedianjahr 2004 immer im Komfortbereich. In den Neubauten werden Überhitzungsstunden verzeichnet, jedoch innerhalb der gemäss SIA 180:2014 [12] tolerierbaren Anzahl von 100 Stunden. Diese Grenze wird bei den Neubauten bei klimatischen Jahresschwankungen, z.B. im Jahr 2003, bereits um das sechsfache überschritten. Die Altbauten bleiben sowohl im warmen Jahr der Referenzperiode als auch im Medianjahr der



Periode „2060“ unterhalb der 100-Stunden-Grenze. Lediglich im warmen Jahr 2068 wird der Grenzwert um mehr als das Zweifache überschritten. Der Anstieg der Anzahl Überhitzungsstunden bleibt bei den Altbauten deutlich weniger ausgeprägt als bei den Neubauten, wo der Einfluss der klimatischen Jahresschwankung summiert mit demjenigen des Klimawandels einer Erhöhung von ca. 1'000 Überhitzungsstunden gleichkommt.

Die Anzahl sowie der unterschiedliche Anstieg an Überhitzungsstunden in den vier Fallstudien ist in der Abbildung 57 dargestellt. Auffallend sind die unterschiedlichen Entwicklungen der Überhitzungsstundenanzahl der beiden Neubauten. Der Anstieg vom Medianjahr 2004 zum warmen Jahr 2068 ist im Massivbau stärker als Hybridbau. Letzterer schneidet 2068, im Gegensatz zum 2004, besser ab als der Massivbau, auch wenn der Unterschied nicht signifikant ist.

	Ü.std. 2004	Δ Ü.std. 2004 ⇒ 2003	Δ Ü.std. 2004 ⇒ 2063	Δ Ü.std. 2003 ⇒ 2068	Δ Ü.std. 2004 ⇒ 2068
Altbau standard	0	+94	+39	+147	+240
Altbau geschützt	0	+84	+32	+133	+217
Neubau massiv	47	+620	+207	+387	+1007
Neubau hybrid	82	+608	+257	+327	+935

Tabelle 20: Anzahl Stunden, an denen im Referenzmedianjahr 2004 die Innenraumtemperatur höher als die Komforttemperaturgrenze nach SIA 180:2014 [12] (unterer Grenzwert) ist sowie der Anstieg an diesen Überhitzungsstunden in den untersuchten Jahren 2003, 2063 und 2068.

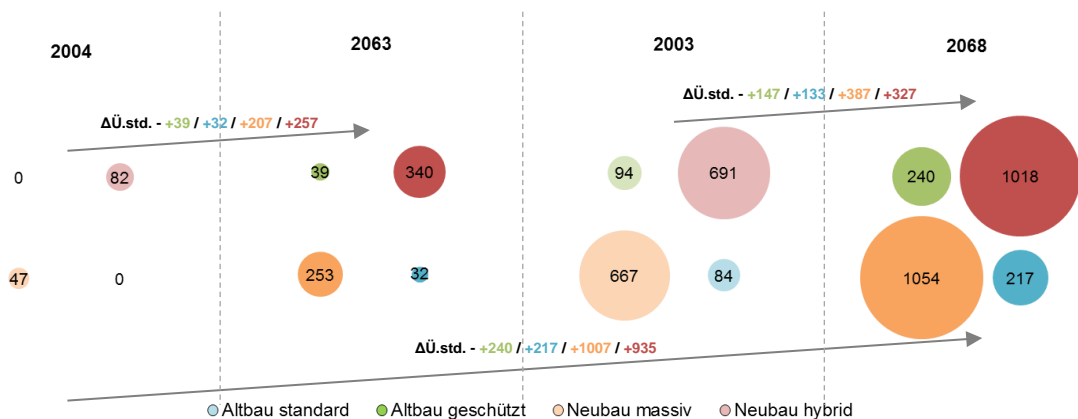


Abbildung 57: Anzahl Überhitzungsstunden in den vier Fallstudien an den vier untersuchten Jahren und Differenzen der jeweiligen Werte. Die berechneten Werte zu den einzelnen Fallstudien sind jeweils in derselben Farbe dargestellt. Im oberen Teil der Grafik beziehen sich die Differenzzahlen auf den jeweiligen Unterschied zwischen den beiden Medianjahren sowie der beiden warmen Jahre. Die unteren Differenzzahlen zeigen den Extremanstieg an Überhitzungsstunden zwischen einem durchschnittlichen Jahr der Periode „1990“ und einem warmen Jahr der Periode „2060“.

Die Simulationen ergeben sowohl beim Energiebedarf als auch bei den empfundenen Raumtemperaturen und somit auch bei den Überhitzungsstunden eine klare Zäsur zwischen den Ergebnissen der Altbauten und denjenigen der Neubauten. Letztere entsprechen lediglich im Referenzmedianjahr 2004 noch den Komfortansprüchen. Bei überdurchschnittlichen Aussentemperaturen steigt die Anzahl an

Überhitzungsstunden rasch und massiv an. Mit den Auswirkungen des Klimawandels werden die Komforttemperaturgrenzwerte allerdings auch in Altbauten an warmen Tagen überschritten.

Die Begründung für das unterschiedliche Verhalten von Alt- und Neubauten bei hohen Aussentemperaturen müssen die typologischen und gebäudetechnischen Eigenschaften der jeweiligen Gebäude liegen. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den untersuchten Alt- und Neubauten liegen im Fensteranteil (ca. 20% zu 50% Fassadenanteil), in den Dämmwerten der Gebäudehülle (U-Werte von 0.33 bis 1.00 W/mK) sowie in der Art, wie die Gebäude belüftet und somit auch in der Nacht gekühlt werden.

Die natürliche Lüftung in den Altbauten wurde in den Simulationen einem optimierten Betrieb gleichgestellt. Sobald die Aussentemperaturen tiefer als die Innentemperaturen lagen, werden die Fenster weit geöffnet und somit eine genügende Abkühlung der Wohnräume gewährleistet. Diese idealisierten Annahmen können jedoch in der Realität kaum so sichergestellt werden, da die Bewohner zu gegebener Zeit nicht immer anwesend sein dürften und äussere Einflüsse wie die Lärmbelastung oder der Einbruchschutz eine Öffnung der Fenster nicht jederzeit zulassen.

Die Neubauten wurden in den Simulationen nur mechanisch belüftet. Eine Abkühlung der Innenräume erfolgt bei günstigen Aussenlufttemperaturen automatisch durch Erhöhung des Luftvolumenstroms. Die angenommene Luftmenge erweist sich dabei in durchschnittlich warmen Sommern wie im Medianjahr 2004 noch als genügend, sobald jedoch höhere Aussentemperaturen über längere Zeit auftreten, ist dies nicht mehr der Fall. Dabei ist zu erwähnen, dass der angenommene Luftvolumenstrom nach heutigem Standard eher bei Bürobauten als bei Wohnbauten realistisch ist. Eine weitere Erhöhung würde wahrscheinlich zu Zugerscheinung aufgrund der Luftgeschwindigkeiten oder zu einer erheblichen Überdimensionierung der Leitungen führen. Es kann daher angenommen werden, dass durch eine „klassische“ Lüftungsanlage mit heutigen Charakteristiken in Gebäuden mit Eigenschaften, die den untersuchten Neubauten entsprechen, die Komfortansprüche künftig alleine nicht erfüllen werden.

Welche Parameter der untersuchten Gebäudetypen letztendlich für die Ergebnisse hinsichtlich Energie- und Behaglichkeitsbeurteilung und in welchem Mass entscheidend sind, lässt sich durch die Simulationen der ersten Projektphase nicht eindeutig bewerten, da die Parameter in den verschiedenen Fallstudien kombiniert wurden. In der zweiten Projektphase wurde deshalb die Untersuchung der Relevanz und der Varianz einzelner Parameter im Zusammenhang mit dem Klimawandel angestrebt.

5.2. Simulationen – Phase II (Parametervariation)

Für die zweite Simulationsphase wurden relevante Parameter für die Behaglichkeit in Neubauten definiert und in drei Gruppen aufgeteilt. Es wurden Aspekte der Gebäudenutzung („**Betriebsparameter**“), der Planung („**Entwurfparameter**“) sowie übergeordneter Themen wie der Standort oder der städtische Wärmeinseleffekt („**übergeordnete Parameter**“) untersucht. Die Parameter wurden einzeln in einem **Referenzmodell** variiert. Für jeden Parameter wurden dazu zwei bis drei Optionen zusätzlich zur Ausgangslage aus dem Referenzmodell bestimmt.

Das Ziel nach der zweiten Simulationsphase war, konkrete Handlungsmassnahmen bestimmen zu können, welche nicht nur zu einem geringeren Energiebedarf, sondern auch zu einer verbesserten Behaglichkeit in den Sommermonaten führen, wenn man den fortschreitenden Klimawandel mitberücksichtigt.

5.2.1.Referenzmodell

Die Basis für das Referenzmodell der zweiten Simulationsphase bildete das Beispielgebäude „Neubau massiv“ aus der Phase I. Ausgewählt wurde diese Gebäudetypologie, weil sie den heutigen Wohnungsbaustandard anteilmässig am besten repräsentiert. Gegenüber der ersten Simulationsphase wurde an den Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 5.1.1) der entsprechenden Fallstudie lediglich an einem, jedoch entscheidenden Parameter Anpassungen vorgenommen. Da die Simulationen aufgezeigt hatten, dass eine reine mechanische Lüftung den Komfortansprüchen künftig nicht genügen würde, wurde eine Kombination zwischen natürlichem und mechanischem Luftwechsel angenommen. Die *Nachtkühlung* verbesserte sich dadurch erheblich und wurde, in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur T_{AUL} , der Raumlufttemperatur T_{RAL} und einem vordefinierten Zeitplan, wie folgt angenommen:

Referenz: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C und gemäss folgendem Zeitplan
 06:00-07:00 oder 18:00-22:00 \Rightarrow 100%ig geöffnetes Fenster;
 sonst \Rightarrow Luftstrom von $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (ca. 2-facher Luftwechsel)

Abbildung 58 fasst die wichtigsten Rahmenbedingungen der zweiten Simulationsphase in einer Übersichtsmatrix zusammen. Die Charakteristiken des Referenzmodells sind in den dunkelblauen Feldern festgehalten. Abbildung 59, Abbildung 60 und Abbildung 61 zeigen die entsprechenden Simulationsergebnisse.

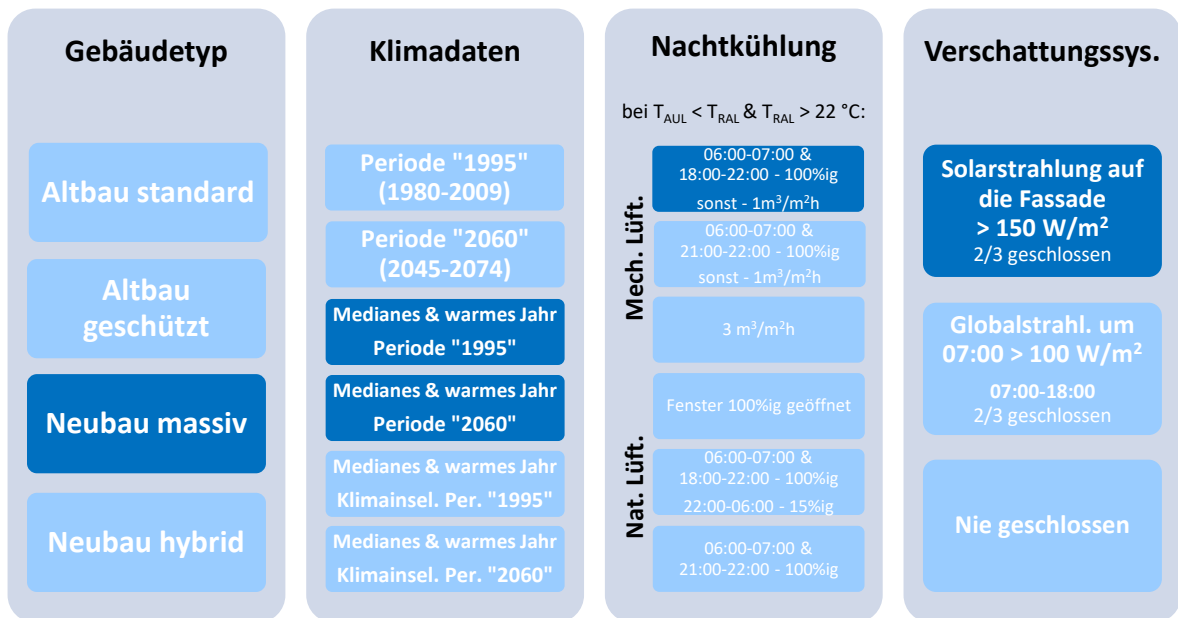


Abbildung 58: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern für das Referenzmodell.

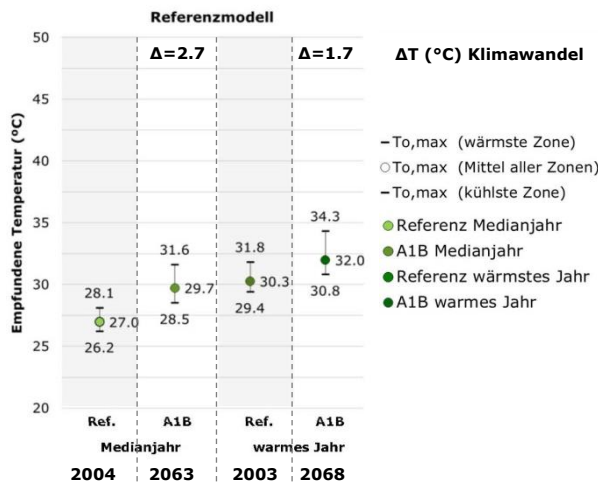


Abbildung 59: Maximal empfundene Temperatur im Referenzmodell in den untersuchten Jahren. Die im oberen Teil der Abbildung angegebenen Temperaturdifferenzen sind jeweils auf den Klimawandel zurückzuführen.

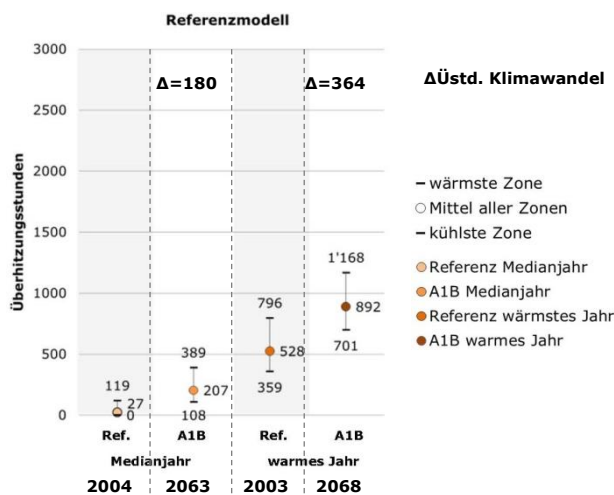


Abbildung 60: Anzahl Überhitzungsstunden im Referenzmodell in den untersuchten Jahren.

Durch die angepassten Lüftungsbedingungen lässt sich in den Ergebnissen im Vergleich zur Fallstudie „Neubau massiv“ eine Verbesserung bei den Behaglichkeitskennwerten erkennen, insbesondere für die Periode „2060“:

Im Referenzmedianjahr 2004 beträgt der Mittelwert der *maximalen empfundenen Temperatur* aller Zonen 27.0 °C, in der kühlsten Zone beträgt diese 26.2 °C und in der wärmsten Zone 28.1 °C. 2063 steigt der Mittelwert aller Zonen um 2.7 °C (Wert im oberen Teil der Abbildung 59). Die Temperaturerhöhung für die kühlste Zone beträgt 2.3 °C (von 26.2 °C auf 28.5 °C), bei der wärmsten Zone sind es 3.5 °C (von 28.1 °C auf 31.6 °C).

Im Extremjahr 2003 beträgt der Mittelwert der maximal empfundenen Temperatur aller Zonen 30.3 °C (3.9 °C höher als 2004), in der kühlsten Zone beträgt sie 29.4 °C und in der wärmsten Zone 31.8 °C. Im ausserordentlich warmen Jahr 2068 steigt der Mittelwert im Vergleich zu 2003 um 1.7 °C (von 30.3 °C auf 32 °C). In der kühlsten Zone beträgt die Temperaturerhöhung 1.4 °C (von 29.4 °C auf 30.8 °C), in der wärmsten Zone 2.5 °C (von 31.8 °C auf 34.3 °C).



Der *Überhitzungsstundenmittelwert* aller Zonen beträgt im 2004 eher unbedeutende 27 Stunden. In der kühlssten Zone wird keine Überhitzung beobachtet, während die wärmste Zone an 119 Stunden überhitzt ist. 2063 erhöht sich der Mittelwert von 27 auf 207. In der kühlssten Zone werden nun 108 Überhitzungsstunden registriert, während in der wärmsten Zone die Anzahl von 348 auf 527 ansteigt.

Im Jahr 2003 beträgt der Mittelwert 528 Stunden, wobei in der kühlssten Zone 359 und in der wärmsten Zone 796 Überhitzungsstunden beobachtet werden. 2068 erhöht sich der Mittelwert im Vergleich zu 2003 um 170% von 528 auf 892 Stunden. Die kühlsste Zone bleibt während 701 Stunden überhitzt, während in der wärmsten Zone die Anzahl an Überhitzungsstunden von 119 auf 1'168 ansteigt, was einem Drittel der Sommerperiode entspricht.

Die hohen Temperaturen und die Zahl der Überhitzungsstunden im Jahr 2003 lassen sich dadurch erklären, dass es in diesem Jahr während einem Zeitraum von 10 aufeinander folgenden Tagen eine maximale Aussentemperatur von 35 °C erreicht wurde und die Aussentemperatur nie unter 20 °C fiel. Die Überhitzung kann unter diesen Umständen auch mit Nachtkühlung kaum bekämpft werden. Im Vergleich dazu erfolgt bis ins Jahr 2063 ein erkennbarer, jedoch gleichmässigerer Temperaturanstieg infolge des Klimawandels. Die längste Zeitspanne mit aufeinander folgenden maximalen Aussentemperatur über 35 °C, in der die Aussentemperatur nie unter 20 °C liegt, beträgt lediglich 4 Tage ist.

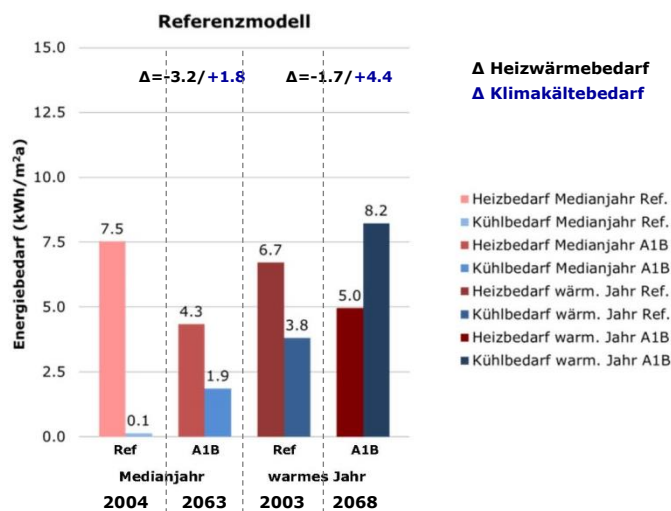


Abbildung 61: Heiz- und Klimakältebedarf des Referenzmodells je nach Klimaszenario.

2004 beträgt der Heizwärmebedarf 7.5 kWh/m²a; 2063 liegt mit 4.3 kWh/m²a eine Reduktion des Werts von nahezu 40% vor. Der Klimakältebedarf erhöht sich hingegen von 2004 bis 2063 von 0.1 kWh/m²a auf 1.9 kWh/m²a.

2003 beträgt der Heizwärmebedarf 6.7 kWh/m²a; 2068 liegt der Wert bei 5.0 kWh/m²a, was einer Reduktion von fast 25% entspricht. Der Klimakältebedarf verdoppelt sich hingegen von 2003 auf 2068 auf 8.2 kWh/m²a.

In einem temperaturmässig durchschnittlichen Jahr der Periode „2060“ ist daher der Heizwärmebedarf höher als der Klimakältebedarf. Dieser übersteigt jedoch in einem ausserordentlich warmen Jahr den Heizwärmebedarf deutlich.

5.2.2. Betriebsparameter

Im Abschnitt „Betrieb“ wurden diejenigen Parameter untersucht, die nicht direkt mit der Gebäudesubstanz oder -struktur zu tun haben, sondern mit dessen Nutzung. Im Zusammenhang mit dem Energiebedarf und der Behaglichkeit sind dies primär die Art und Regelung der Lüftung – und damit verbunden der entsprechenden **Nachtkühlung** – sowie des **Sonnenschutzes** des Gebäudes. Die Variation dieser Parameter wurde in einem ersten Schritt einzeln ausgewertet und danach so kombiniert, dass charakteristische **Nutzerverhalten** von unterschiedlichen Bewohnertypen resultierten.

5.2.2.1. Nachtkühlung

Es wurden je drei Optionen der natürlichen und der mechanischen respektive kombinierten Lüftung miteinander verglichen und mit den Ergebnissen des Referenzmodells in Bezug gesetzt. Die Option aus dem Referenzmodell ist im Bericht jeweils grün markiert. Abbildung 62 zeigt die untersuchten Optionen zur Nachtkühlung in der Übersicht.

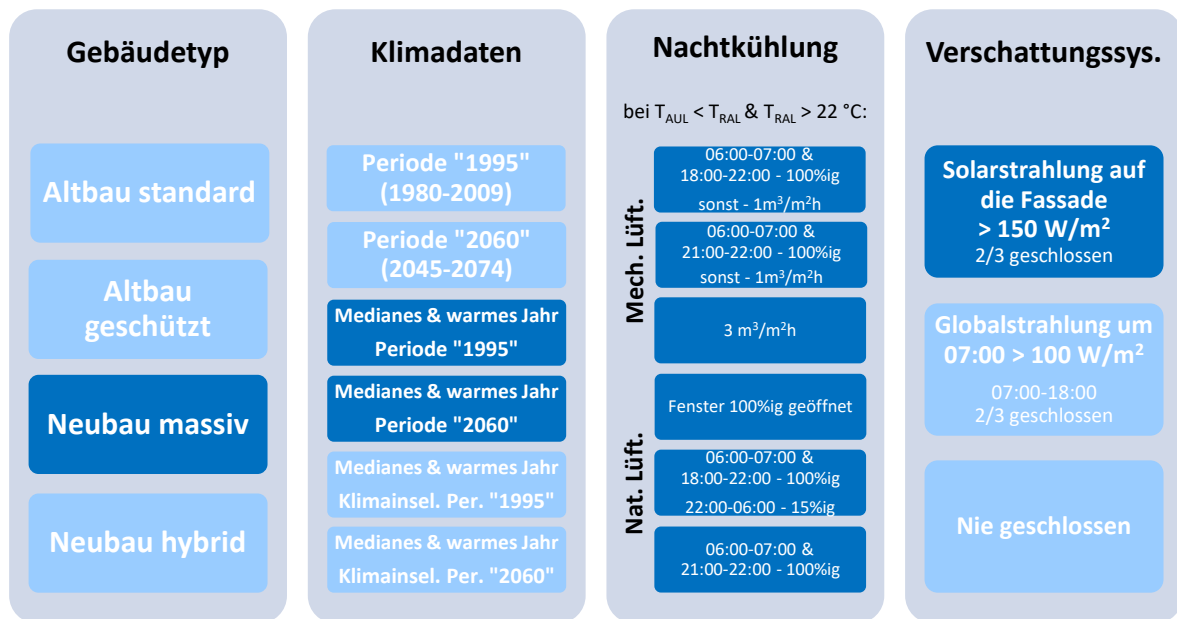


Abbildung 62: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern der Nachtkühlung.

5.2.2.1.1. Mechanische Lüftung

Bei der *Referenzoption* wurde angenommen, dass die Bewohnerschaft zumeist anwesend ist. Die Fenster werden immer vollständig geöffnet, sobald eine Innentemperatur von 22 °C erreicht und die Aussentemperatur niedriger ist. Über Nacht bleiben die Fenster geschlossen (aus Angst vor Einbruch) und die mechanische Lüftung arbeitet mit einem Luftvolumenstrom von 1 m³/m²h. Damit wird eine genügende Raumluftqualität jederzeit gesichert.

Mit der *Option 1* wurde eine Situation simuliert, in der aufgrund der Lärmbelastung die Fenster nur kurz geöffnet werden können: die Nutzer öffnen die Fenster vollständig zwischen 6 und 7 Uhr sowie zwischen 21 und 22 Uhr, sofern die erforderlichen Temperaturbedingungen eintreten. In der restlichen Zeit wird ein konstanter Luftvolumenstrom von 1 m³/m²h angenommen.



Mit der *Option 2* wurde eine Situation simuliert, in der die Fensteröffnung kaum möglich ist (Lärmbelastung) und eine technische Lösung helfen soll. Die Fenster werden grundsätzlich nicht geöffnet. Es wird eine Erhöhung des Luftvolumenstroms von 3 m³/m²h angenommen, sobald die Temperaturbedingungen eintreten. Dieser Luftvolumenstrom ist in der Regel mit heutigen Lüftungsanlagen nicht ohne Probleme realisierbar. Die Simulation sollte aber aufzeigen, ob in Zukunft eine andere Dimensionierung von Lüftungsanlagen sinnvoll wäre.

Die Erhöhung des Luftvolumenstroms wurde demnach wie folgt angenommen:

Referenz: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C und gemäss folgendem Zeitplan
 06:00-07:00 & 18:00-22:00 \Rightarrow 100%ig geöffnetes Fenster;
 sonst \Rightarrow Luftstrom von 1 m³/m²h (ca. 2-facher Luftwechsel)

Option 1: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C und gemäss folgendem Zeitplan
 06:00-07:00 & 21:00-22:00 \Rightarrow 100%ig geöffnetes Fenster;
 sonst \Rightarrow Luftstrom von 1 m³/m²h (ca. 2-Facher Luftwechsel)

Option 2: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C
 \Rightarrow Luftstrom von 3 m³/m²h;
 sonst \Rightarrow Luftstrom von 1 m³/m²h

In Abbildung 63, Abbildung 64 und Abbildung 65 sind die Simulationsergebnisse hinsichtlich der Behaglichkeit (maximale empfundene Temperatur und Anzahl Überheizungsstunden) für die zwei untersuchten Optionen im Vergleich zur Referenzoption dargestellt.

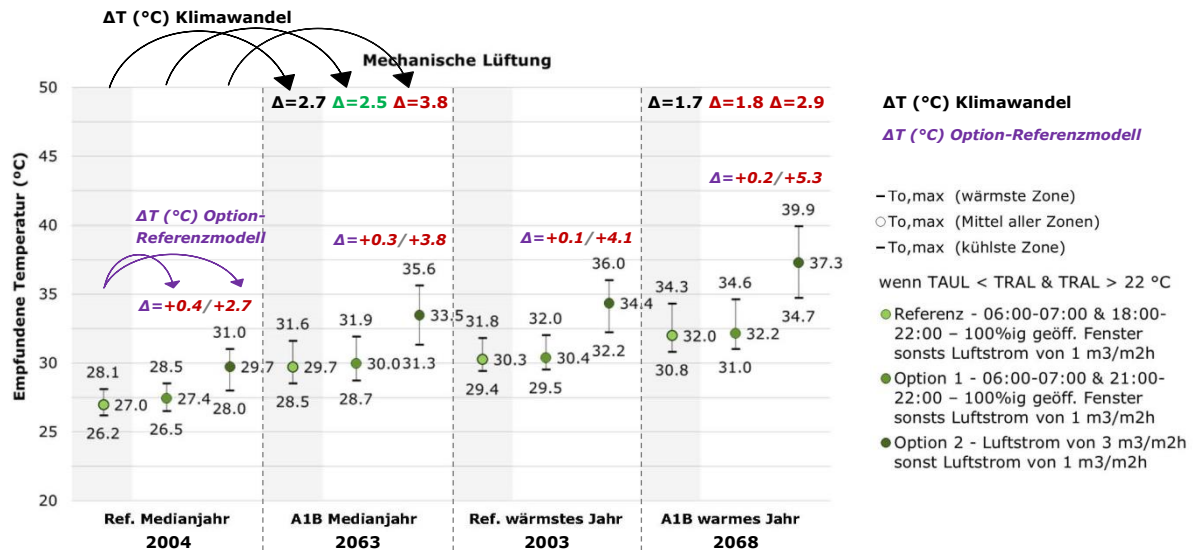


Abbildung 63: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Lüftungsoption (mechanisch) und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

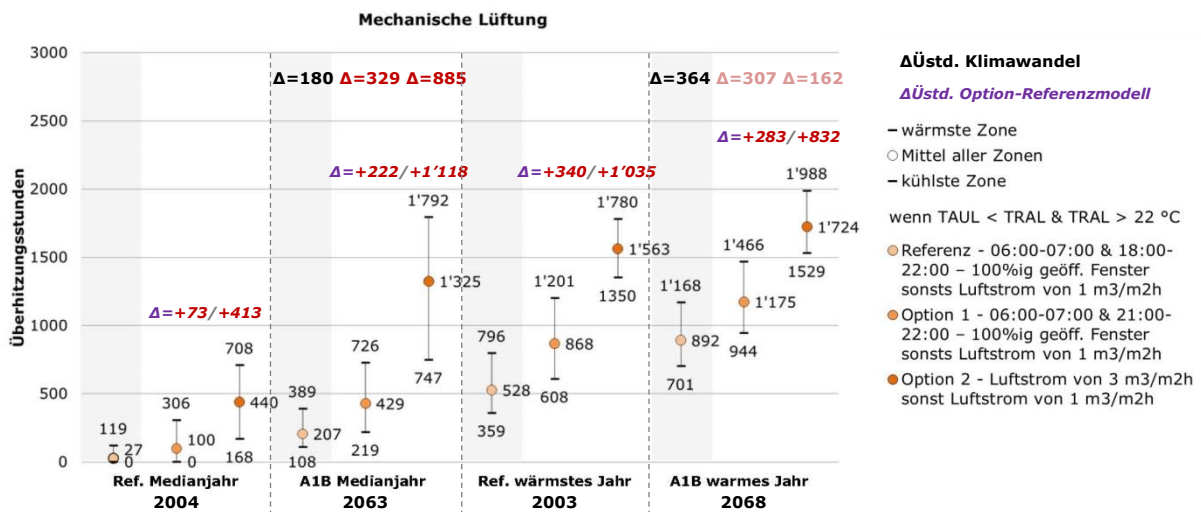


Abbildung 64: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit der Lüftungsoption (mechanisch) und der untersuchten Jahre.

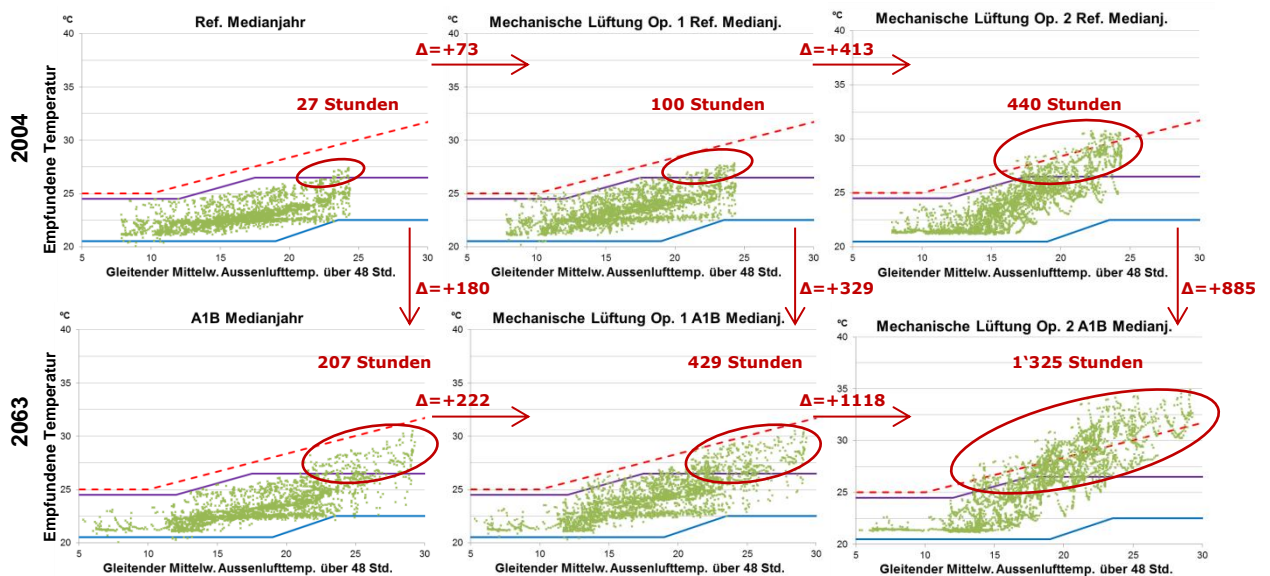


Abbildung 65: Empfundene Raumtemperaturen in Relation zur Aussentemperatur in Abhängigkeit der Lüftungsoption (mechanisch) während der Sommerperiode der Medianjahre aus den Perioden „1995“ und „2060“ (Darstellung mit Komfortgrenzlinien gemäss SIA 180:2014 [12]). Die Stundenanzahldifferenzen bei den vertikalen Pfeilen sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die bei den horizontalen Pfeilen auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen. Die roten Ovale markieren die angegebenen Überheizungsstunden.

Die Optionen 1 und 2 beinhalten eine Reduktion des Luftwechsels, was erwartungsgemäss zu einer Verschlechterung der Komfortbedingungen im Vergleich zur Referenzmodell führt:

Wird wie bei *Option 1* die natürliche Lüftungszeit in der Nacht auf eine statt vier Stunden beschränkt, erhöht sich die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) im Jahr 2004 um 0.4 °C. Die Anzahl der Überheizungsstunden steigt dabei stark an (auf ca. das 4-fache). Unter Berücksichtigung des Klimawandels erhöht sich bei Option 1 die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert



aller Zonen) um weitere 2.5 °C im Jahr 2063 und um 1.8 °C im Jahr 2068; die Anzahl der Überhitzungsstunden nimmt ebenfalls deutlich zu (auf ca. das 4-fache im 2063).

Werden die beiden warmen Jahre 2003 und 2068 verglichen, ist sowohl der Temperaturanstieg als auch die Erhöhung Überhitzungsstundenanzahl niedriger als beim Vergleich der beiden Medianjahre 2004 und 2063. Dies ist mit den bereits sehr hohen Raumtemperaturen im Jahr 2003 begründbar, eine weitere Erhöhung der Temperatur- und Stundenwerte ist dementsprechend schwieriger. Die negativen Auswirkungen durch die eingeschränkte Nachtkühlung werden durch den Klimawandel deutlich verstärkt.

Ist wie bei *Option 2* eine natürliche Belüftung gar nicht möglich, erhöhen sich die mittleren Raumtemperaturen bereits im 2004 im Vergleich zum Referenzmodell um 2.7 °C. Kommen die Auswirkungen des Klimawandels dazu beträgt der Temperaturanstieg zusätzliche 3.8 °C im Jahr 2063, bzw. 7.6 °C im Jahr 2068. Die Überhitzungsstunden steigen als Folge der Parametervariation dementsprechend drastisch an, auf das 16-fache im Jahr 2004 (von 27 auf 440 Stunden) respektive auf das 6-fache im Jahr 2063 (von 207 auf 1'325 Stunden). Der Anstieg aufgrund des Klimawandels ist ebenso massiv. 2068 werden 1'724 Überhitzungsstunden registriert, was ca. 40% der Sommerzeit gleichkommt. Die rein mechanische Lüftung zur Nachtkühlung des Gebäudes erweist sich somit als ungenügende Lösung. Ist das Gebäude einmal überhitzt, ist eine Abkühlung kaum mehr möglich.

5.2.2.1.2. Natürliche Lüftung

Mit der *Option 1* wurde das Prinzip einer automatisierten Fensterlüftung simuliert: Die Fenster sind immer vollständig geöffnet, sobald eine Innentemperatur von 22 °C erreicht wird und die Außentemperatur niedriger liegt. Dadurch wurde das Gebäude in idealer Weise gekühlt.

Bei der *Option 2* wurde die Anwesenheit der Nutzer und die Einbruchgefahr mitberücksichtigt: die Nutzer öffnen die Fenster bei günstigen Temperaturbedingungen vollständig, wenn sie zuhause und wach sind (von 06:00 bis 07:00 und von 18:00 bis 22:00). Während der Nacht werden die Fenster „gekippt“ (15%ig geöffnet).

Die *Option 3* stellte die Situation dar, bei der, aufgrund von Lärmproblemen, die Fenster nur eine Stunde am Morgen und eine Stunde in der Nacht geöffnet bleiben können.

In allen Fällen wird eine genügende Innenluftqualität durch das Öffnen der Fenster bei einem CO₂-Pegel von 1'000 bis 1'400 ppm sichergestellt (gemäss SIA 382/1:2014 [18], Raumluftqualität RAL 3)

Die Öffnung der Fenster erfolgte demnach gemäss folgenden Rahmenbedingungen:

Referenz: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C und gemäss folgendem Zeitplan
06:00-07:00 & 18:00-22:00 ⇒ 100%ig geöffnetes Fenster;
sonst ⇒ Luftstrom von 1 m³/m²h (ca. 2-facher Luftwechsel)

Option 1: $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C ⇒ 100%ig geöffnetes Fenster
zudem bei: 1'000 ppm < CO₂ < 1'400 ppm ⇒ 100%ig geöffnetes Fenster

Option 2: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C und gemäss folgendem Zeitplan
06:00-07:00 & 18:00-22:00 ⇒ 100%ig geöffnetes Fenster
22:00-06:00 ⇒ 15%ig geöffnetes Fenster
zudem bei: 1'000 ppm < CO₂ < 1'400 ppm ⇒ 100%ig geöffnetes Fenster



Option 3: wenn $T_{AUL} < T_{RAL}$ & $T_{RAL} > 22$ °C und gemäss folgendem Zeitplan
 06:00-07:00 & 21:00-22:00 \Rightarrow 100%ig geöffnetes Fenster
 zudem bei: 1'000 ppm < CO₂ < 1'400 ppm \Rightarrow 100%ig geöffnetes Fenster

Abbildung 66, Abbildung 67 und Abbildung 68 zeigen die Simulationsergebnisse der drei Optionen im Vergleich zur Referenz.

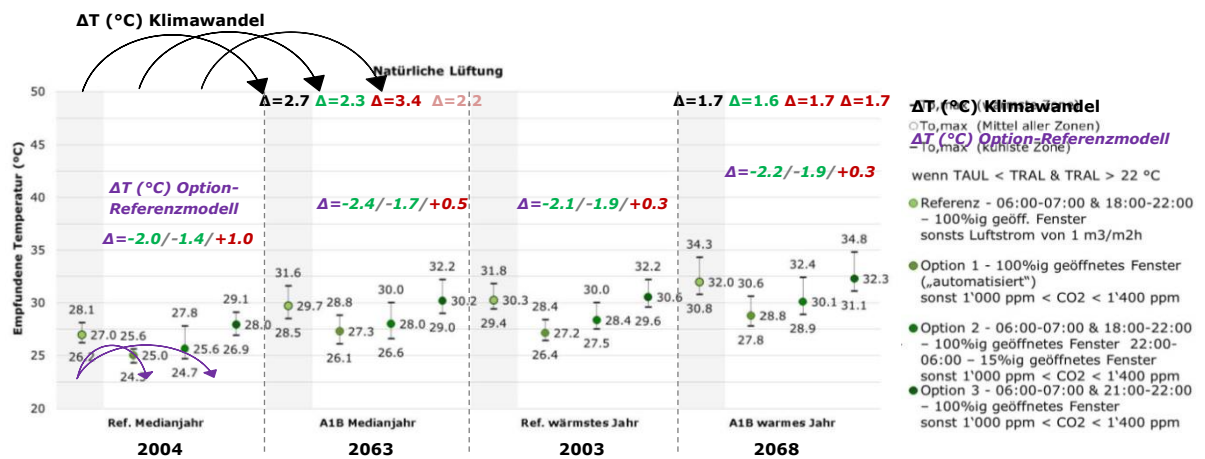


Abbildung 66: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Lüftungsoption (natürlich) und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

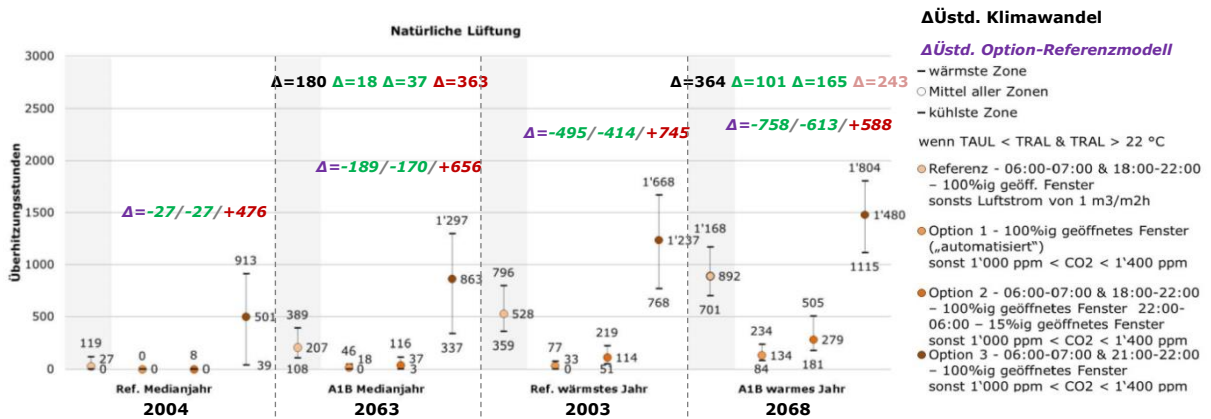


Abbildung 67: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit der Lüftungsoption (natürlich) und der untersuchten Jahre.

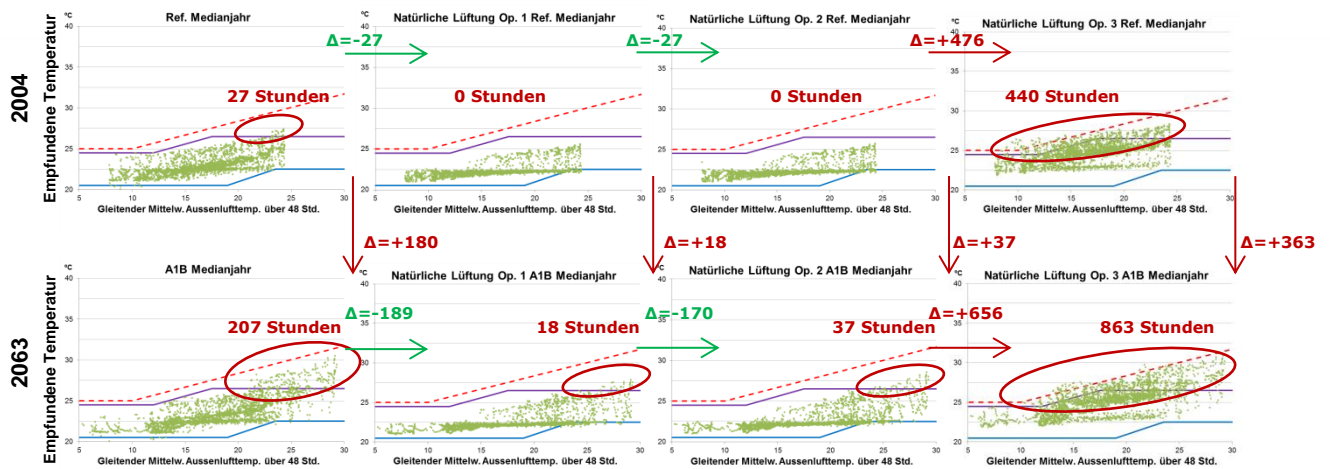


Abbildung 68: Empfundene Raumtemperaturen in Relation zur Aussentemperatur in Abhängigkeit der Lüftungsoption (natürlich) während der Sommerperiode der Medianjahre aus den Perioden „1995“ und „2060“ (Darstellung mit Komfortgrenzlinien gemäss SIA 180:2014 [12]). Die Stundenanzahldifferenzen bei den vertikalen Pfeilen sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die bei den horizontalen Pfeilen auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen. Die roten Ovale markieren die angegebenen Überhitzungsstunden.

Durch die ideal regulierte natürliche Lüftung in *Option 1* sinkt die Innentemperatur im Vergleich zum Referenzmodell um über 2 °C in allen untersuchten Jahren. Die maximal zulässige empfundene Temperatur wird kaum überschritten. Im Extremjahr 2068 werden 134 Überhitzungsstunden registriert. Eine „ideal betriebene“ natürliche Lüftung wäre daher zur Raumkühlung der untersuchten Wohntypologie bei extremen klimatischen Bedingungen der Periode „2060“ (Szenario A1B) genügend wirksam.

Mit der leicht eingeschränkten natürlichen Lüftung der *Option 2* lassen sich die Innentemperaturen gegenüber der Referenzoption ebenfalls reduzieren, jedoch in etwas geringerer Masse als bei Option 1. Im Medianjahr 2063 werden tolerierbare 37 Überhitzungsstunden registriert, im Extremjahr 2068 bereits 279.

Mit der „limitierten“ natürlichen Lüftung in *Option 3* erhöhen sich die Innenraumtemperaturen gegenüber der Referenz in den jeweiligen Jahren um 0.3-1.0 °C. Die Anzahl der Überhitzungsstunden erhöht sich dabei massiv (z.B. auf mehr als das 18-Fache im Jahr 2004). Wird der Klimawandel berücksichtigt steigt die maximal empfundene Temperatur weiter rund um 2 °C an. 2063 werden 863 Überhitzungsstunden registriert, im Sommer 2068 liegen die Innenraumtemperaturen nahezu 1'500 Stunden, also rund 35 % der Zeit über dem Komfortwert (unterer Grenzwert gemäss SIA 180:2014 [12]). Die Überhitzungsstunden sind schon bei verhältnismässig tiefen Aussentemperaturen deutlich bemerkbar. Da werden auch die oberen Grenzwerte der SIA 180:2014 [12] häufig überschritten.

Die Simulationsergebnisse zeigten die Effizienz einer gut praktizierten natürlichen Lüftung im Umgang mit den künftig höheren Aussentemperaturen auf. Limitierungen aufgrund der Lärmbelastung oder der Einbruchgefahr sind jedoch, insbesondere im urbanen Gebiet, in der Realität häufig anzutreffen.

5.2.2.2. Sonnenschutz

Abbildung 69 zeigt die variierten Parameter hinsichtlich der Analyse mobiler Sonnenschutzsysteme. Im konkreten Fallbeispiel wird von klassischen Rafflamellenstoren ausgegangen.

Im Referenzmodell wurde das Prinzip eines automatisierten Systems simuliert: die Verschattungssysteme werden aktiviert, sobald die Sonnenstrahlung auf die entsprechende Fassade mehr als 150 W/m² beträgt

In der *Option 1* wurde die manuelle Bedienung durch die Bewohnerschaft angenommen: diese aktiviert den Sonnenschutz, wenn sie aus dem Haus geht und ein sonniger Tag erwartet wird. Danach bleibt er den ganzen Tag in geschlossener Stellung bis die Bewohnerschaft wieder anwesend ist.

Bei der *Option 2* wurde ein Extremfall simuliert: der Sonnenschutz wird nicht betätigt.

Die Funktion des Sonnenschutzes wurde demnach mit folgenden Rahmenbedingungen geregelt:

Referenz: Wenn die Solarstrahlung auf die entsprechende Fassade > 150 W/m²
 ⇒ Sonnenschutzsystem zu 2/3 geschlossen

Option 1: Wenn die Globalstrahlung um 07:00 > 100 W/m² ist
 ⇒ Sonnenschutzsystem zu 2/3 geschlossen zwischen 07:00 und 18:00 Uhr

Option 2: Das Sonnenschutzsystem wird nie geschlossen

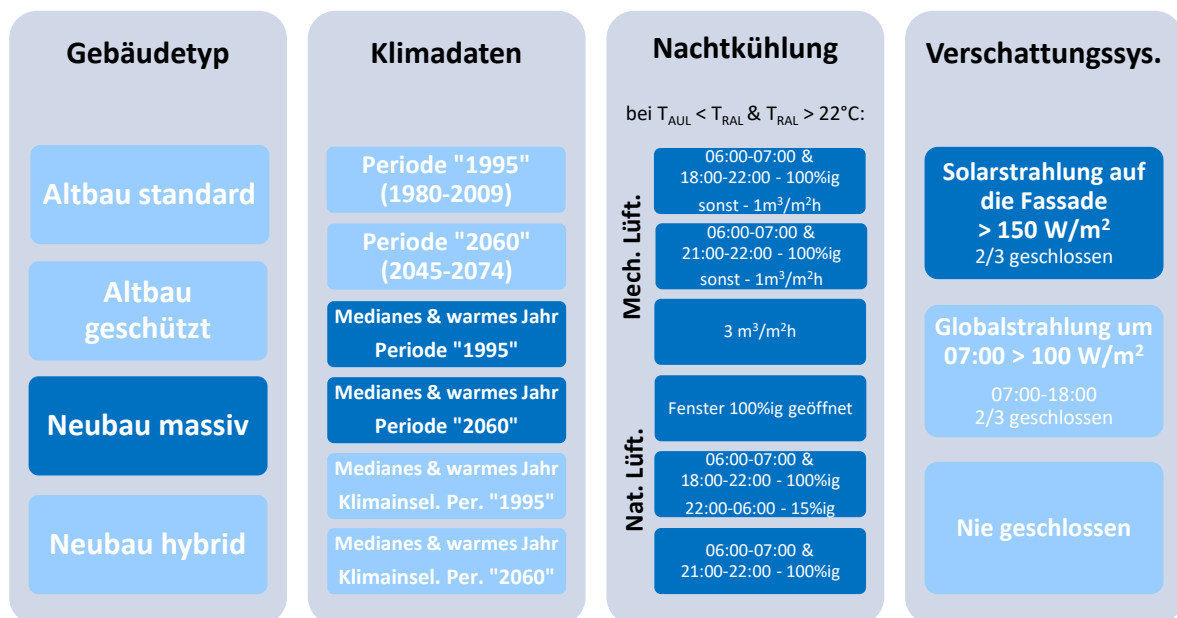


Abbildung 69: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern der Verschattungssysteme.



Abbildung 70, Abbildung 71 und Abbildung 72 zeigen die Simulationsergebnisse der zwei Optionen im Vergleich zur Referenz.

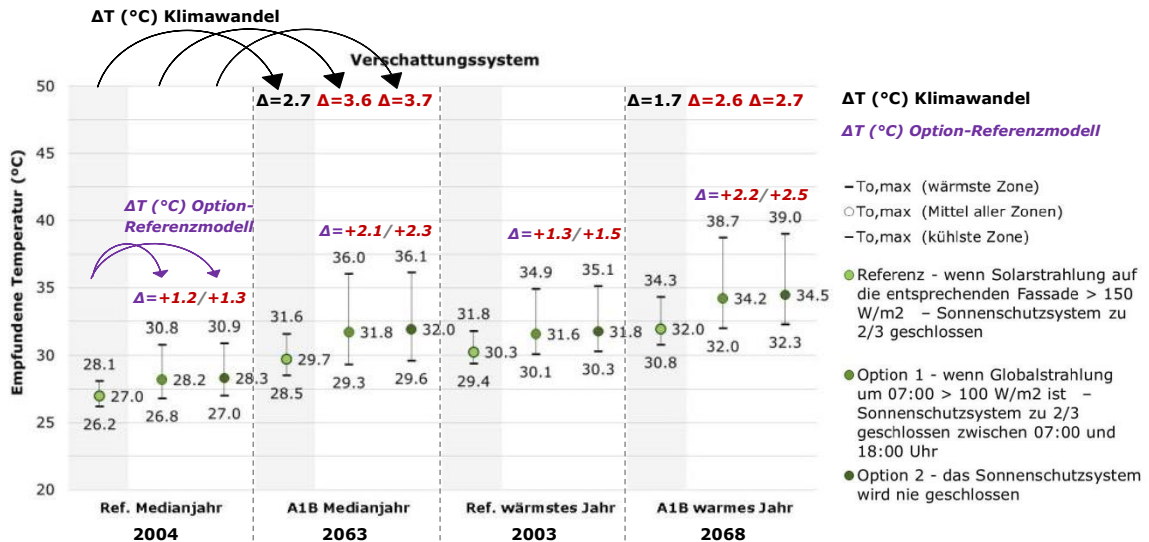


Abbildung 70: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Verschattungssysteme und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

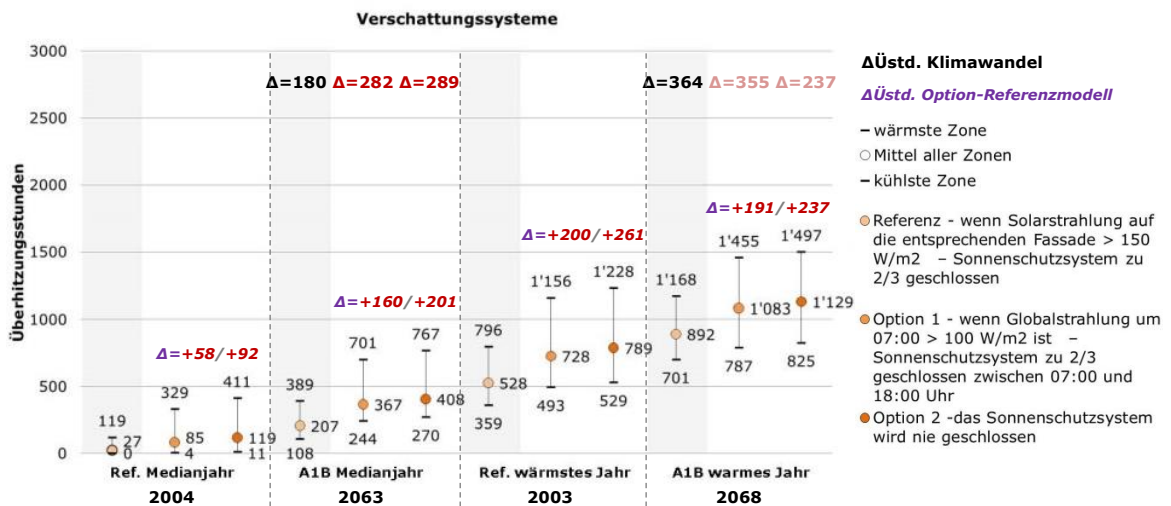


Abbildung 71: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit der Verschattungssysteme.

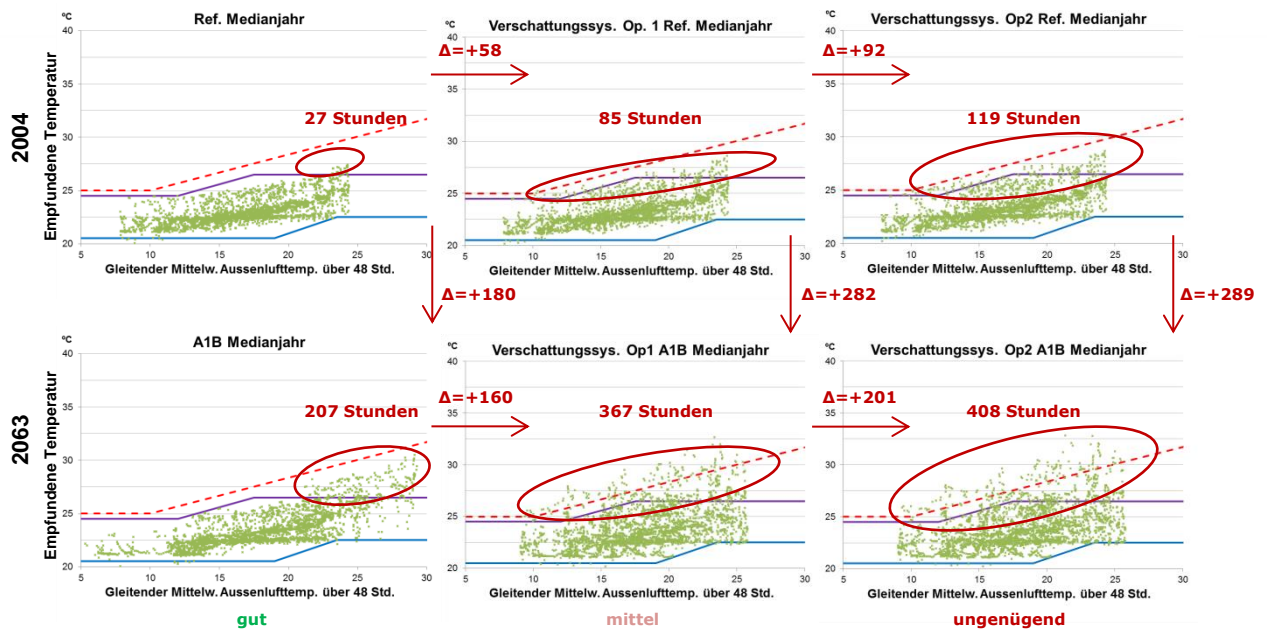


Abbildung 72: Empfundene Raumtemperaturen in Relation zur Aussentemperatur in Abhängigkeit der Verschattungssysteme während der Sommerperiode der Medianjahre aus den Perioden „1995“ und „2060“ (Darstellung mit Komfortgrenzlinien gemäss SIA 180:2014 [12]). Die Stundenanzahldifferenzen bei den vertikalen Pfeilen sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die bei den horizontalen Pfeilen auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen. Die roten Ovale markieren die angegebenen Überhitzungsstunden.

Die Reduktion der Sonnenschutzaktivierung in *Option 1* hat einen bedeutenden Einfluss auf die Raumtemperatur. Gegenüber der Referenzoption steigt die Innentemperatur in den jeweiligen Jahren I um über 1.2-2.2 °C an. Die Überhitzungsstunden verdreifachen sich 2004 auf tolerierbare 85; im Medianjahr 2063 ist diese Zunahme zwar im Verhältnis kleiner, es werden jedoch über 350 Stunden registriert. Ein Teil der Überhitzungsstunden mit der angenommenen manuellen Bedienung des Sonnenschutzes entsteht bereits bei relativ tiefen Aussentemperaturen. Summiert sich der Einfluss des schlechteren Sonnenschutzes mit demjenigen des Klimawandels können bereits über 1'000 Überhitzungsstunden resultieren wie im Jahr 2068.

Wird der Sonnenschutz wie in *Option 2* angenommen nicht betätigt, führt dies erwartungsgemäss zu einem deutlichen Anstieg der Innentemperaturen und Überhitzungsstunden in den jeweiligen Jahren. Die Auswirkungen sind ausgeprägter als in der Option 1. Die Anzahl der Überhitzungsstunden multipliziert sich im Jahr 2004 um mehr als das Vierfache (Anstieg von 27 auf 119 Stunden), 2063 resultieren über 400 Überhitzungsstunden. Im Extremjahr 2068 würden im Mittel aller Zonen über 1'100 Überhitzungsstunden resultieren (ein Viertel der Sommerperiode).

Die Simulationen zeigten die Wichtigkeit des Sonnenschutzes heute – und noch verstärkt im Hinblick auf die Klimaerwärmung – eindrücklich auf. Mit der realitätsnahen Option 1 wurde prognostiziert, dass Innenraumtemperaturen in einem warmen Jahr der Periode „2060“ über 20 % des Sommers nicht im Komfortbereich sein würden. Dass die Ergebnisse der Option 2 nicht noch schlechter ausfielen, liegt daran, dass beim Referenzgebäude ein bedeutender Anteil der Fenster durch die Loggiabalkone im Sommer fix verschattet wird. Dieser Aspekt verdeutlichte wiederum die Bedeutung der fixen Beschattung an Gebäuden. Der Ansatz solcher Konzepte könnte mit dem Klimawandel verstärkt an Bedeutung gewinnen, da ohne Einsatz von allenfalls kostspieliger oder schadenanfälliger Technologie nutzerunabhängig eine beträchtliche Wirkung erzielt werden kann. Bezeichnend ist, dass in wärmeren –



und ärmeren – Klimaregionen wie beispielsweise in Afrika die fixe Beschattung an Gebäuden weitaus mehr Verbreitung findet als bei uns.

5.2.2.3. Nutzerverhalten

Die vorangehenden Parameter zur „Nachtkühlung“ und zum „Sonnenschutz“ wurden zur Abbildung von vier möglichst unterschiedlichen, jedoch durchaus plausiblen und repräsentativen Nutzerverhalten kombiniert. Abbildung 73 und der folgende Beschrieb zeigt eine Übersicht zu den getroffenen Annahmen der Parameterkombination:

Referenz: „der tagsüber Anwesende“:

- Nachtkühlung: gemäss Referenzoption der mechanischen Lüftung
- Sonnenschutz: gemäss Referenzoption der Sonnenschutzsysteme

Option 1: „der tagsüber Abwesende“:

- Nachtkühlung: gemäss Option 1 der mechanischen Lüftung
- Sonnenschutz: gemäss Option 1 der Sonnenschutzsysteme

Option 2: „der energiebewusste Nutzer“:

- Nachtkühlung: gemäss Option 1 der natürlichen Lüftung (optimales Lüftungsverhalten)
- Sonnenschutz: gemäss Referenz (optimale Betätigung des Sonnenschutzes)

Option 3: „der energieunbedachte Nutzer“:

- Nachtkühlung: gemäss Option 2 der mechanischen Lüftung (Verlass auf Technik)
- Verschattungssysteme: Option 2 (Extremfall)

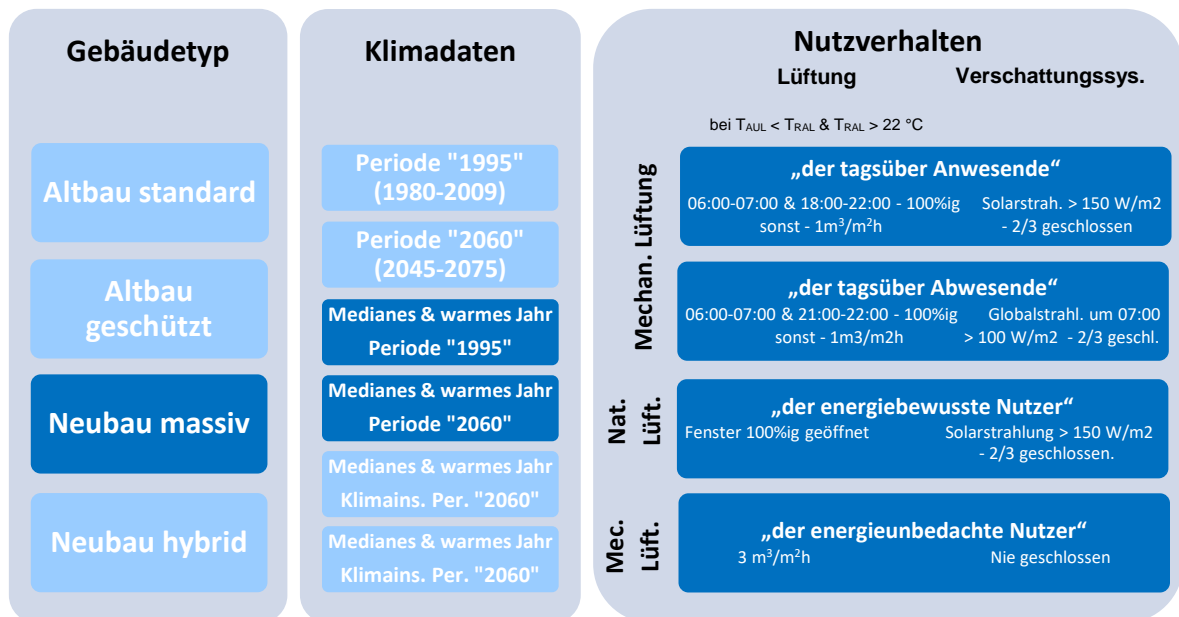


Abbildung 73: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern des Nutzerverhaltens.



Abbildung 74, Abbildung 75 und Abbildung 76 zeigen die Simulationsergebnisse zur Nutzervervariation.

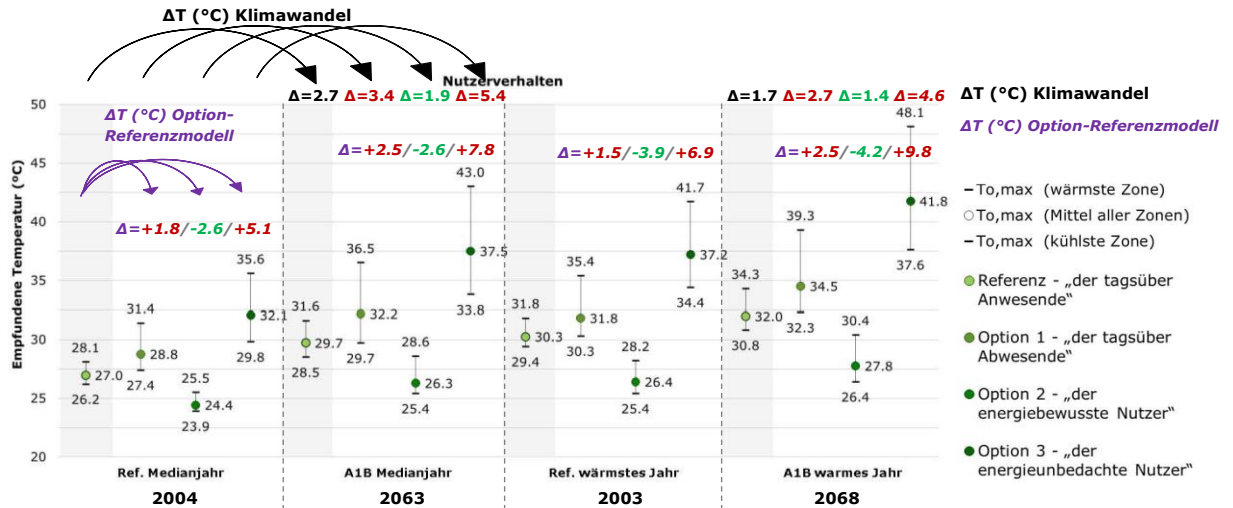


Abbildung 74: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

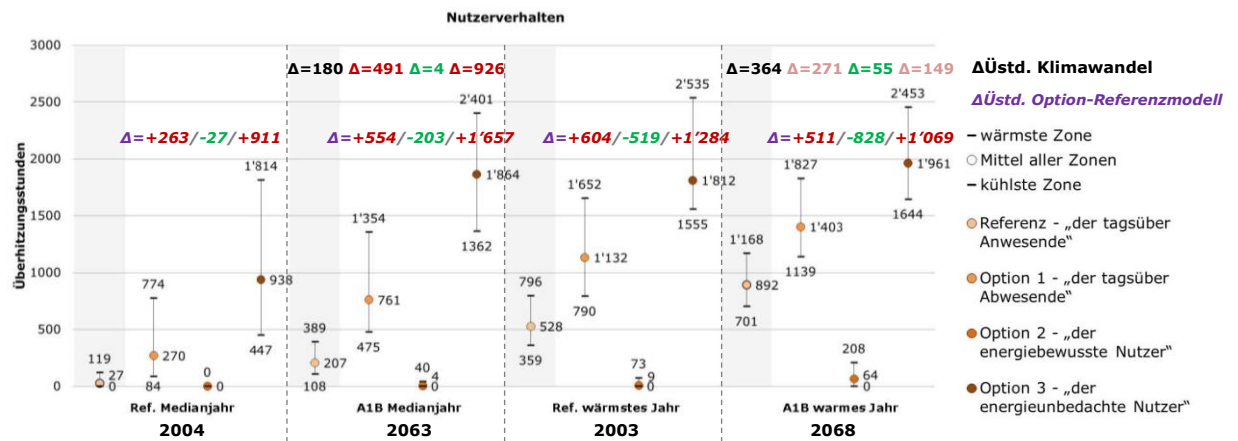


Abbildung 75: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens und der untersuchten Jahre.

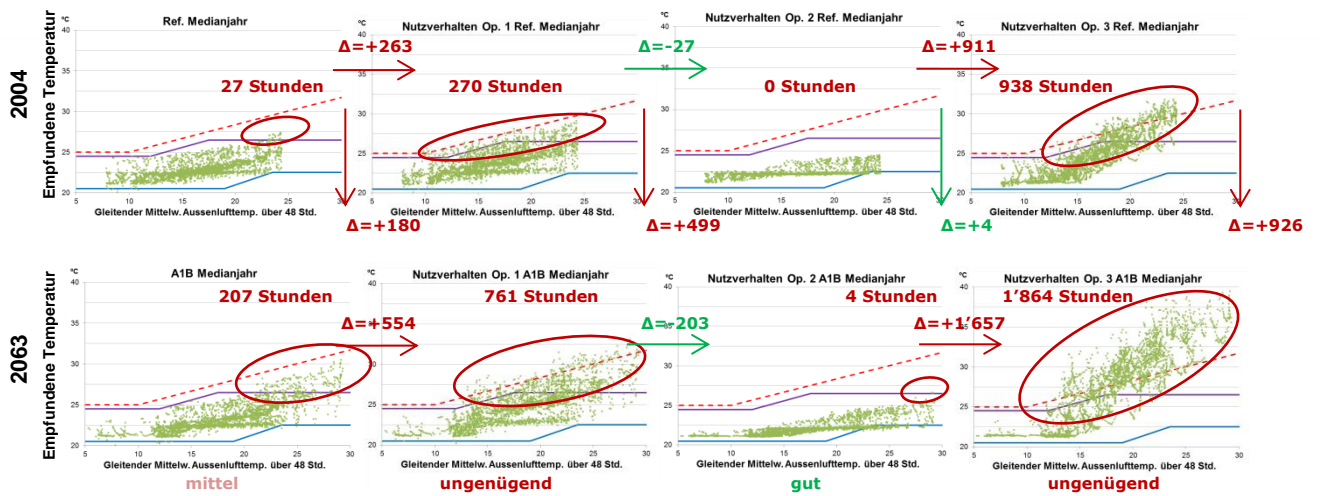


Abbildung 76: Empfundene Raumtemperaturen in Relation zur Aussentemperatur in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens während der Sommerperiode der Medianjahre aus den Perioden „1995“ und „2060“ (Darstellung mit Komfortgrenzlinien gemäss SIA 180:2014 [12]). Die Stundenanzahldifferenzen bei den vertikalen Pfeilen sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die bei den horizontalen Pfeilen auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen. Die roten Ovale markieren die angegebenen Überhitzungsstunden.

Bei der *Option „tagsüber Abwesende“* wird davon ausgegangen, dass die Lüftung und Verschattungssysteme aufgrund der Abwesenheit der Bewohner nicht ideal bedient werden können. Im Vergleich zur Referenzoption - der *„tagsüber Anwesende“* - erhöht sich die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) in der Periode „1995“ um 1.5-1.8 °C. Die Anzahl an Überhitzungsstunden steigt dabei erheblich an (2004 um das 10-Fache von 27 auf 270 Stunden und 2003 um das 2-fache von 528 auf 1'132 Stunden). In den Jahren der Periode „2060“ ist der Anstieg ausgeprägter, bei den Innentemperaturen beträgt er 2.5 °C, was zu einer Erhöhung um über 500 Überhitzungsstunden führt.

Wird der Einfluss der erhöhten Aussentemperaturen als Folge des Klimawandels der unzureichenden Bedienung von Lüftung und Verschattungssysteme summiert, verstärkt sich die Problematik zusätzlich: Die Innentemperatur steigt beispielsweise im Jahr 2063 um weitere 3.4 °C gegenüber 2004 an; verglichen mit dem optimierten Betrieb des *„tagsüber Anwesenden“* beträgt der Temperaturunterschied in der gleichen Periode somit gesamthaft gar 5.2 °C. Die Folgen des Temperaturanstiegs äussern sich mit 761 Überhitzungsstunden im Jahr 2063 und über 1'400 im Jahr 2068. Das eigentlich gut ausgerüstete Gebäude würde demnach im 2068 während einem Drittel der Sommerperiode ausserhalb des vordefinierten Komfortbereichs liegen. Dies zeigte die Wichtigkeit einer Gebäudeausrüstung auf, welche dessen Funktionstüchtigkeit auch in Abwesenheit der Bewohner gewährleistet. Automatisierte Lüftungs- und Verschattungssysteme könnten dafür geeignete Lösungen sein.

Der *„energiebewusste Nutzer“* lüftet und bedient den Sonnenschutz in idealer Weise. Eine genügende Behaglichkeit wird dadurch im Gebäude nahezu immer sichergestellt. Die Innentemperaturen können gegenüber der Referenzoption deutlich gesenkt werden. Im ausserordentlich warmen Jahr 2068 resultieren in der Sommerperiode lediglich tolerierbare 64 Überhitzungsstunden. Dies zeigte auf, dass in heutigen Wohngebäuden, die der Referenztypologie entsprechen, bei idealer Nutzung auch angesichts des Klimawandels komfortable Innenraumtemperaturen gewährleistet werden können.

Beim *„energieunbedachten Nutzer“* verschlechtert sich die Behaglichkeit im Vergleich zur Referenzoption erwartungsgemäss massiv. Die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) steigt aufgrund der Fehlbedienung von Lüftung und Sonnenschutz in den jeweiligen Jahren um ca. 5 bis 7



°C an. Durch die erhöhten Aussentemperaturen als Folge des Klimawandels addieren sich weitere 5 °C etwa dazu. Dies hätte im Medianjahr 2063 über 1'800, im Extremjahr 2068 nahezu 2'000 Überhitzungsstunden zur Folge, was nahezu der Hälfte der Sommerperiode gleichkommt. Daraus liess sich schliessen, dass auch gut ausgestattete Wohngebäude bei falscher Nutzung heute und in Zukunft verstärkt über lange Zeitspannen unbehaglich sein werden.

5.2.2.4. Fazit

Basierend auf den Simulationen zu den Betriebsparametern können wesentliche Schlüsse hinsichtlich des zukünftigen Gebäudekomforts gezogen werden:

Die analysierten Parameter *Lüftung*, *Sonnenschutz* und *Nutzerverhalten* haben einen massgeblichen Einfluss auf die Innenraumtemperaturen und somit auf die Behaglichkeit im Gebäude.

Die negativen Auswirkungen der in der Parameterstudie untersuchten unzureichenden Benutzung des Gebäudes werden mit dem Klimawandel und den damit verbundenen höheren Aussentemperaturen zusätzlich verstärkt!

Wird die nach heutigem Stand der Technik erstellte Gebäudeinfrastruktur optimal bedient, insbesondere hinsichtlich der Nachtkühlung und des Sonnenschutzes, können nicht nur gegenwärtig, sondern auch im Hinblick auf den fortschreitenden Klimawandel mit einer durchschnittlichen Erwärmung von ca. 2.1 °C bis in die Periode „2060“ nach Szenario A1B komfortable Bedingungen in Wohngebäuden gewährleistet werden.

Die optimale Bedienung des Gebäudes ist jedoch, vor allem im urbanen Stadtgebiet, nicht immer einfach sicherzustellen. Sie hängt teilweise von übergeordneten Faktoren ab. So kann z.B. die natürliche Lüftung und somit eine ausreichende Nachtkühlung aufgrund der Lärmbelastung oder der Einbruchgefahr nicht jederzeit gewährleistet werden. Eine rein mechanische Lüftung zur Kühlung des Gebäudes ist indes, auch mit einem für heutige Verhältnisse hoch angesetzten Luftwechsel, in der Zukunft nicht ausreichend. Einen grossen Einfluss auf die Gebäudebedienung haben die Bewohner selbst. Inwiefern eine Erhöhung des Automatisierungsgrads im Gebäude oder eine Sensibilisierung der Bewohner zur Optimierung der Behaglichkeit führen würde, muss in der Realität noch nachgewiesen werden.

Die Lüftung hat heute, unter Bedingungen wie beim Referenzgebäude, einen höheren Stellenwert als der Sonnenschutz in Bezug auf die Behaglichkeit im Gebäude. Die Wichtigkeit wird mit den zunehmenden Aussenraumtemperaturen verstärkt. Die Abkühlung eines überhitzten Gebäudes wird ohne effiziente Lüftung kaum möglich sein. Eine mangelhafte Verschattung wird tagsüber zu sehr hohen Innenraumtemperaturen führen, die jedoch durch gezielte Nachtkühlung wieder reduziert werden können. Dies wird allerdings nur bis zu einem gewissen Grad respektive bis zu bestimmten Aussentemperaturen und nur in Gebäuden mit ausreichenden fixen Beschattungselementen wie die Balkone im Beispielgebäude funktionieren. Ein effizientes mobiles Verschattungssystem wird jedoch auch künftig für einen genügenden Komfort im Gebäude unabdingbar sein, insbesondere im Hinblick auf den Einbau von Kühlsystemen und den entsprechenden Energiebedarf für deren Betrieb.

5.2.3. Entwurfparameter

Im Abschnitt „Entwurf“ wurden diejenigen Parameter untersucht, die direkt mit der frühen Projektierung von Gebäuden zu tun haben. Im Zusammenhang mit dem Energiebedarf und der Behaglichkeit sind dies primär die **U-Werte** der einzelnen Bauteile sowie der **Fensteranteil**, die **Orientierung** und die **Wärmespeicherfähigkeit** der Gebäude.

Bei den Entwurfparametern wurde der Fokus nicht ausschliesslich auf die Behaglichkeitsbetrachtung gelegt, sondern um die energetische Analyse (Heizwärme- und Klimakältebedarf) erweitert.

5.2.3.1. U-Wert

Es wurden je drei Optionen für die opaken Bauteile und die transparenten Komponenten (Fenster) miteinander verglichen und mit den Ergebnissen des Referenzmodells in Bezug gesetzt. Abbildung 77 zeigt die untersuchten Optionen zu den untersuchten U-Werten in der Übersicht.

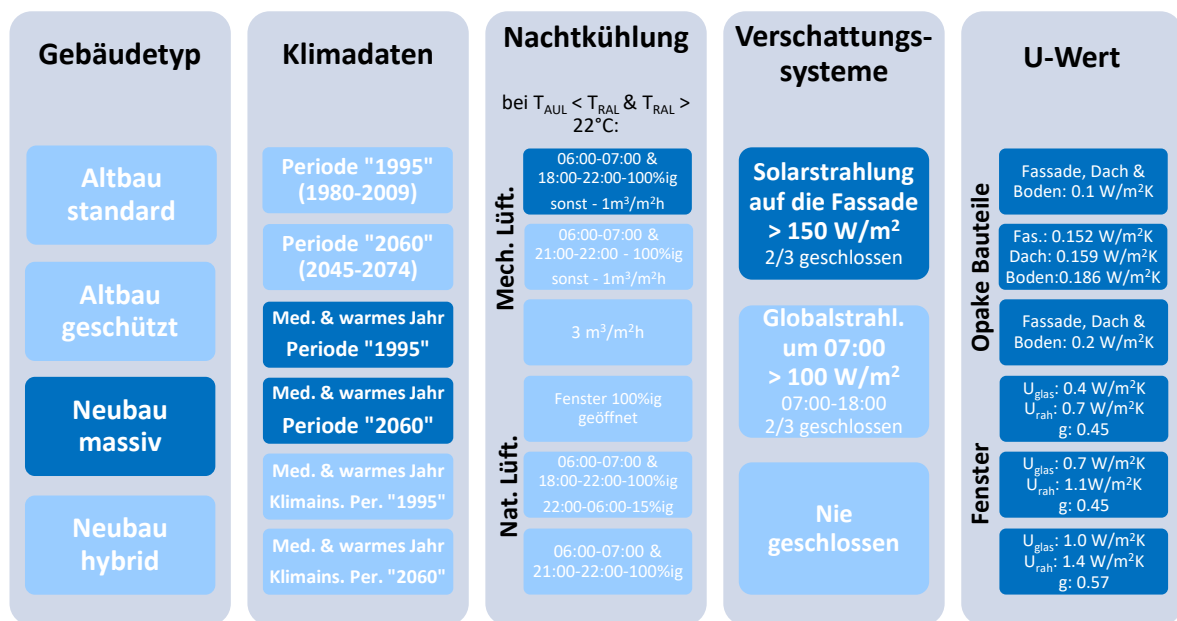


Abbildung 77: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern hinsichtlich der U-Werte.

5.2.3.1.1. Opake Bauteile

Neben den tatsächlichen Dämmeigenschaften der Fallstudie „Neubau massiv“ wurden hochgedämmte bis knapp genügend gedämmte Bauteile der opaken Konstruktionen Aussenwand, Dach und Boden simuliert. Dabei wurden folgende U-Werte angenommen:

Referenz: U-Werte analog der Fallstudie „Neubau massiv“, Auszug:
Aussenwand $0.15 W/m^2K$, Dach: $0.16 W/m^2K$, Boden (Decke UG): $0.19 W/m^2K$

Option 1: U-Wert von Aussenwand, Dach und Boden $\Rightarrow 0.1 W/m^2K$
Restliche U-Werte analog der Fallstudie „Neubau massiv“



Option 2: U-Wert von Aussenwand, Dach und Boden $\Rightarrow 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Restliche U-Werte analog der Fallstudie „Neubau massiv“

Abbildung 78, Abbildung 79 und Abbildung 80 zeigen die Simulationsergebnisse zur Variation der opaken Bauteile.

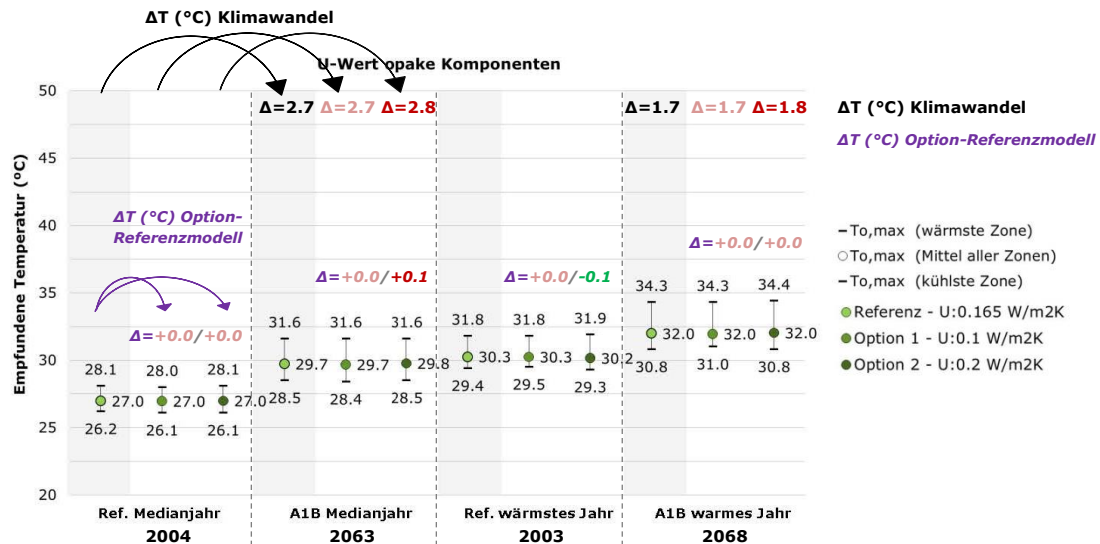


Abbildung 78: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der U-Wert-Option der opaken Komponenten und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

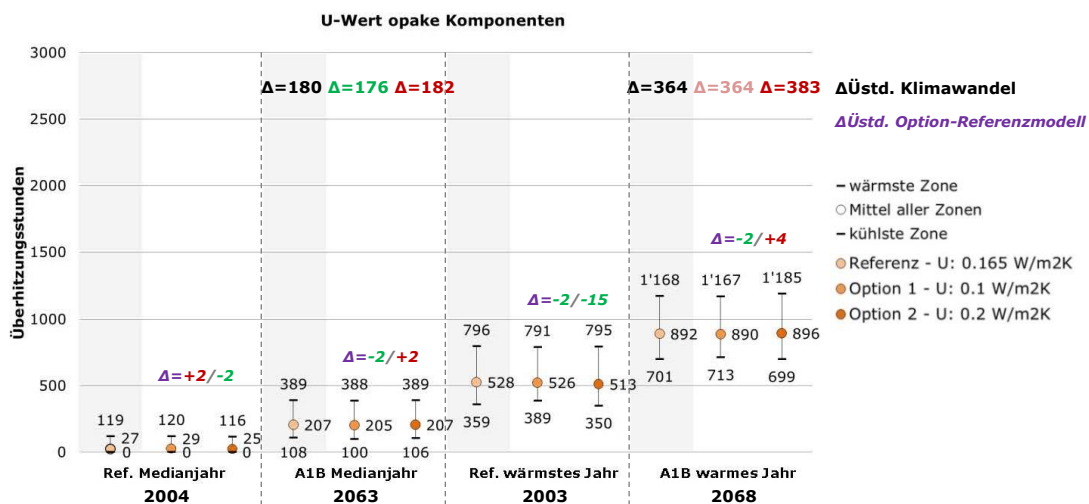


Abbildung 79: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit der U-Wert-Option der opaken Komponenten und der untersuchten Jahre.

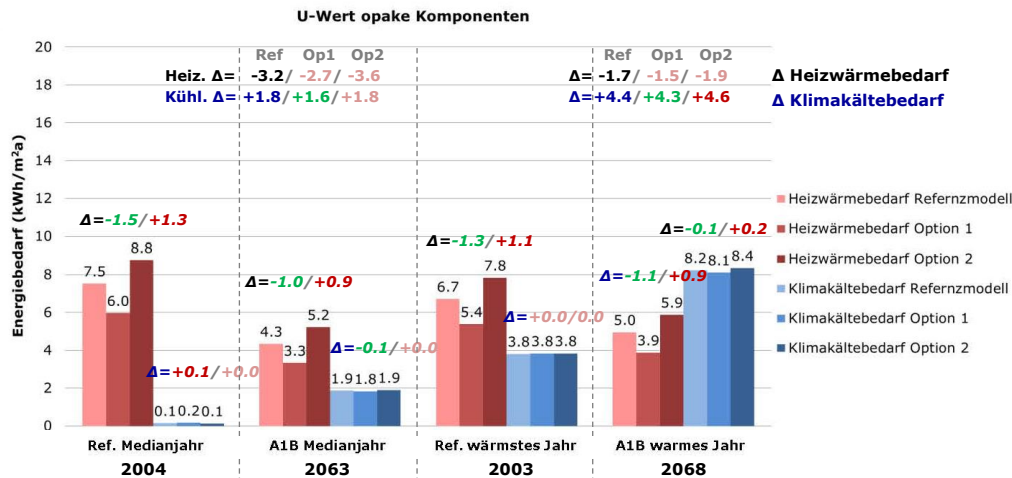


Abbildung 80: Heizwärme- und Klimakältebedarf in Abhängigkeit der U-Wert-Option der opaken Komponenten und der untersuchten Jahre.

Die Variation des U-Wertes an den opaken Komponenten der Hülle hat lediglich geringfügige Auswirkungen auf Innenraumtemperaturen in den Sommermonaten und somit auf die Behaglichkeit.

Hinsichtlich des Energieverbrauchs resultiert bei *Option 1* mit den besseren Dämmwerten in der Periode „1995“ ein um 20% reduzierter Heizwärmebedarf gegenüber der Referenzoption (von 7.5 auf 6 kWh/m²a im Jahr 2004 und von 6.7 auf 5.4 kWh/m²a im Jahr 2003). Der Klimakältebedarf erhöht sich 2004 um 13% (von 0.15 auf 0.16 kWh/m²a) und bleibt 2003 nahezu unverändert (von 3.82 auf 3.84 kWh/m²a). In den Jahren 2063 und 2068 ist die prozentuale Heizwärmebedarfsänderung ähnlich.

Bei *Option 2* mit den schlechteren Dämmwerten erhöht sich der Heizwärmebedarf in der Periode „1995“ gegenüber der Referenzoption um rund 17% (von 7.5 auf 8.8 kWh/m²a im Jahr 2004 und von 6.7 auf 7.8 kWh/m²a im Jahr 2003). Der Klimakältebedarf variiert in geringfügigerem Masse, er reduziert sich um etwa 8%. Die Energiebedarfsentwicklung zwischen den Optionen ist in der Periode „2060“ in etwa dieselbe.

Werden alle Jahre und die Auswirkungen des Klimawandels in der Betrachtung miteinbezogen, kann hinsichtlich des Heiz- und Klimakältebedarfes eine ähnliches Verhalten bei der Parametervariation beobachtet werden. In Anbetracht der jeweiligen Reduktion des Heizwärmebedarfs durch bessere Dämmwerte und die geringfügigeren Veränderungen durch die Variationen beim Klimakältebedarf, ist eine bessere Dämmung der opaken Bauteile aus Sicht der Betriebsenergie weiterhin klar empfehlenswert. In den Jahren 2063 und 2068 wird mit besseren Dämmwerten gar eine leichte Reduktion des Klimakältebedarfs gegenüber der Referenzoption erreicht.

5.2.3.1.2. Fenster

Für die Simulationen bei der Parametervariation der Fenster wurden eine Zweifach-Verglasung, die Dreifach-Verglasung aus der Fallstudie sowie eine erwartete technische Entwicklung der Verglasung angenommen:

Referenz: Werte analog der Fallstudie „Neubau massiv“ (Dreifach-Verglasung)
U-Werte Glas 0.7 W/m²K, Rahmen: 1.1 W/m²K; g-Wert Glas 0.45.



- Option 1: zukünftige Entwicklung
 U-Werte Glas \Rightarrow 0.4 W/m²K, Rahmen \Rightarrow 0.7 W/m²K; g-Wert Glas \Rightarrow 0.45.
- Option 2: Zweifach-Verglasung
 U-Werte Glas \Rightarrow 1.0 W/m²K, Rahmen \Rightarrow 1.4 W/m²K; g-Wert Glas \Rightarrow 0.57.

Abbildung 81, Abbildung 82 und Abbildung 83 zeigen die Simulationsergebnisse zur Variation der Fenstereigenschaften.

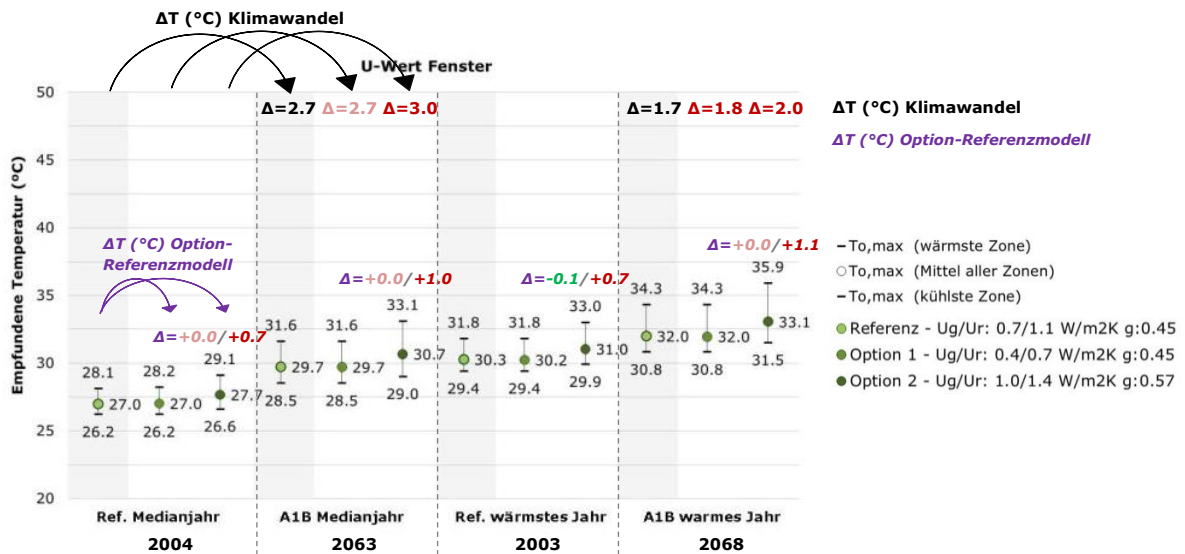


Abbildung 81: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der U-Wert-Option der Fenster und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

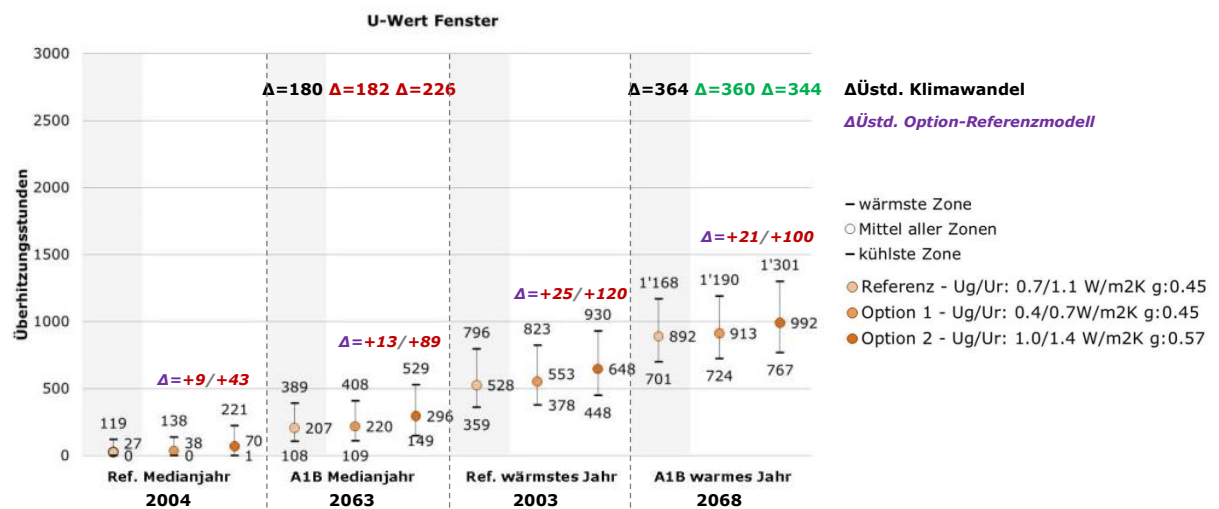


Abbildung 82: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit der U-Wert-Option der Fenster und der untersuchten Jahre.

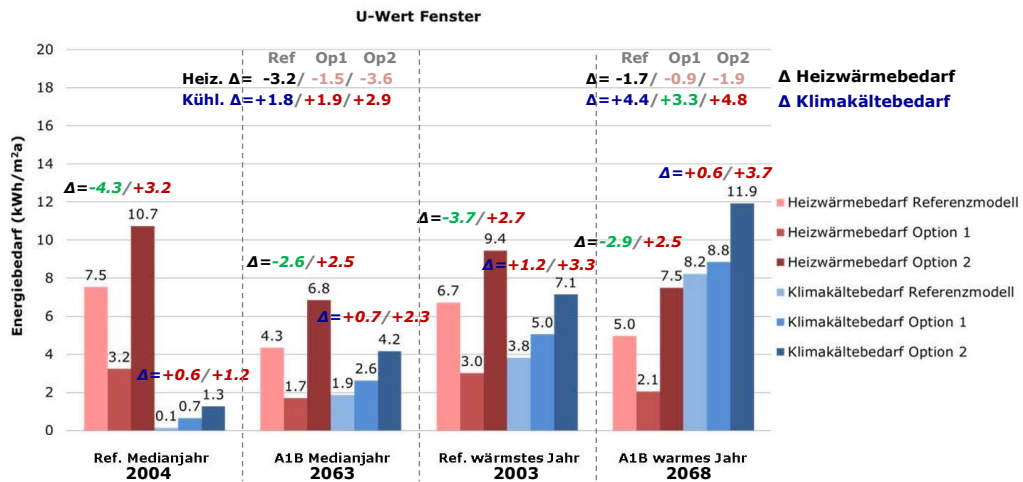


Abbildung 83: Heizwärme- und Klimakältebedarf in Abhängigkeit der U-Wert-Option der Fenster und der untersuchten Jahre.

Durch den Einsatz von Verglasung mit verbessertem U-Wert der *Option 1* ändern sich die maximale empfundene Temperatur und die Anzahl an Überhitzungsstunden im Vergleich zur Referenzoption nur geringfügig. Dies ist auf die identischen g-Werte der verglichenen Verglasungen zurückzuführen.

Der Heizwärmebedarf reduziert sich durch den verbesserten Dämmwert in der Periode „1995“ gegenüber der Referenzoption um mehr als die Hälfte (von 7.5 bis 3.2 kWh/m²a im 2004 und von 6.7 bis 3.0 kWh/m²a im 2003). Der Klimakältebedarf nimmt zu (von 0.1 auf 0.7 kWh/m²a im Jahr 2004 und um 30%, von 3.8 auf 5.0 kWh/m²a im 2003). In der Periode „2060“ ist die Reduktion beim Heizwärmebedarf ähnlich, der Anstieg des Klimakältebedarfs prozentual aber weniger stark.

Die Zweifach-Verglasung der *Option 2* hat, mit der Referenzoption verglichen, negative Auswirkungen auf die Behaglichkeit. Die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) nimmt in der Periode „1995“ um 0.7 °C zu. Dabei steigt die Überhitzungsstundenanzahl 2004 auf das 2.5-fache (von 27 auf 70 Stunden) und um ca. 20% (von 528 bis 648 Stunden) im Jahr 2003. In der Periode „2060“ fällt die Temperaturdifferenz, mit ca. 1 °C etwas ausgeprägter aus. Es werden dementsprechend auch mehr Überhitzungsstunden registriert. Der höhere g-Wert der Verglasung spielt bei der Behaglichkeitsbetrachtung eine erhebliche Rolle.

Der Heizwärmebedarf erhöht sich im Vergleich zur Referenzoption in allen untersuchten Jahren in ähnlichem Masse. Der Anstieg des Klimakältebedarfs ist ebenfalls in allen Jahren deutlich.

Der bessere Dämmwert der Verglasung führt, bei gleichbleibendem g-Wert, heute und in Zukunft zu einer Reduktion der Heizwärmebedarfs und einer Zunahme der Klimakältebedarf, wobei die Reduktion immer höher ausfällt als die Zunahme. Die schlechtere Verglasung führt trotz höheren g-Wert im Referenzgebäude stets zu einer Erhöhung sowohl des Heizwärme- als auch des Klimakältebedarfs. Mit den wärmeren Aussentemperaturen als Folge des Klimawandels haben verbesserte Verglasungen im Vergleich zu heute einen leicht niedrigeren, jedoch immer noch positiven Einfluss auf den Betriebsenergiebedarf.

5.2.3.2. Fensteranteil

Die Fenstergrößen hängen weitgehend von der Typologie und dem Baujahr des Gebäudes ab. Der Fensteranteil in Fassaden ist heute deutlich höher als derjenige von Altbauten, die Tendenz ist weiterhin zunehmend. Der Fassadenanteil der Fenster im Fallbeispiel „Neubau massiv“ ist für den Wohnungsbau bereits vergleichsweise hoch. Der Einfluss der Fensterdimensionen auf die Behaglichkeit und Energiebedarf wurde demnach anhand folgender und in der Abbildung 84 festgehaltenen Optionen untersucht:

Referenz: Fenstergrößen analog der Fallstudie „Neubau massiv“
Fensteranteil der Fassade 53.8%. (gesamt)

Option 1: Reduktion der Fenstergrößen um jeweils 25%

Option 2: Reduktion der Fenstergrößen um jeweils 50%

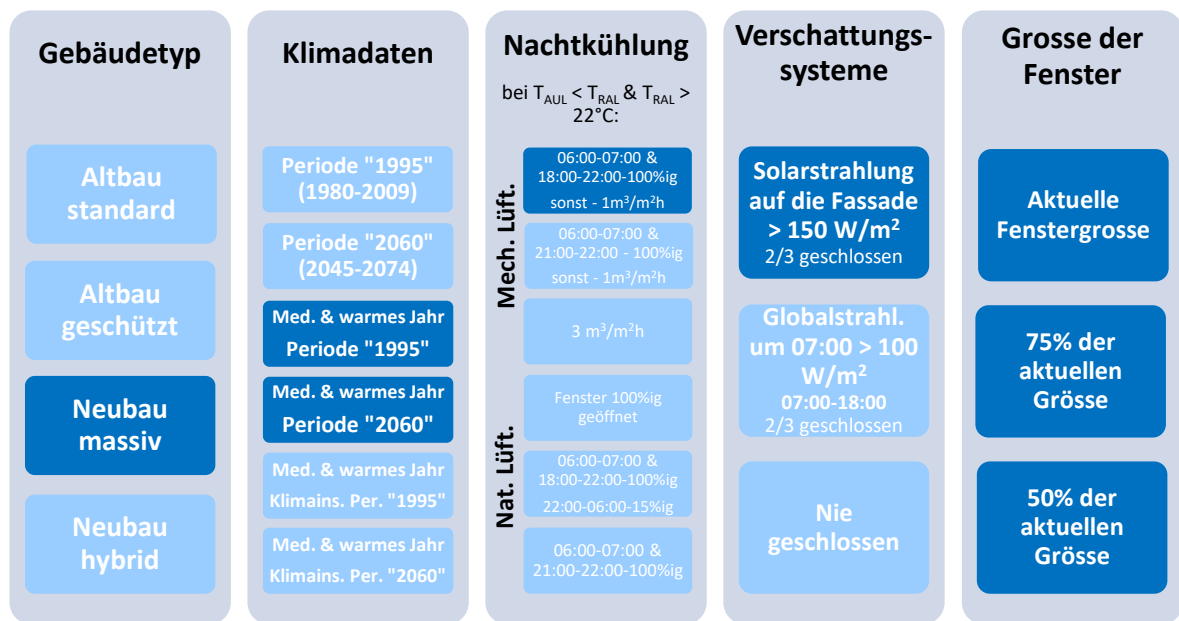


Abbildung 84: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern hinsichtlich der U-Werte.

In Abbildung 85, Abbildung 86 und Abbildung 87 sind die Simulationsergebnisse hinsichtlich der zwei untersuchten Optionen zum Fensteranteil im Vergleich zur Referenzoption dargestellt.

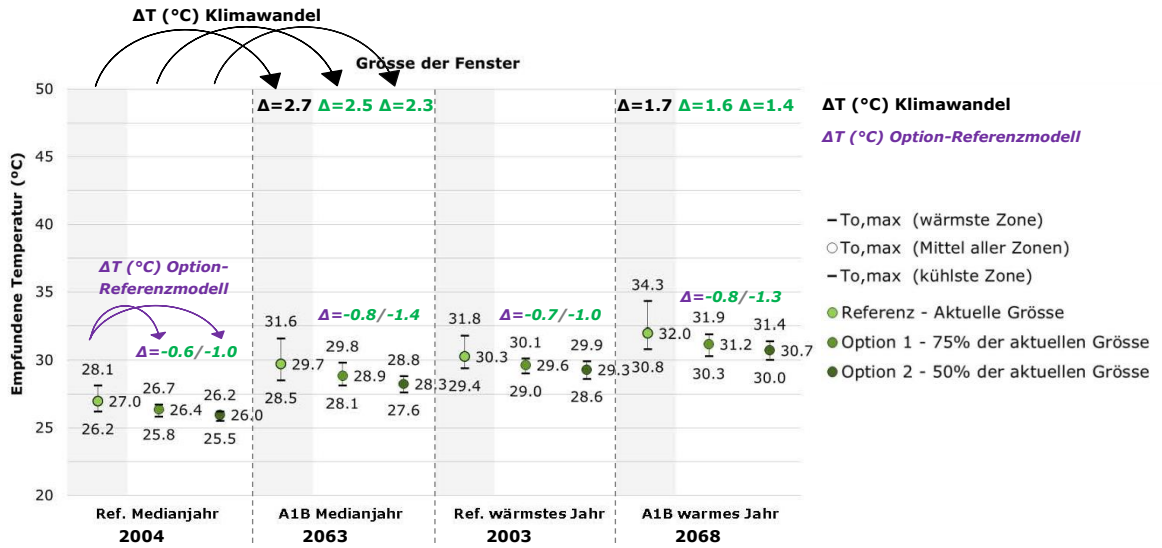


Abbildung 85: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Fenstergrösse und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

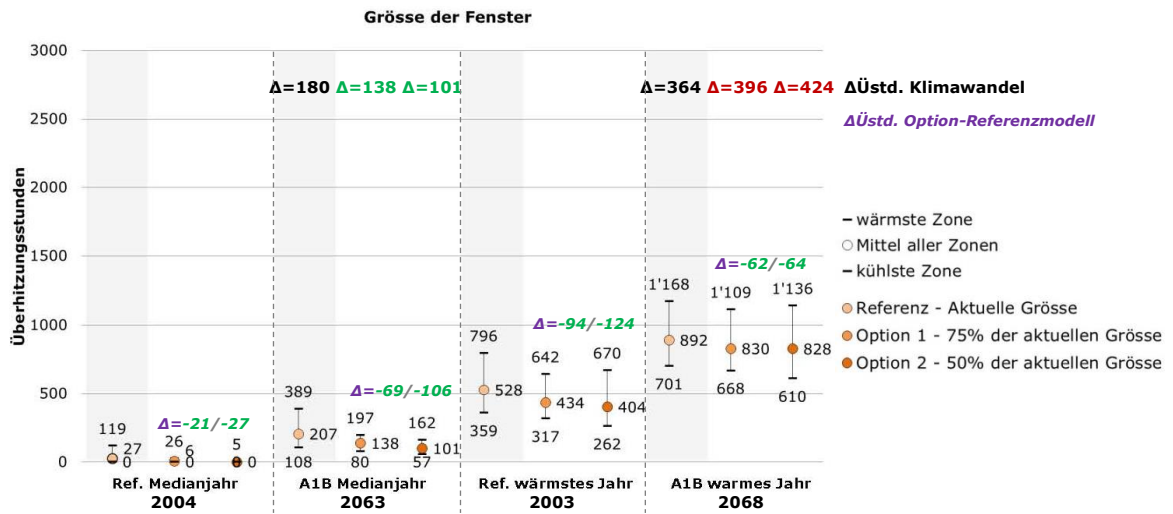


Abbildung 86: Anzahl Überheizungsstunden in Abhängigkeit der Fenstergrösse und der untersuchten Jahre.

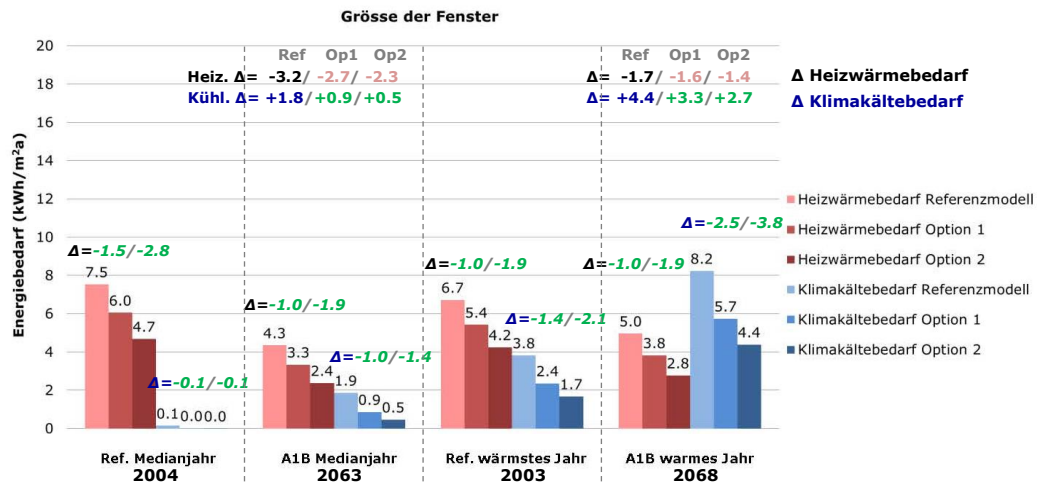


Abbildung 87: Heizwärme- und Klimakältebedarf in Abhängigkeit der Fenstergrösse und der untersuchten Jahre.

Wird die Fenstergrösse gemäss *Option 1* um 25 % reduziert, sinkt die maximale empfundene Temperatur in der Periode „1995“ im Vergleich zur Referenzoption um 0.6-0.7 °C. Die Anzahl Überhitzungsstunden reduziert sich dementsprechend um fast 80% im Jahr 2004 (von 27 auf 6) und um 20% im Jahr 2003 (von 528 bis 434). In der Periode „2060“ fällt die Temperaturreduktion leicht ausgeprägter aus (0.8 °C) Die Reduktion der Fenstergrösse ist mit einer geringeren Sonneneinstrahlung verbunden und sorgt somit für mehr Behaglichkeit im Gebäude während des Sommers.

Der Heizwärmebedarf sinkt in allen untersuchten Jahren um rund 20% aufgrund der geringeren Wärmeverluste. Der Klimakältebedarf sinkt aufgrund der verminderten Sonneneinstrahlung ebenfalls, von 0.1 auf 0.0 kWh/m²a im Jahr 2004 und von 3.8 auf 2.4 kWh/m²a im Jahr 2003, was eine Reduktion von fast 40% entspricht. 2063 beträgt die Reduktion über 50%, 2068 rund 30%.

Die Reduktion der Fenstergrösse auf 50 % gemäss *Option 2* hat ebenfalls einen positiven Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. So sinkt die maximale empfundene Temperatur um 1.0 °C. Die Anzahl der Überhitzungsstunden ist immer etwas niedriger als bei Option 1. 2004 treten keine Überhitzungsstunden mehr auf.

Der Heizwärmebedarf reduziert sich in den untersuchten Jahren noch deutlicher als bei Option 1, nämlich um bis ca. 40 %. Der Klimakältebedarf sinkt teilweise um mehr als die Hälfte.

Werden die Auswirkungen der klimatischen Veränderung auf die einzelnen Optionen verglichen (obere Werte in den jeweiligen Abbildungen), ist ersichtlich, dass die Erhöhung der maximalen empfundenen Temperatur und des Klimakältebedarfs sowie die Reduktion des Heizwärmebedarfs bei den Optionen 1 und 2 weniger ausgeprägt sind als bei der Referenzoption. Bei den Überhitzungsstunden ist der Anstieg von 2003 auf 2068 hingegen stärker als bei der Referenzoption, die absoluten Werte bleiben dennoch tiefer (ca. 830 in den Optionen 1 und 2, nahezu 900 im Referenzmodell).

Aus den Simulationen geht die Bedeutung der Fenstergrössen klar hervor. Auch in Zukunft wird ein kleinerer Fensteranteil den Heizwärme- und den Klimakältebedarf sowie das Raumklima positiv beeinflussen. Im Vergleich dazu ist die Erhöhung des Elektrizitätsbedarfs für die Beleuchtung im Wohnungsbau wenig relevant. Für Option 2 wurde einen Anstieg von 0.4 kWh/m²a berechnet.



5.2.3.3. Orientierung

Der Parameter Orientierung wurde mit der Typologie „Neubau hybrid“ untersucht. Dies erschwert zwar den Quervergleich mit den anderen untersuchten Parametern. Da der „Neubau hybrid“ jedoch aus einem linearen Block mit einer klaren Ausrichtung besteht, eignet er sich für die Analyse besser als der „Neubau massiv“. Der Einfluss der Gebäudeorientierung auf die Behaglichkeit und den Energiebedarf wurde gemäss folgenden und in der Abbildung 88 festgehaltenen Optionen untersucht:

- Referenz:** Tatsächliche Orientierung des Fallbeispiels „Neubau hybrid“
Südwestorientierung der Hauptfassade (grösster Glasanteil im Gebäude) \Rightarrow 230°
- Option 1: Südorientierung der Hauptfassade \Rightarrow 180°
- Option 2: Westorientierung der Hauptfassade \Rightarrow 270°

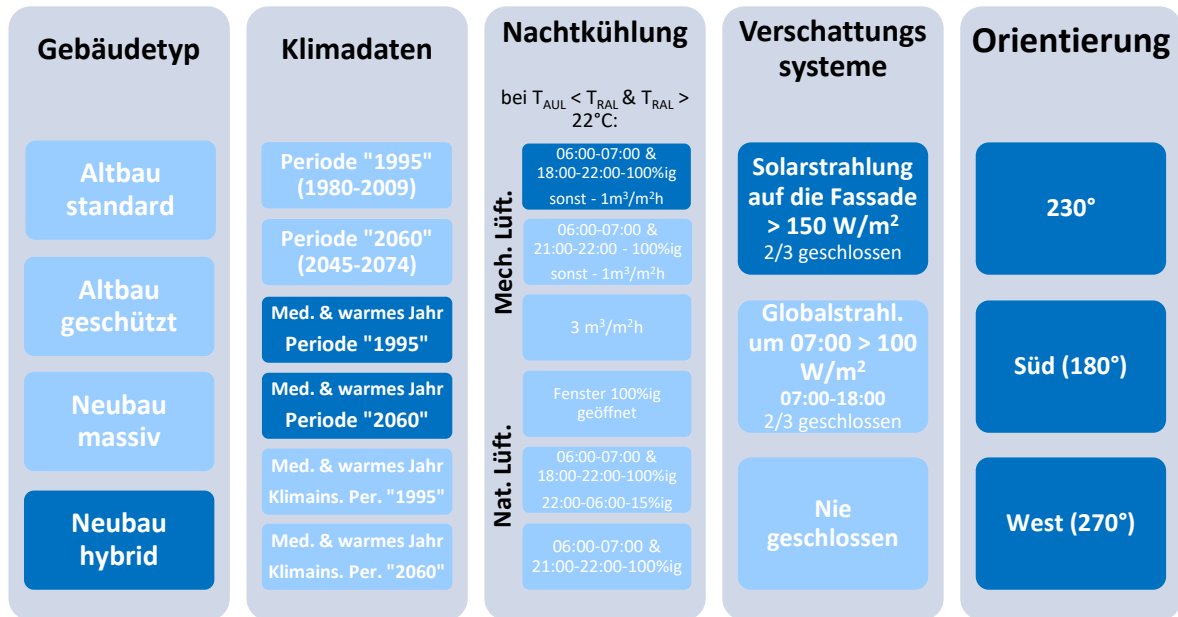


Abbildung 88: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern hinsichtlich der Orientierung.

In Abbildung 89, Abbildung 90 und Abbildung 91 sind die Simulationsergebnisse hinsichtlich der zwei untersuchten Optionen zur Gebäudeorientierung im Vergleich zur Referenzoption dargestellt.

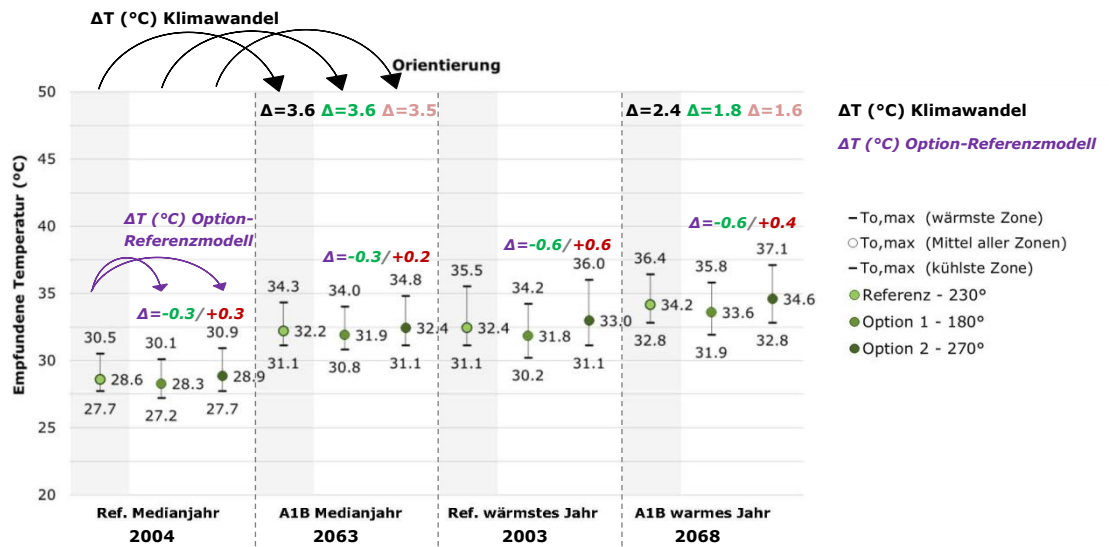


Abbildung 89: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Orientierung und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

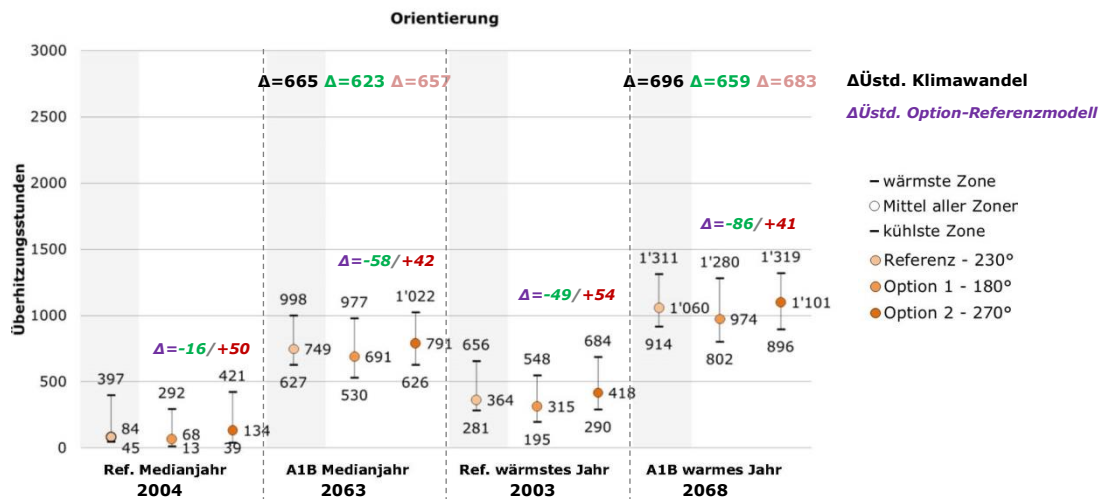


Abbildung 90: Anzahl Überhitzungsstunden in Abhängigkeit der Orientierung und der untersuchten Jahre.

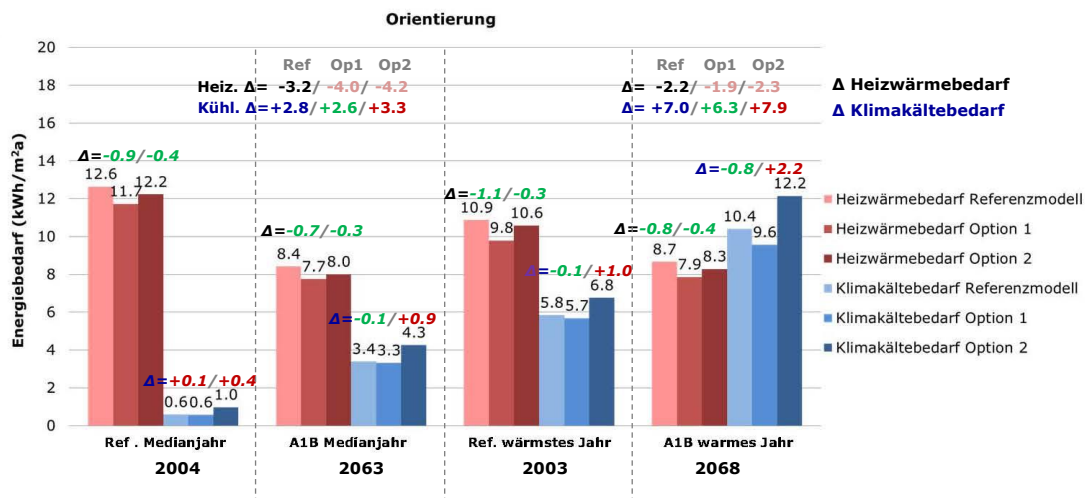


Abbildung 91: Heizwärme- und Klimakältebedarf in Abhängigkeit der Orientierung und der untersuchten Jahre.

Bei der Südorientierung gemäss *Option 1* reduziert sich die maximale empfundene Temperatur in der Periode „1995“ im Vergleich zur Referenz um ca. 0.5 °C. Die Anzahl der Überhitzungsstunden sinkt 2004 um ca. 20% (von 84 bis 68 Stunden) und 2003 um ca. 15% (von 364 bis 315 Stunden). Der Heizwärmebedarf nimmt dabei um rund 10% ab. Der Klimakältebedarf steigt 2004 um 10% (von 0.59 auf 0.66 kWh/m²a), aber nimmt 2003 leicht um rund 3% ab, von 5.84 bis 5.68 kWh/m²a. In der Periode „2060“ werden gegenüber der Referenz dieselben Temperaturreduktionen registriert. Die Überhitzungsstundenanzahl sinkt dementsprechend, jedoch prozentual etwas weniger stark.

Die Südorientierung zeigt sich beim untersuchten Gebäudebeispiel demnach auch bei höheren Ausserentemperaturen als Folge des Klimawandels vorteilhaft, selbst wenn die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) 2063 um über 3 °C gegenüber 2004 und 2068 um nahezu 2 °C gegenüber 2003 ansteigt. In sämtlichen untersuchten Jahren reduzieren sich mit der Südorientierung sowohl Heizwärmebedarf und in der Regel auch der Klimakältebedarf leicht, was mit dem Sonnenstand, respektive dem orientierungsabhängigen Einfallswinkel der Solarstrahlen, zusammenhängen dürfte.

Die Westorientierung gemäss *Option 2* führt in allen untersuchten Jahren zu einem leichten Anstieg der Innenraumtemperaturen und der Überhitzungsstunden im Vergleich zur Referenz. Der Heizwärmebedarf reduziert sich leicht, während der Klimakältebedarf jeweils etwas stärker ansteigt. Die Westorientierung zeigt sich beim untersuchten Gebäude gegenüber Referenz und Option 1 leicht im Nachteil.

5.2.3.4. Wärmespeicherfähigkeit

Die Auswirkung der Wärmespeicherfähigkeit wurde durch die Anwendung der massiven Baukonstruktion des „Neubaus massiv“ auf den „Neubau hybrid“ und umgekehrt analysiert. Dabei wurden die jeweiligen massiven/leichten Aufbauten von Böden, Decken, Wände und Dächer ausgetauscht. Der Parameter Wärmespeicherfähigkeit wurde demnach anhand folgender und in der Abbildung 92 festgehaltenen Optionen untersucht:

Referenz A: „Neubau massiv“ – bestehende massive Konstruktionen
 Wärmespeicherfähigkeit ca. 55.6 Wh/m²K (nach SIA 382/1:2007 [26])



- Option 1A: „Neubau massiv“ – mit Konstruktionsaufbauten gemäss „Neubau hybrid“
Wärmespeicherfähigkeit ca. 38.9 Wh/m²K (nach SIA 382/1:2007 [26])
- Referenz B: „Neubau hybrid“ – bestehende hybride Konstruktionen
Wärmespeicherfähigkeit ca. 41.5 Wh/m²K (nach SIA 382/1:2007 [26])
- Option 1B: „Neubau hybrid“ – mit Konstruktionsaufbauten gemäss „Neubau massiv“
Wärmespeicherfähigkeit ca. 56.4 Wh/m²K (nach SIA 382/1:2007 [26])

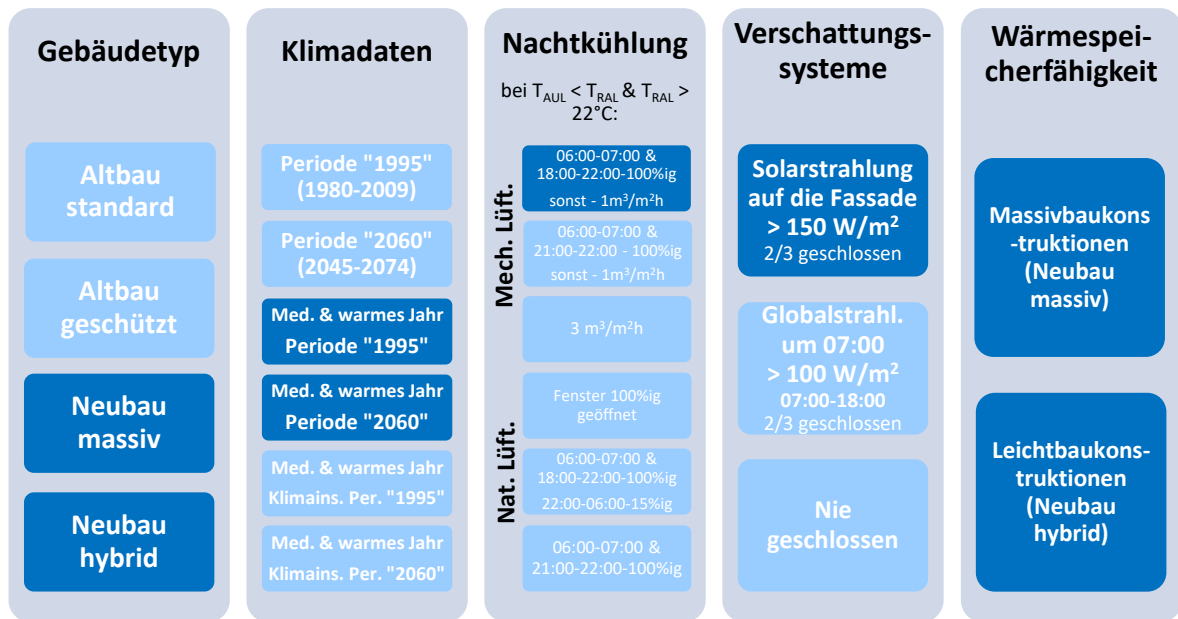


Abbildung 92: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern hinsichtlich der Wärmespeicherfähigkeit.



In Abbildung 93, Abbildung 94 und Abbildung 95 sind die Simulationsergebnisse hinsichtlich der untersuchten Optionen zur Gebäudeorientierung dargestellt.

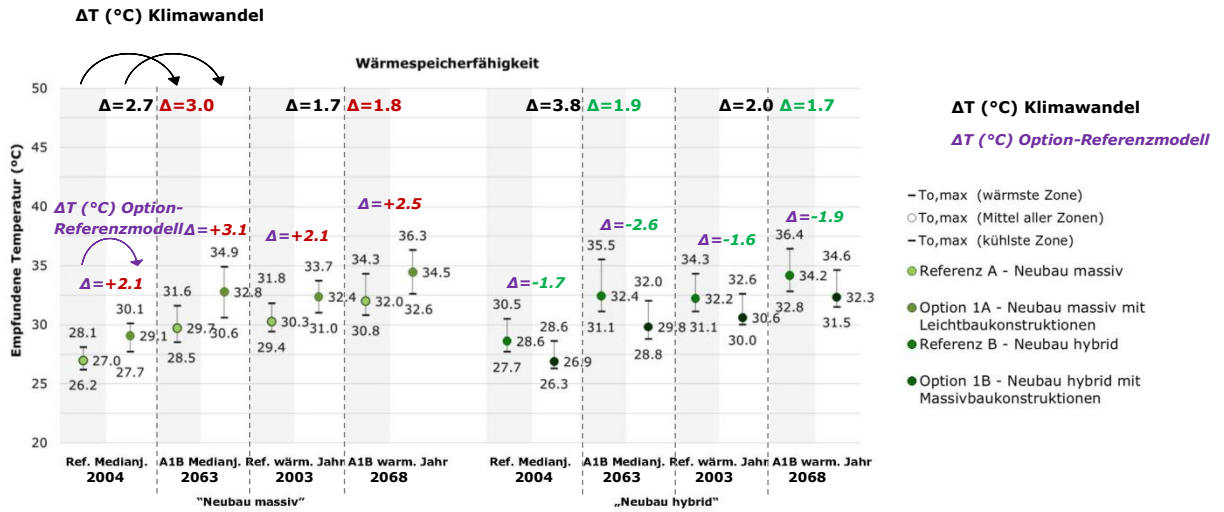


Abbildung 93: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Wärmespeicherfähigkeit und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

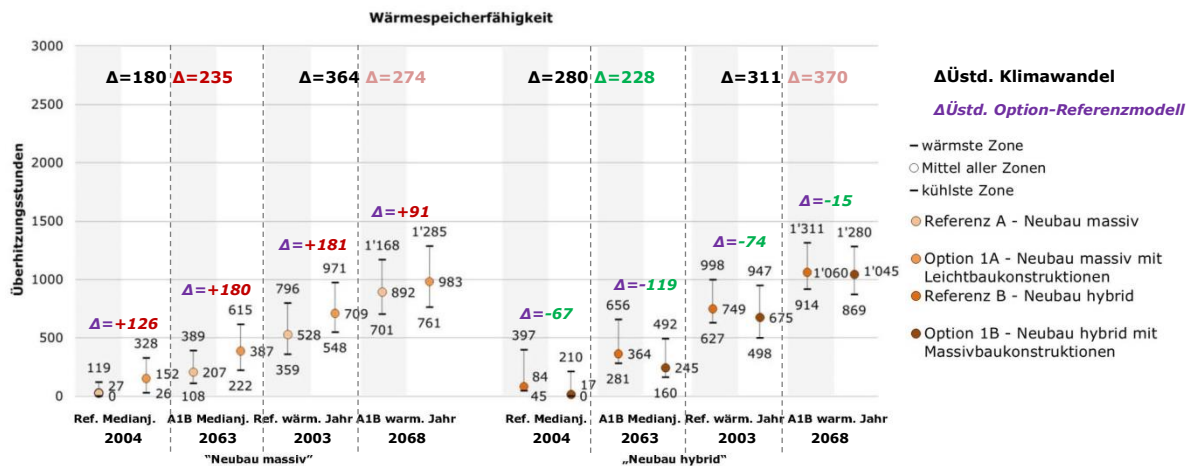


Abbildung 94: Anzahl Überhitzungsstunden in Abhängigkeit der Wärmespeicherfähigkeit und der untersuchten Jahre.

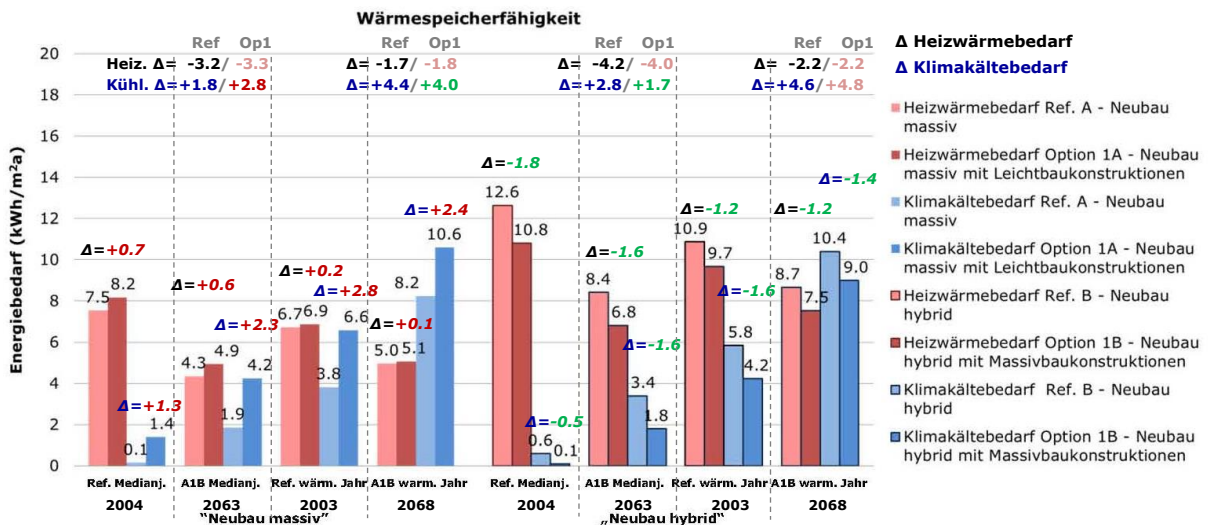


Abbildung 95: Heizwärme- und Klimakältebedarf je nach Option der Wärmespeicherfähigkeit.

Die Hybridbau-Optionen stellen gegenüber dem Massivbau eine Verschlechterung der Komfortbedingungen dar:

Werden gemäss *Option 1A* die Massivbau- durch Hybridbaukonstruktion ersetzt, erhöht sich die maximale empfundene Temperatur gegenüber der Referenz A um 2.1°C. Die Anzahl der Überhitzungsstunden steigt dabei stark an (auf ca. das 6-fache von 27 auf 157 Stunden im Jahr 2004 und um 35% von 528 auf 709 Stunden im Jahr 2003). Unter Berücksichtigung des Klimawandels erhöht sich bei Option 1A die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) 2063 um weitere 3.0 °C und 2068 um 1.8 °C. Die Anzahl der Überhitzungsstunden nimmt ebenfalls deutlich zu (auf mehr als 2-fache, von 152 auf 387 Stunden, im Jahr 2063).

Werden gemäss *Option 1B* die Hybridbau- durch Massivbaukonstruktionen ersetzt, reduziert sich die maximale empfundene Temperatur um 1.6-1.7 °C. Die Anzahl der Überhitzungsstunden sinkt ebenfalls (um 80% von 84 bis 17 Stunden im Jahr 2004 und um 10%, von 749 bis 675 Stunden, im Jahr 2003). Unter Berücksichtigung des Klimawandels erhöht sich bei Option 1B die maximale empfundene Temperatur (Mittelwert aller Zonen) 2063 um 1.9 °C und 2068 um 1.7 °C; die Anzahl der Überhitzungsstunden nimmt deutlich zu (auf mehr als 14-fache, von 17 auf 245, im Jahr 2063), bleibt jedoch tiefer als bei der Referenz B.

Im „Neubau massiv“ erhöht sich der Heizwärmebedarf durch Anwendung der Hybridbaukonstruktionen (*Option 1A*) in der Periode „1995“ gegenüber der Referenz A um 3-10% (von 7.5 bis 8.2 kWh/m²a im 2004 von 6.7 auf 6.9 kWh/m²a im 2003). Der Klimakältebedarf steigt im 2004 nahezu auf das 10-fache, von 0.15 auf 1.4 kWh/m²a, und um 70% im 2003, von 3.8 auf 6.6 kWh/m²a. In der Periode „2060“ ist die Erhöhung beim Heizwärmebedarf ähnlich, der Anstieg des Klimakältebedarfs prozentual weniger ausgeprägt. Im „Neubau hybrid“ reduziert sich der Heizwärmebedarf durch die Anwendung der Massivbaukonstruktionen (*Option 1B*) in der Periode „1995“ gegenüber der Referenz B um 12-15% (von 12.6 bis 10.8 kWh/m²a im 2004 und von 10.9 bis 9.7 kWh/m²a im 2003). Der Klimakältebedarf reduziert sich im 2004 deutlich, von 0.6 auf 0.1 kWh/m²a, und um fast 30% im 2003, von 5.8 bis 4.2 kWh/m²a. In der Periode „2060“ ist die Reduktion beim Heizwärmebedarf ähnlich, der Anstieg des Klimakältebedarfs prozentual weniger stark.



5.2.3.5. Fazit

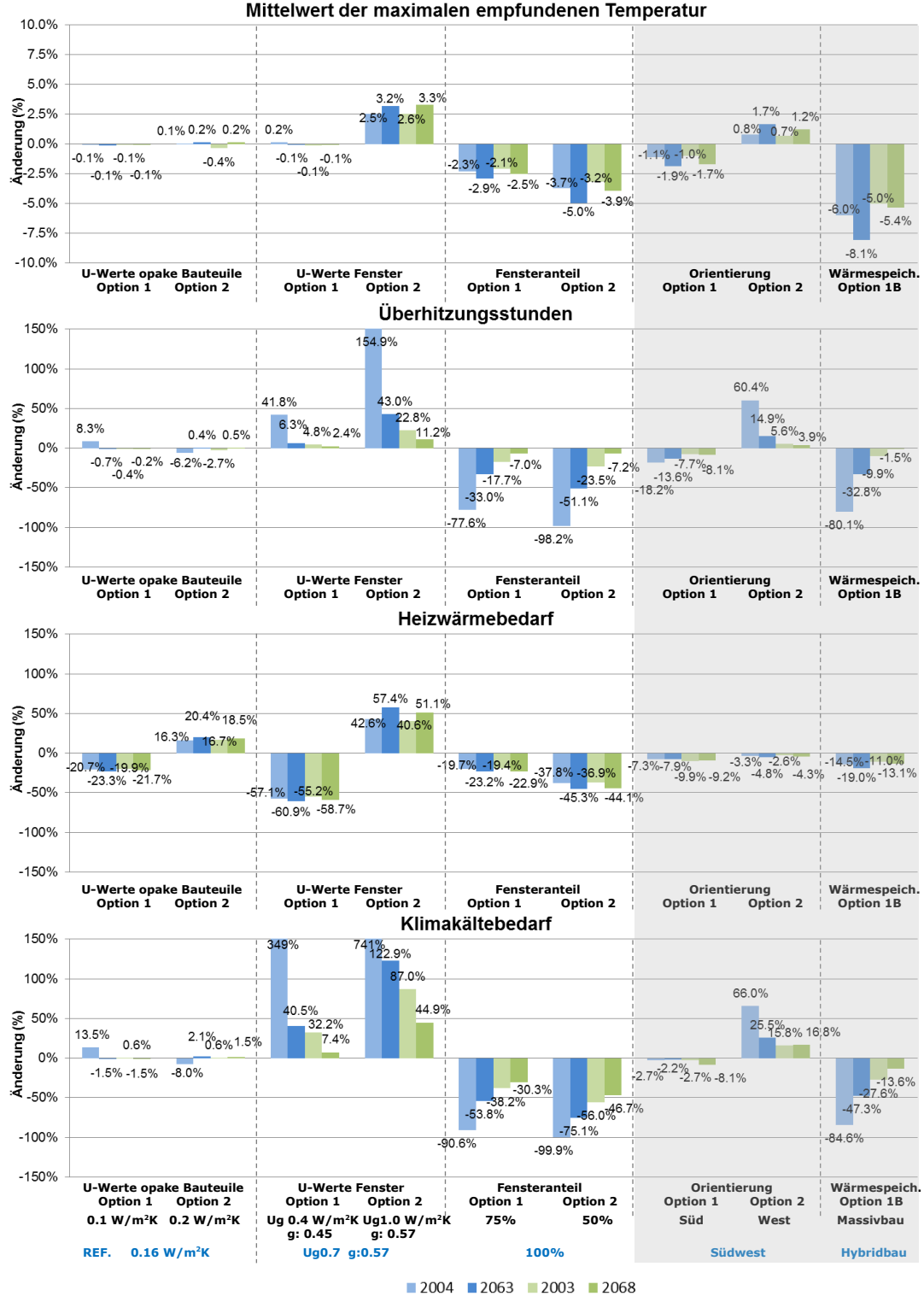


Abbildung 96: Prozentuale Änderung des Mittelwerts der maximalen empfundenen Temperatur, der Überheizungsstunden, des Heizwärme- und Klimakältebedarfs in Abhängigkeit der Entwurfparameter-Optionen. 100% wird jeweils durch die Referenzoption im jeweiligen Jahr gebildet. In Grau: Werte des „Neubau hybrid“. 120/172



Basierend auf der Analyse der Ergebnisse aus der Variation der Entwurfparameter konnten Schlüsse hinsichtlich des zukünftigen Gebäudekomforts und Gebäudeenergiebedarfs gezogen werden. Die Abbildung 96 zeigt zusammenfassend die Variabilität der Simulationsergebnisse in Abhängigkeit der untersuchenden Parameteroptionen im Vergleich:

Der *U-Wert der opaken Bauteile* hat die kleinste Auswirkung auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit im Gebäude, wobei berücksichtigt werden muss, dass ausschliesslich gute bis sehr gute Dämmwerte untersucht wurden. Ein tieferer U-Wert bleibt im Referenzobjekt auch künftig aufgrund der Reduktion des Heizwärmebedarfs in der Gesamtbetrachtung vorteilhaft.

Die *Orientierung* des Gebäudes hat ebenfalls einen vergleichsweise kleinen Einfluss auf den Heizwärmebedarf und die Raumtemperaturen. Dass der Einfluss auf den Klimakältebedarf und die Überhitzungsstunden im 2004 durch die Westorientierung (Option 2) etwas stärker ausfällt hängt vorwiegend mit dem tiefen absoluten Ausgangswert der Referenzoption in diesem Jahr aus.

Der *Fensteranteil* hat sowohl unter heutigen als auch unter künftigen Klimabedingungen den grössten Einfluss auf die Behaglichkeit und den Energiebedarf des Gebäudes. Ein kleinerer Fensteranteil führt zu einer nahezu konstanten Reduktion des Heizwärmebedarfs und der Innenraumtemperaturen über die verschiedenen Jahre. Der positive Effekt auf die Überhitzungsstunden und den Klimakältebedarf der Ergebnisse nimmt hingegen bei den wärmeren Jahren markant ab. Dies hängt ebenso mit den tiefen absoluten Ausgangswerten der Referenzoption in den medianen Jahren zusammen.

Die *Fensterqualität (U- und g-Wert)* hat ebenfalls bedeutende Auswirkungen auf die Variabilität der Ergebnisse. Höhere U-Werte führen durchwegs zu markant schlechteren Ergebnissen in allen untersuchten Bereichen. Dass der negative Effekt auf die Überhitzungsstunden in den wärmeren Jahren weniger ausgeprägt ausfällt, hängt mit dem bereits hohen Ausgangswert der Referenzoption zusammen. Ein tieferer U-Wert des Fensters hat kaum Einfluss auf die Variabilität der Innentemperaturen über die Jahre hinweg. Beim Klimakältebedarf und den Überhitzungsstunden nimmt die prozentuale negative Auswirkung mit den wärmeren Jahren deutlich ab, was wiederum einen Zusammenhang mit dem tiefen Ausgangswert der Referenzoption in den medianen Jahren hat. Der positive Einfluss auf den Heizwärmebedarf bleibt hingegen über alle Jahre hinweg konstant und bedeutsam.

Eine höhere *Wärmespeicherfähigkeit* führt zu kleineren thermischen Oszillationen und deshalb in allen untersuchten Jahren zu komfortableren Temperaturen. Die prozentuale Auswirkung nimmt auf den Klimakältebedarf und den Überhitzungsstunden ebenfalls mit den wärmeren Jahren ab, der Effekt bleibt aber in sämtlichen untersuchten Auswertungsgrössen positiv.

Die Abbildung 97 zeigt den Einfluss der Parametervariation, insbesondere zur Wärmespeicherfähigkeit und zur Befensterung (Anteil und Qualität), auf den Heizwärme- sowie dem Klimakältebedarf für das Medianjahr 2063 auf. Auffallend ist die bedeutende Auswirkung der reduzierten Wärmespeicherfähigkeit auf den Klimakältebedarf und somit auf die Überhitzungsstunden. Die Reduktion des Fensteranteils wirkt sich hingegen sowohl auf den Heizwärme- als auch den Klimakältebedarf positiv aus.

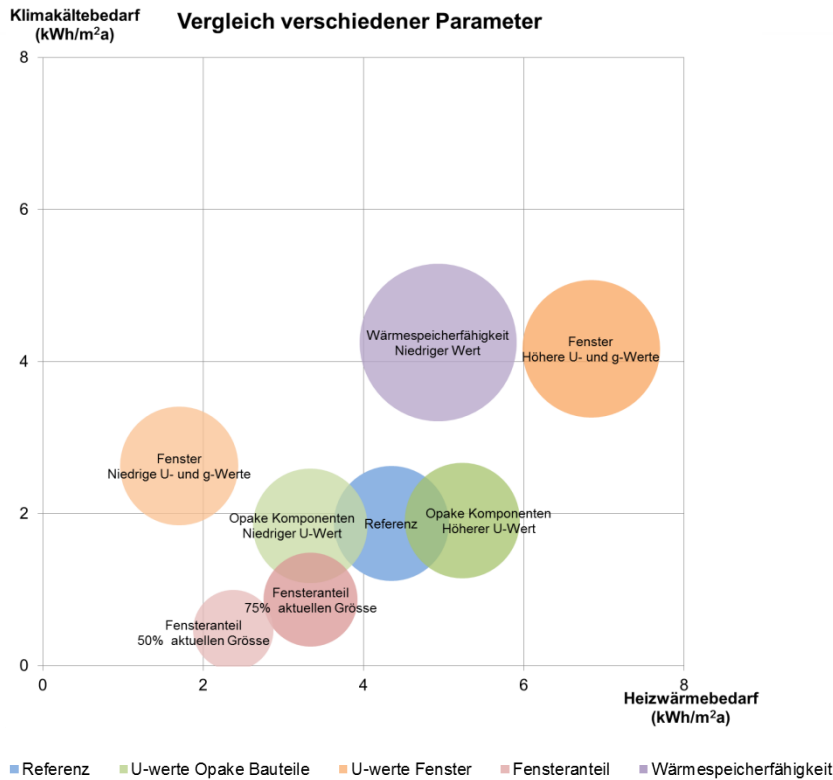


Abbildung 97: Simulationsergebnisse aus der Parametervariation für den Heizwärmebedarf (x-Achse) und den Klimakältebedarf (y-Achse) des Referenzmodells im Jahr 2063, dem Medianjahr der Periode „2060“, am Standort Basel. Die Grösse der Kreise stellt das Verhältnis der Anzahl an Überhitzungsstunden dar.

5.2.4. Übergeordnete Parameter

Nachfolgend wurden mehrere Parameter analysiert, welche nicht im direkten Zusammenhang mit dem Gebäudeentwurf oder der Nutzung stehen, aber dennoch einen grossen Einfluss auf die Behaglichkeit und den Energiebedarf des Gebäudes haben. Neben den Themen „Standort“ und „städtischer Wärmeineffekt“ wurde das Potenzial der direkten solaren Kühlung des Gebäudes untersucht („Potenzial PV-Anlagen“).

5.2.4.1. Standort

Die Stadt Lugano wurde als Standort mit einem wärmeren Klima gewählt, um die Auswirkungen des Klimawandels im Vergleich zum Schweizer Mittelland zu untersuchen. Die Aussentemperaturen waren im Lugano im jährlichen Mittelwert 2004 um 2.1 °C höher als in Basel und 2003 um 1.4 °C. 2063 wird ein jährlicher Unterschied von 1.9 °C und 2068 von 2.6 °C projiziert. Werden nur die Sommermonate (Juni bis August) verglichen, ist die Temperatur in Lugano jeweils um 2.4 °C (2004 und 2068), 0.7 °C (2003) und 2.9 °C (2063) höher. Abbildung 98 fasst die getroffenen Annahmen der Simulationsanalyse zusammen.



	Referenz Medianjahr 2004		A1B Medianjahr 2063 KNMI ECHAM5		Referenz wärmstes Jahr 2003		A1B warmes Jahr 2068 MPI ECHAM5	
	(°C)		(°C)		(°C)		(°C)	
Januar	3.5	(2.3)	6.0	(6.3)	4.0	(1.8)	6.3	(4.0)
Februar	4.6	(3.0)	8.6	(6.1)	2.8	(1.0)	4.7	(2.0)
März	7.4	(5.7)	10.7	(8.3)	9.7	(9.6)	11.1	(9.9)
April	11.5	(10.6)	12.1	(11.2)	12.0	(11.8)	13.6	(11.7)
Mai	14.3	(13.2)	18.3	(16.8)	18.6	(16.6)	20.4	(16.7)
Juni	20.7	(17.7)	22.3	(20.1)	24.8	(24.4)	27.4	(25.2)
Juli	22.0	(19.4)	25.3	(21.8)	23.9	(22.4)	27.0	(23.7)
August	21.5	(19.8)	24.7	(21.7)	25.1	(24.9)	28.0	(26.2)
September	19.0	(16.4)	18.8	(16.7)	18.2	(16.3)	20.8	(17.6)
Oktober	14.2	(12.3)	14.1	(13.2)	11.8	(8.6)	14.2	(9.8)
November	8.5	(5.2)	7.8	(5.5)	8.5	(7.4)	10.6	(8.7)
Dezember	4.5	(1.3)	5.6	(4.5)	4.9	(3.1)	7.2	(4.7)
Mittelwert	12.7	(10.6)	14.6	(12.7)	13.8	(12.4)	16.0	(13.4)

Tabelle 21: Durchschnittliche Monatstemperaturen für den Standort Lugano der vier repräsentativen Jahren der Perioden „1995“ (1980-2009) und „2060“ (2045-2074). In Klammer sind die entsprechenden Werte für den Standort Basel angegeben.

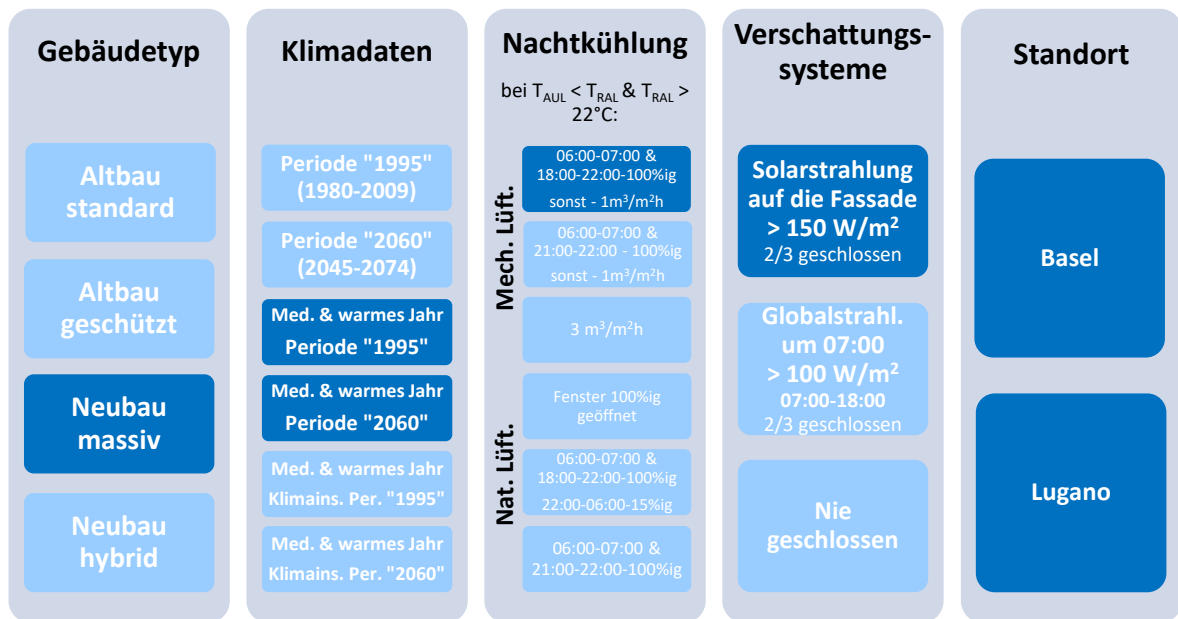


Abbildung 98: Übersichtsmatrix zu den Simulationsparametern hinsichtlich der Standortanalyse.



In Abbildung 99, Abbildung 100 und Abbildung 101 sind die Simulationsergebnisse zu den untersuchten Standorten dargestellt.

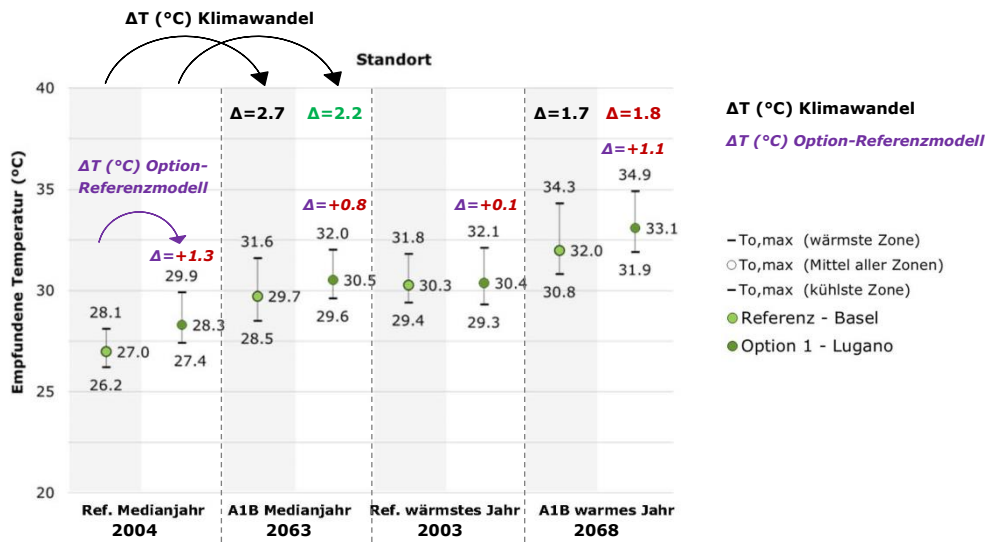


Abbildung 99: Maximale empfundene Temperatur in Abhängigkeit des Standorts und der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf die Parametervariation bei denselben klimatischen Bedingungen.

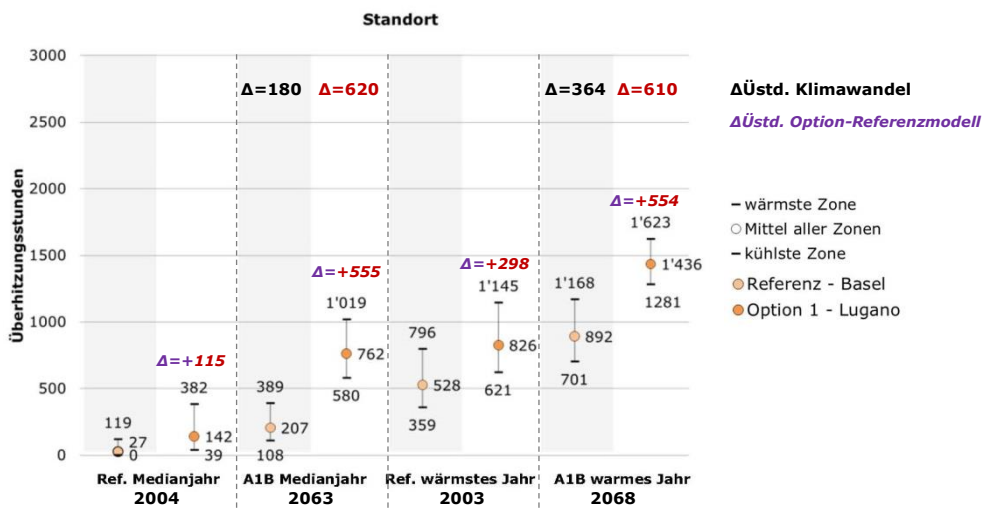


Abbildung 100: Anzahl Überhitzungsstunden in Abhängigkeit des Standorts und der untersuchten Jahre.

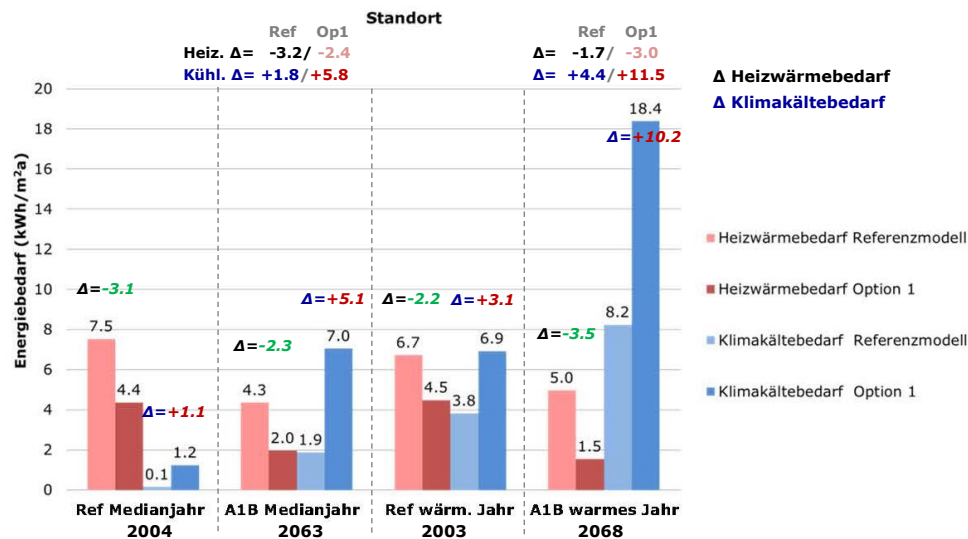


Abbildung 101: Heizwärme- und Klimakältebedarf je nach Option des Standorts.

In *Lugano* ist die Behaglichkeit in den Innenräumen im Sommer aufgrund des wärmeren Klimas erwartungsgemäss schwieriger zu gewährleisten. Die maximale empfundene Temperatur liegt dort im Jahr 2004 im Vergleich zu Basel um 1.3 °C höher. 2003 beträgt die Differenz lediglich 0.1 °C, was dadurch zu begründen ist, dass im ausgewählten Extremjahr in Basel eine Hitzewelle vorherrschte, in *Lugano* der Sommer eher durchschnittlich warm war. 2004 werden in *Lugano* 142 Überhitzungsstunden registriert (gegenüber 27 in Basel), 2003 sind es 862 (über 50 % mehr als in Basel).

Der Heizwärmebedarf liegt in *Lugano* in der Periode „1995“ 30 bis 40% tiefer als in Basel. Der Klimakältebedarf ist 2004 in beiden Städten tief, 2003 ist er in *Lugano* mit 6.9 kWh/m²a nahezu doppelt so hoch wie in Basel.

Die klimatische Veränderung hat in *Lugano* bedeutende Auswirkungen. Die maximale empfundene Temperatur steigt zwar im Vergleich zu Basel im Medianjahr weniger stark an, die Anzahl der Überhitzungsstunden erhöht sich jedoch stark, um über 600 Stunden. In Basel erhöht sich die Anzahl in den betrachteten Jahren der Periode „2060“ in geringerer Masse, um 180, respektive 364 Stunden. 2068 würden in *Lugano* somit über 1'400 Überhitzungsstunden resultieren, was nahezu ein Drittel der Sommerperiode ausmacht. Im selben Jahr würde sich der Heizwärmebedarf um zwei Drittel reduzieren (von 4.5 bis 1.5 kWh/m²a), der Klimakältebedarf jedoch stark ansteigen (von 8.2 bis 18.4 kWh/m²a). Der Klimakältebedarf würde somit mehr als das Zehnfache des Heizwärmebedarfs betragen!

Daraus liess sich auf die steigende Bedeutung der Kühlanlage in Wohnbauten beim zukünftigen Klima in *Lugano* schliessen. In Extremjahren könnte gar ein Verzicht auf die Heizanlage möglich sein, während ein Kühlsystem unentbehrlich sein dürfte.

5.2.4.2. Städtischer Wärmeinseleffekt

Der städtische Wärmeinseleffekt zeigt sich mit einem Temperaturanstieg in städtischen Gebieten im Vergleich zu ländlichen Gebieten durch die grosse Gebäudedichte [27]. Dieses Mikroklima hat einen direkten Einfluss auf den Energieverbrauch von Gebäuden.

Die Auswirkungen des städtischen Wärmeinseleffekts wurden anhand der Stadt Basel analysiert. Die Meteostation liegt dort am eher ländlichen Stadtrand und ist somit vom Wärmeinseleffekt weniger tangiert. Die Aussentemperatur im urbaneren Stadtraum liegt aufgrund des Wärmeinseleffekts, im jährlichen Durchschnitt, gemäss den für das Projekt aufbereiteten Daten um 0.95 °C höher als bei der Meteostation. Der maximale Unterschied von 3.68 °C wurde am 28. Mai um 20:00 Uhr gemessen. Die Temperaturerhöhung ist an den einzelnen Tagen nicht einheitlich; sie ist abends sowie nachts grösser (zwischen 19:00 und 07:00 Uhr beträgt der mittlere Temperaturanstieg mehr als 1.1 °C) und mittags kleiner (Temperaturanstieg um 0.3 °C zwischen 10:00 und 13:00 Uhr). Der Temperaturanstieg ist zudem ausgeprägter in den warmen Monaten; von April bis August beträgt der mittlere Temperaturanstieg jeweils mehr als 1.1 °C (vgl. Abbildung 102).

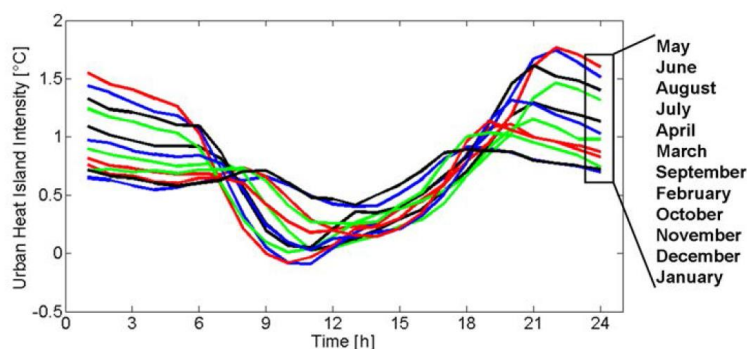


Abbildung 102: Durchschnittliche stündliche städtische Wärmeinseleffekt-Intensität für jeden Monat eines Jahres. [27, S. 45]

Die Auswirkung des städtischen Wärmeinseleffekts auf den Komfort und den Energiebedarf wurde anhand von zwei Gebäudetypologien untersucht, dem „Neubau massiv“ und dem „Altbau geschützt“. Letzterer wurde zusätzlich gewählt, weil er in der Realität tatsächlich im städtischen Umfeld angesiedelt ist und die vielen städtischen geschützten Objekte gut repräsentiert.

Die Untersuchung des Effekts wurde demnach anhand folgender und in der Abbildung 103 festgehaltenen Optionen untersucht:

Referenz A: Referenzmodell „Neubau massiv“
Klimadaten der Meteostation Basel

Option 1A: Referenzmodell „Neubau massiv“
Klimadaten Basel mit Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts

Referenz B: Referenzmodell „Altbau geschützt“⁶
Klimadaten der Meteostation Basel

Option 1B: Referenzmodell „Altbau geschützt“
Klimadaten Basel mit Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts

⁶ Simulationsmodell (Geometrie und Materialisierung) der Fallstudie „Altbau geschützt“ mit den Betriebsbedingungen des Referenzmodells „Neubau massiv“ (Lüftungs- und Sonnenschutzbedienung gemäss Kapitel 5.2.1)

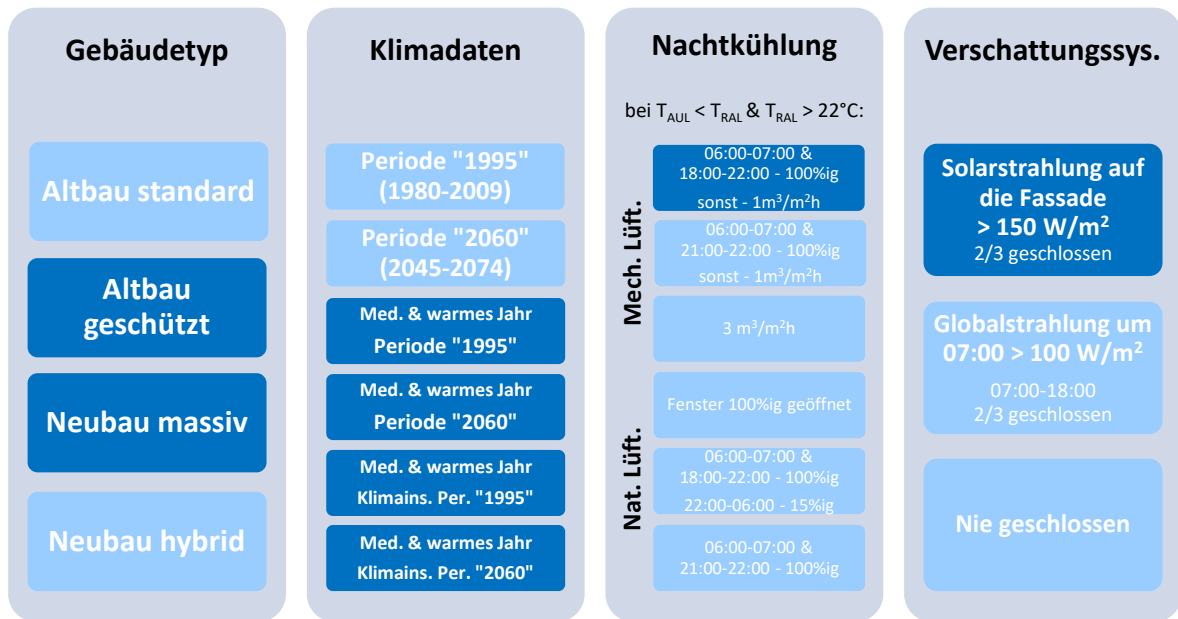


Abbildung 103: Übersichtsmatrix zu den kombinierten Simulationsparametern hinsichtlich der Wärmespeicherfähigkeit.

In Abbildung 104, Abbildung 105 und Abbildung 106 werden die Simulationsergebnisse zu den untersuchten Optionen mit dem Klimainseleffekt dargestellt und mit den Ergebnissen der Referenz verglichen.

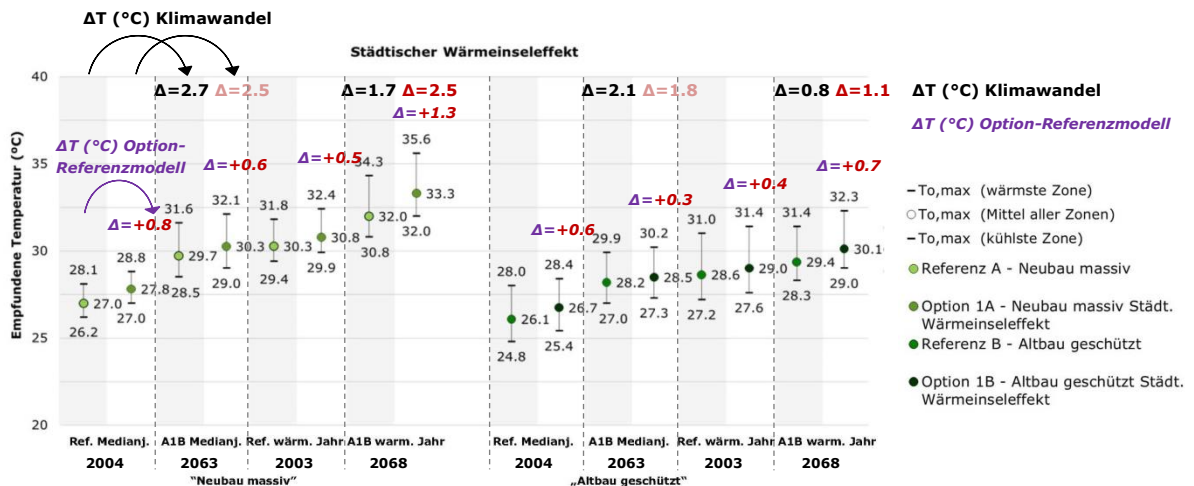


Abbildung 104: Maximale empfundene Temperatur ohne und mit dem Einfluss des städtischen Wärmeinseleffekts und in Abhängigkeit der untersuchten Jahre. Die Temperaturdifferenzen im oberen Bereich der Abbildung (schwarze Pfeile) sind primär auf den allgemeinen Klimawandel zurückzuführen, die in der Mitte (lila Pfeile) auf den städtischen Wärmeinseleffekt bei denselben klimatischen Bedingungen.

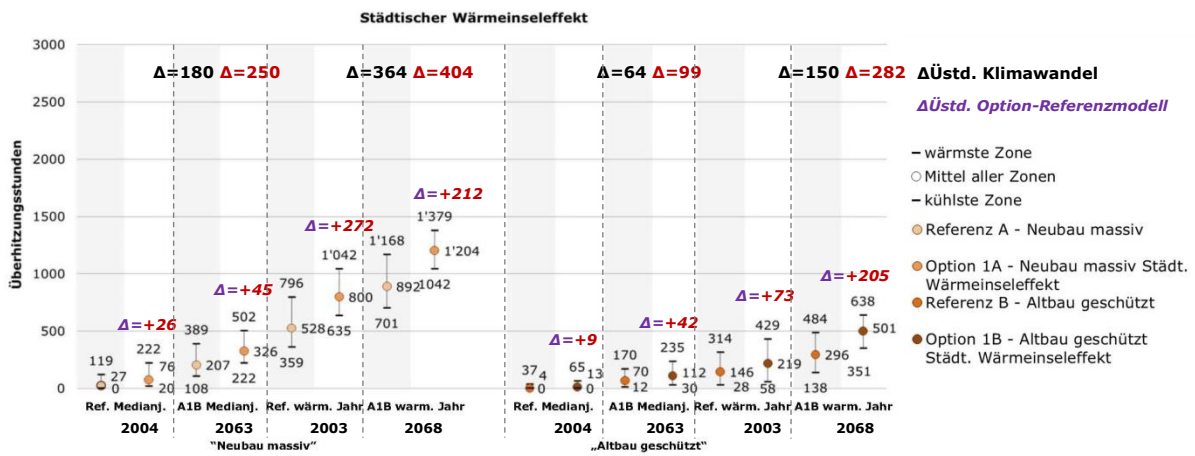


Abbildung 105: Anzahl Überhitzungsstunden ohne und mit dem Einfluss des städtischen Wärmeineffekts und in Abhängigkeit der untersuchten Jahre.

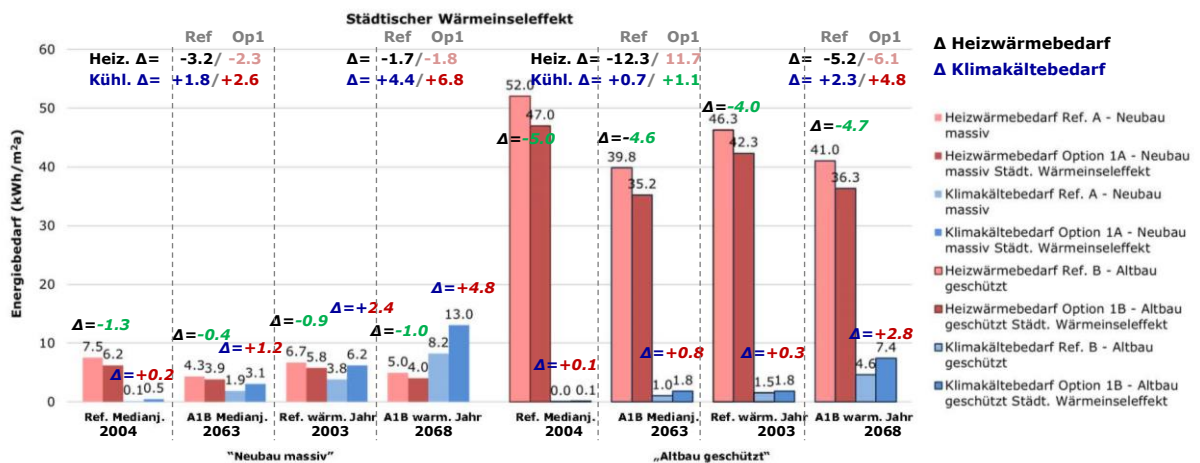


Abbildung 106: Heizwärme- und Klimakältebedarf ohne und mit dem Einfluss des städtischen Wärmeineffekts.

Die höheren Aussentemperaturen basierend auf den städtischen Wärmeineffekt haben erwartungsgemäss negative Auswirkungen auf die Behaglichkeit in den untersuchten Gebäuden. Beim Referenzbau „Neubau massiv“ erhöht sich die maximale empfundene Temperatur 2004 um 0.8 °C und 2003 um 0.5 °C. Die Anzahl an Überhitzungsstunden verdreifacht sich 2004 nahezu (von 27 auf 76 Stunden) und steigt 2003 um rund 50% an (von 528 auf 800 Stunden). Beim Referenzbau „Altbau geschützt“ steigt die maximale empfundene Temperatur in den Jahren 2004 und 2003 ebenfalls um rund 0.5 °C. Die Anzahl Überhitzungsstunden bleibt jedoch gesamthaft niedriger als beim Neubau. Sie steigen 2004 von 4 auf 13 Stunden und 2003 von 146 auf 219 Stunden.

Der Heizwärmebedarf sinkt im „Neubau massiv“ aufgrund des Wärmeineffekts um rund 15%, im 2004 von 7.5 auf 6.2 kWh/m²a, im 2003 von 6.7 auf 5.8 kWh/m²a. Der Klimakältebedarf steigt prozentual viel stärker an, im 2004 von 0.1 auf 0.5 kWh/m²a, im 2003 von 3.8 auf 6.2 kWh/m²a. Im „Altbau geschützt“ sinkt der Heizwärmebedarf anteilmässig etwas weniger, um rund 10%, im 2004 von 52.0



bis 47.0 kWh/m²a, im 2003 von 46.3 auf 42.3 kWh/m²a. Der Klimakältebedarf steigt ebenfalls an, im 2004 von 0.04 auf 0.12 kWh/m²a, im 2003 von 1.5 auf 1.8 kWh/m²a, die absoluten Werte bleiben jedoch verhältnismässig wenig bedeutend.

Werden die Auswirkungen des Klimawandels mit denjenigen aus dem Wärmeinseleffekt kombiniert, führt zu einer deutlichen Zunahme der Innentemperaturen. Die maximale empfundene Temperatur erhöht sich beim „Neubau massiv“ in den Jahren 2063 und 2068 um weitere 2.5 °C. Beim „Altbau geschützt“ beträgt der entsprechende Anstieg 1.8 °C im Jahr 2063 und 1.1 °C im Jahr 2068. Die Überhitzungsstunden steigen beim Neubau im Jahr 2063 auf den vierfachen Wert an (von 76 auf 326 Stunden) und 2068 auf das 1.5-fache (von 800 auf 1'204 Stunden). Beim Altbau ist der prozentuale Anstieg wiederum höher (2063 von 13 auf 112 Stunden, 2068 von 219 auf 501), die absoluten Werte bleiben jedoch tiefer.

Im „*Neubau massiv*“ erhöht sich der Klimakältebedarf in der Periode „2060“ jeweils stärker als sich der Heizwärmebedarf reduziert. 2063 wäre dadurch der Klimakältebedarf im „Neubau massiv“ bereits nahezu höher als der Heizwärmebedarf; 2068 würde der Klimakältebedarf den dreifachen Wert des Heizwärmebedarfs betragen. Dies verdeutlicht die erhebliche Bedeutung des städtischen Wärmeinseleffekts.

Im „Altbau geschützt“ wird der Heizwärmebedarf auch in Zukunft den höheren Stellenwert als der Klimakältebedarf haben, die Reduktion der Heizwärme wird deshalb höher ausfallen als der Anstieg bei der Klimakälte. Daraus lässt sich schliessen, dass der untersuchte Altbau robuster auf den Klimawandel reagieren würde als der Neubau. Der gesamthafte Betriebsenergiebedarf würde bei letzterem jedoch, trotz bedeutender Erhöhung des Klimakältebedarfs, weiterhin weit weniger als beim Altbau betragen.

Die Abbildung 107 fasst die Simulationsergebnisse zum Standort und dem städtischen Wärmeinseleffekt für das Medianjahr 2063 und den Referenzbau „Neubau massiv“ zusammen. Auffallend ist dabei, wie der Klimakältebedarf im Wohnungsbau mit dem zu erwartenden Aussentemperaturanstieg bereits in einem durchschnittlich warmen Jahr gegenüber dem Heizwärmebedarf enorm an Bedeutung gewinnen wird.

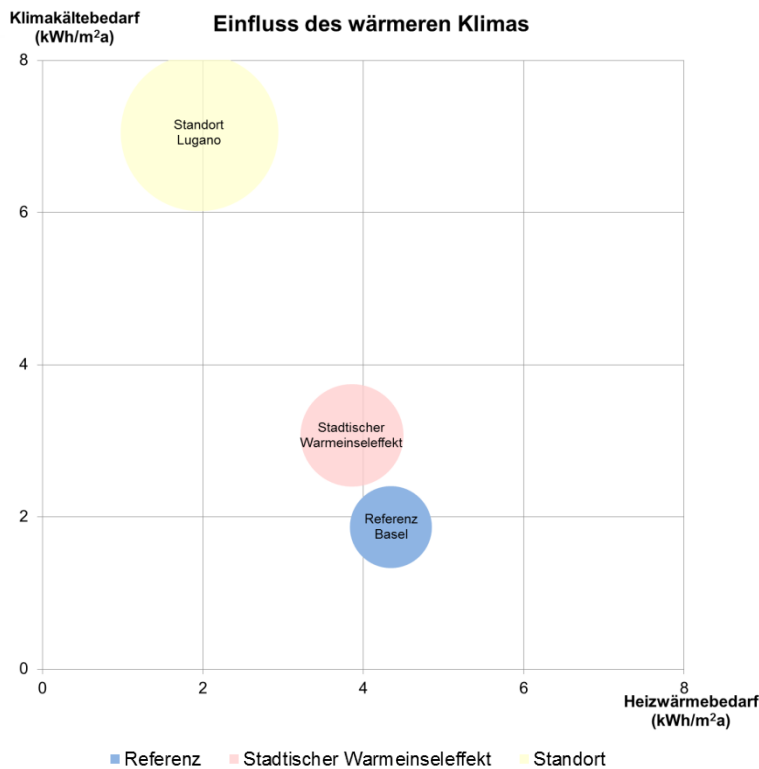


Abbildung 107: Heizwärmebedarf (x-Achse) und Klimakältebedarf (y-Achse) des Referenzmodells im Jahr 2063, einem durchschnittlich warmen Jahr der Periode „2060“, am Standort Basel, unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeineffekts am Standort Basel und am Standort Lugano. Die Grösse der Kreise zeigt das Verhältnis der Anzahl an Überhitzungsstunden dar.

5.2.4.3. Potenzial PV-Anlagen

Der Vorteil der Solarkühlung liegt in erster Linie in der zeitlichen Koinzidenz von hoher Sonneneinstrahlung und Klimakältebedarf, wodurch die Notwendigkeit der Energiespeicherung reduziert wird. Die Beurteilung des Potenzials der Stromerzeugung für Kühlung des Gebäudes wurde durch die Installation einer Photovoltaikanlage auf dem Dach des Referenzmodells durchgeführt.

Die Anlage wurde in Anlehnung an Artikel 1.27 der MuKE 2014 [13] dimensioniert, das heisst mit einer Leistung von 10 W/m²_{EBF}. Mit 1'436 m² EBF ergab dies eine installierte Leistung von 14.5 kW. Die folgenden Eigenschaften wurden als eine heute dem Standard entsprechenden Ausführung angenommen:

Modul-Wirkungsgrad: 17%.

Neigung: 5°

Orientierung: 130° (parallel zur Hauptfassade)

Dies führte zu einer PV-Anlage von 86 m².

Um das unmittelbare Potenzial der installierten Anlage abzuschätzen wurde im Simulationsmodell kein Energiespeicher installiert und der produzierte Strom direkt für die Kühlung verbraucht.

Der Jahresnutzungsgrad der Kälteanlage wurde gemäss der Norm SIA 382/2:2011 [28] definiert. Abbildung 108 zeigt die Grenz- und Zielwerte der pauschalen Jahresnutzungsgrade in Abhängigkeit der Leistung. Für die Referenzperiode „1995“ wird der Grenzwert, für die Periode „2060“ der Zielwert angenommen. Dies ergab folgende Jahresnutzungsgrade für die Simulationen:

- ⇒ 2.54 im 2004 (Leistung 5.3 kW)
- ⇒ 3.20 im 2003 (Leistung 20.5 kW)
- ⇒ 4.48 im 2063 (Leistung 24.0 kW)
- ⇒ 4.56 im 2068 (Leistung 28.2 kW)

Die zukünftige Steigerung des Kühlbedarfs wird demnach teilweise durch den erhöhten Jahresnutzungsgrad von Kühlsystemen ausgeglichen.

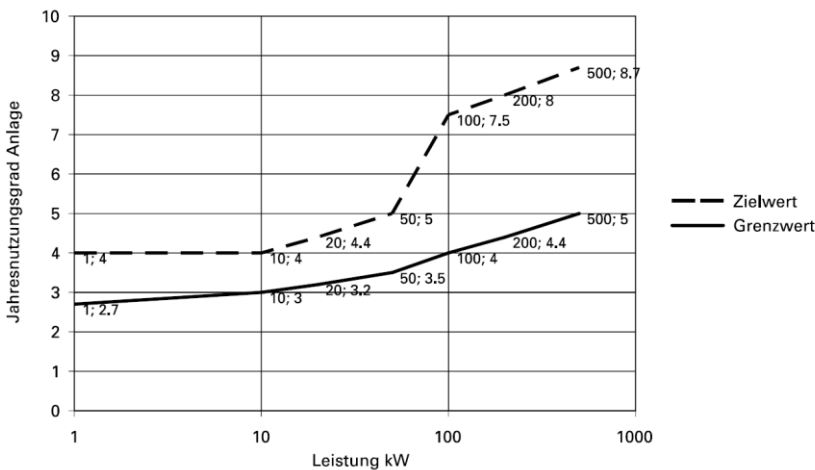


Abbildung 108: Pauschale Jahresnutzungsgrade der Gesamt-Kälteanlage für die Berechnung der Grenz- und Zielwerte im Vergleichsprojekt gemäss SIA 382/2:2011 [28].

Tabelle 22 und Abbildung 109 zeigen die Stromproduktion der Photovoltaikanlage, den gesamten Endenergieverbrauch für die Klimakälte und den Anteil an Klimakälte, welcher durch den PV-Strom gedeckt werden kann.



	2004			2063			2003			2068		
	PV-Strom Prod. (kWh)	Klimakälte- verbrauch Verb. (kWh)	PV- -%	PV-Strom Prod. (kWh)	Klimakälte- verbrauch Verb. (kWh)	PV- -%	PV-Strom Prod. (kWh)	Klimakälte- verbrauch Verb. (kWh)	PV- -%	PV-Strom Prod. (kWh)	Klimakälte- verbrauch Verb. (kWh)	PV- -%
Jan.	335	0	-	327	0	100%	313	0	77%	272	0	-
Feb.	651	6	100%	665	3	100%	644	7	100%	521	1	100%
März	760	11	100%	631	3	100%	1'036	58	100%	828	8	100%
April	979	13	100%	703	1	100%	1'032	13	100%	918	1	100%
Mai	1'068	0	-	1'231	2	100%	987	0	-	988	0	-
Juni	989	0	100%	1'324	52	82%	1'279	496	65%	1'567	700	59%
Juli	1'098	4	91%	1'411	215	66%	1'134	261	65%	1'575	626	57%
Aug.	957	46	88%	1'392	325	54%	1'242	902	49%	1'617	1166	49%
Sept.	916	0	100%	1'027	0	100%	1'083	0	100%	1'277	1	100%
Okt.	607	1	100%	484	1	100%	676	6	100%	712	7	100%
Nov.	349	0	100%	407	1	100%	497	3	100%	451	0	-
Dez.	295	0	-	306	0	84%	384	0	92%	351	1	100%
Total	9'004	80	93%	9'909	602	61%	10'309	1745	58%	11'078	2512	54%

Tabelle 22: Bilanz zwischen produzierten Strom aus Photovoltaik und Klimakälteverbrauch und Anteil des Klimakälteverbrauchs, welcher mit dem produzierten Strom aus der Photovoltaik-Anlage gedeckt werden kann (PV-%).

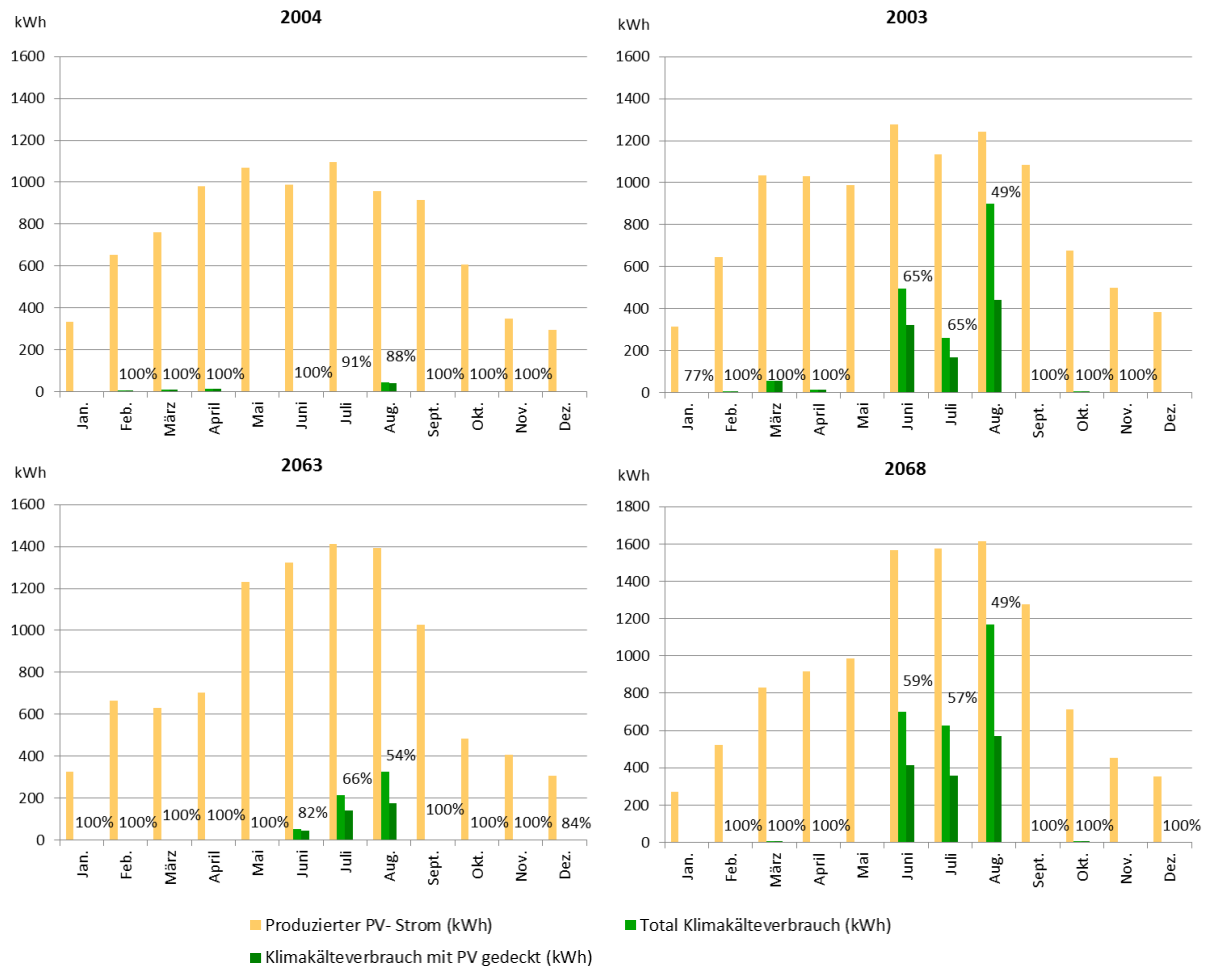


Abbildung 109: Vergleich von produziertem Strom aus Photovoltaik, Klimakältebedarf und gedecktem Klimakältebedarf mit PV-Strom im Medianjahr und warmen Jahr der Referenz- und A1B-Periode.



In sämtlichen simulierten Jahren ist die produzierte PV-Strommenge wesentlich höher als der Klimakältebedarf des Gebäudes. Im Medianreferenzjahr 2004 beträgt der Jahresanteil am Kühlverbrauch, der direkt mit dem produzierten PV-Strom gedeckt werden kann, 93%. Im Medianjahr 2063 beträgt der Wert noch 61%. Im 2004 werden lediglich 6 kWh aus dem Netz zur Deckung des Klimakältebedarfs benötigt. Im 2063 werden 233 kWh benötigt, was eine erhebliche Steigerung darstellt. Die notwendige Leistung aus dem Netz beträgt 1.7 kW im 2004 und 4.7 kW im 2063.

Werden die Extremjahre der jeweiligen Perioden betrachtet, beträgt der Jahresanteil am Kühlverbrauch, der direkt mit dem produzierten PV-Strom gedeckt werden kann, noch 58% im 2003 und 54% im 2068. Der Strombezug vom Netz zur Deckung des restlichen Klimakälteverbrauchs beträgt 728 kWh im 2003 und 1'154 kWh im 2068. Die notwendige Leistung aus dem Netz beträgt 5.5 kW im 2004 und 5.4 kW im 2063. In den Extremjahren der Periode „2060“ wird die nötige Leistung der Klimaanlage nicht grösser als in den Extremjahren der Periode „1995“, obwohl der Klimakälteverbrauch grösser wird.

Der erhöhte Bedarf kann grundsätzlich durch stationäre Zwischenspeicherung, grössere oder effizientere Photovoltaik-Anlagen bereitgestellt werden, es stellt sich jedoch grundsätzlich die Frage, wofür die künftige Stromproduktion sinnvollerweise eingesetzt werden sollte. Eine Reduktion des Klimakältebedarfs durch massvolle konzeptionelle Überlegungen in der frühen Entwurfsphase eines Gebäudes dürfte in einer gesamtheitlichen Lebenszyklusbetrachtung sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht Vorteile gegenüber einer technischen Nachrüstung zur „solaren Kühlung“ aufweisen, solange ein anderweitiger Bedarf für den durch PV-Anlagen produzierten Strom vorhanden ist. Es ist anzunehmen, dass beispielsweise der Strombedarf für die Elektromobilität künftig stetig anwachsen wird.



6. Schlussfolgerung und Handlungsempfehlungen

Der aufgrund des **Klimawandels** prognostizierte Temperaturanstieg wird erhebliche **Auswirkungen auf den zukünftigen Energiebedarf und die Behaglichkeit** in Wohnbauten haben. Wird von einem mittleren Treibhausgasemissionsszenario (A1B) ausgegangen, werden sich die Aussentemperaturen im Schweizer Mittelland von der heutigen Referenzperiode „1995“ (1980-2009) bis zur Periode „2060“ (2045-2074) durchschnittlich um 2.0 °C erhöhen (vgl. Kapitel 4.1). Die Folgen dieses Temperaturanstiegs wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung anhand des Referenzmodells am Standort Basel verdeutlicht. Der ausgewählte Massivneubau repräsentiert den heutigen Baustandard und die Wohntypologie in angemessener Weise. Das Gebäude erfüllt den Minergie®-Standard, verfügt über aussenliegenden, automatisierten Sonnenschutz, ist mit einer mechanischen Lüftungsanlage ausgestattet und kann morgens sowie abends zusätzlich natürlich belüftet werden.

In einem warmen Sommer der Periode „2060“ würde im Mittel der Wohnräume des Beispielsgebäudes eine *maximal empfundene Temperatur* von 32.0 °C auftreten. In einem durchschnittlichen Jahr der Referenzperiode „1995“ beträgt die berechnete maximale empfundene Raumtemperatur noch 27.0 °C, im extrem heissen Sommer 2003 liegt sie bei 29.7°C.

Die Veränderung der Raumtemperaturen hat einen bezeichnenden Einfluss auf die kalkulierbaren *Überhitzungsstunden* in den Wohnräumen. Dies wird anhand des Vergleichs mit den vorgegebenen Grenzwerttemperaturen in Innenräumen aus der SIA 180:2014 [12] veranschaulicht. Werden im durchschnittlichen Jahr der Periode „1995“ tolerierbare 27 Stunden im Mittel aller Wohnzonen berechnet und im Extremsommer 2003 eine Erhöhung auf etwa 200 Überhitzungsstunden, steigt deren Anzahl in einem warmen Jahr der Periode „2060“ auf nahezu 900 Stunden an, was rund einem Fünftel des gesamten Sommerhalbjahrs entspricht.

Sollen in den Räumlichkeiten die nach Norm definierten Komfortbedingungen gewährleistet werden, hätte das massive Auswirkungen auf den dafür erforderlichen *Klimakältebedarf*. In einem durchschnittlich warmen Jahr der Periode „1995“ weisen die Räume des Referenzmodells im Sommer eine genügende Behaglichkeit auf, für den Extremsommer 2003 ist ein Klimakältebedarf von weniger als 2.0 kWh/m²a berechnet worden. Im prognostiziert warmen Sommer 2063 liegt der Klimakältebedarf bei 8.2 kWh/m²a. Der Bedarf für die Kühlung des Gebäudes würde somit denjenigen des heutigen durchschnittlichen *Heizwärmebedarfs* von 7.5 kWh/m²a übersteigen. Dieser würde sich angesichts des Klimawandels kontinuierlich reduzieren, die Reduktion ist allerdings weniger ausgeprägt als der Klimakältebedarfsanstieg. Im Jahr 2063 beträgt der berechnete Heizwärmebedarf nach wie vor 5.0 kWh/m²a. (vgl. Kapitel 5.2.1)

Die Auswirkungen des Klimawandels werden durch den **städtischen Klimainseleffekt** merklich verstärkt. In städtischen Gebieten, in denen ein Grossteil der Bevölkerung wohnt, liegen die Aussentemperaturen aufgrund der Gebäudedichte und des hohen Versiegelungsgrads über jenen im ländlichen Umland. In der Periode „2060“ ist in der Basler Innenstadt eine um 3.0 °C höhere Aussentemperatur zu erwarten, als sie in den geläufigen Meteostationen am Stadtrand gemessen werden. Dementsprechend wird im Referenzmodell durch den städtischen Klimainseleffekt in einem warmen Jahr der Periode „2060“ im Mittel eine maximale empfundene Temperatur von 33.3 °C erwartet, was zu einer Erhöhung der Anzahl an Überhitzungsstunden auf über 1'200 respektive einen Klimakältebedarf von 13.0 kWh/m²a führen würde. Dies würde einem prozentualen Bedarfsanstieg von nahezu 60% gegenüber demselben Gebäude im ländlichen Gebiet darstellen.



Die Behaglichkeit innerhalb von Gebäuden wird wesentlich durch das **Verhalten der Bewohnerschaft** respektive der Nutzung der Gebäudeinfrastruktur geprägt. Wird beispielsweise der Sonnenschutz nicht optimal bedient oder ist eine natürliche Belüftung der Räumlichkeiten zur Nachtkühlung nicht möglich, hat das bedeutende Folgen. Im Referenzmodell können heute bei unsachgemässer Bedienung von Sonnenschutz und Lüftung mittlere Raumtemperaturen von über 40 °C und nahezu 2'000 Überhitzungsstunden resultieren (vgl. 5.2.2.3 „Nutzerverhalten“). **Vor allem im städtischen Umfeld sind bereits heute vielfach Wohnsituationen anzutreffen, die aufgrund der Lärmbelastung oder der Einbruchgefahr keine genügende Fensteröffnungszeit ermöglichen. Der Umstand dürfte sich mit der angestrebten Verdichtung der Städte im Laufe des Jahrhunderts wesentlich verstärken.**

Im Gegenzug zeigen die Simulationsergebnisse der Studie, dass die Behaglichkeit in Wohnbauten durch optimales Lüftungsverhalten und optimale Nutzung des Sonnenschutzes auch in warmen Jahren der Periode „2060“ genügend sichergestellt werden kann. Die Anwesenheit der Bewohnerschaft dürfte tagsüber mit der fortschreitenden Digitalisierung der Arbeitstätigkeiten (z.B. Home-Office) zunehmen. Es stellt sich die Frage, ob bei der der Bewohnerschaft das Wissen und der Wille zum optimalen Lüftungsverhalten oder der Sonnenschutzaktivierung vorhanden sind. (vgl. „der tagsüber Anwesende“ und „der energiebewusste Nutzer“ im Kapitel 5.2.2.3).

Die in der Studie untersuchten **Altbauten** zeigen aufgrund des schlechteren Dämmwerts der Gebäudehülle erwartungsgemäss den viel höheren Heizwärmebedarf als die Neubauten. Dieser beträgt auch bei höheren Aussentemperaturen als Folge des Klimawandels noch ein Vielfaches des berechneten Klimakältebedarfs. Hinsichtlich der Behaglichkeit in der Sommerperiode zeigten jedoch Altbauten bedeutend bessere Werte als die Neubauten. Dies hat mit den typologischen Eigenschaften – in erster Linie mit dem **Fensteranteil** – der jeweiligen Gebäude zu tun. Die diesbezügliche Parametervariation zeigt den Stellenwert des kontinuierlich ansteigenden Fensteranteils in Wohnbauten deutlich auf. Durch eine Reduktion des Fensteranteils lassen sich die Behaglichkeit- und Energiebilanz in Wohnbauten heute – und noch verstärkt in der Zukunft – massgeblich verbessern. (vgl. Kapitel 5.2.3.2).

Die Simulationsergebnisse für den Standort Lugano zeigen die bedeutenden Auswirkungen des Klimawandels in der **Südschweiz** eindrücklich auf. Bei den dortigen klimatischen Bedingungen würde das Referenzgebäude in einem warmen Jahr der Periode „2060“ über 1'400 Überhitzungsstunden aufweisen, nahezu ein Drittel des gesamten Sommerhalbjahrs. Der Klimakältebedarf würde sich dementsprechend auf 18.4 kWh/m²a erhöhen, der Heizwärmebedarf sich gleichzeitig auf 1.5 kWh/m²a reduzieren. 2003 zeigen die Simulationsergebnisse einen dreifachen Heizwärmebedarf und ein rund drei Mal tieferen Klimakältebedarf, der Bedarf für Klimakälte liegt demnach rund 50% höher als derjenige für die Heizwärme. In einem durchschnittlichen Jahr der Periode „1995“ beträgt der Heizwärmebedarf auch in Lugano noch nahezu das Vierfache des Klimakältebedarfs (vgl. 5.2.4.1 „Standort“).

Dies verdeutlicht die allgemeine Verschiebung der Bedeutung im Energiebereich von der Bereitstellung der Heizwärme (Winterbetrachtung) hin zur Gewährleistung von behaglichen Räumen bei hohen Aussentemperaturen (Sommerbetrachtung). Bereits in der Mitte des Jahrhunderts wird der Kühlbedarf in heutigen Wohnneubauten des Schweizer Mittellands in warmen Jahren höher sein als der Heizwärmebedarf. In der Südschweiz wird der Heizwärmebedarf in heissen Jahren gar nahezu unbedeutend. Die Entwicklung wird sich mit dem kontinuierlichen Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts – weitere 0.8 °C gemäss Emissionsszenario A1B – bestätigen bzw. verstärken. Es ist in diesem Kontext zu erwähnen, dass in der Studie nicht das prognostizierte wärmste Jahr, respektive die extremste RCM-Modellkette betrachtet wurden, sondern ein ausserordentliches warmes Szenario. Es ist zu erwarten, dass bei einer Betrachtung der ungünstigsten Kombination die Simulationsergebnisse extremer ausgefallen wären.



In dieser Studie nicht näher untersucht sind die gesellschaftlichen Aspekte im Zusammenhang mit der quantitativen Betrachtung der Behaglichkeit und des Energiebedarfs. Es bleibt schwierig abschätzbar, wie viel des künftig anfallenden Klimakältebedarfs tatsächlich gedeckt werden wird. Die **Akzeptanz** der Bevölkerung gegenüber höheren Raumtemperaturen sowie die ökonomischen Möglichkeiten spielen dabei eine tragende Rolle. Die Erfahrung in südlichen Ländern Europas zeigt die Neigung auf, die hohen Komfortansprüche bei steigenden Temperaturen mit zusätzlichen Klimageräten decken zu wollen. Zu untersuchen wäre, ob die Schweizer Bevölkerung tendenziell die Ansprüche hinsichtlich der Klimakälte in Wohnbauten beibehalten würde und insbesondere, wie der Bedarf abgedeckt werden würde. Würden einzelne Räume oder die gesamte Wohnung gekühlt werden? Stellt sich bei den sich anbietenden Möglichkeiten ein Rebound-Effekt ein?

Ob und in welcher Grössenordnung ein allfälliger Anstieg der gesamten Betriebsenergie und der Treibhausgasemissionen von Wohnbauten zu erwarten sein wird, hängt sehr stark von der Wahl der Energieträger für die Gebäude ab. Die Effizienz der Heiz- und Kühlsysteme wird entscheidend sein. Die **Deckung des Kühlbedarfs mittels PV-Anlagen** erscheint aufgrund der Koinzidenz von Bedarf und Stromproduktion und die produzierbare Strommenge technisch sinnvoll praktikierbar. Wird die Anlage in Anlehnung an die MuKE 2014 mit einer Leistung von $10 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$ dimensioniert, müsste in warmen Jahren der Periode „2060“ ein grosser Teil des Klimakältebedarfs jedoch weiterhin durch Netzstrom oder vor Ort gespeicherter Energie gedeckt werden. Es wird sich grundsätzlich die Frage stellen, welchen Anteil des mit der PV-Anlage produzierten Strom für die Kühlung bereitgestellt werden soll. Angesichts der stetigen Digitalisierung der gesellschaftlichen Aktivitäten, den dadurch höherer Strombedarf in Haushalten und nicht zuletzt den steigenden Bedürfnissen in der Elektromobilität erscheint es nach wie vor sinnvoll, Gebäude so zu konzipieren, dass kein oder zumindest ein geringer Klimakältebedarf während der Nutzungszeit anfallen wird. Ist dies mit einfachen und effizienten Mitteln zu bewerkstelligen, wird auch die gesamtheitliche Energiebilanz – unter zusätzlicher Berücksichtigung der Grauen Energie – positiv davon beeinflusst werden.

Aufgrund der vorliegenden Studienergebnisse erscheinen verschiedene Massnahmen zielgerecht, um den Gesamtenergie- und Leistungsbedarf sowie die Behaglichkeit in Wohngebäuden über deren Lebenszyklus zu optimieren. Damit diese im Laufe des Jahrhunderts die Wirkung zeigen können, ist eine umgehende Integration in Normen und Vorschriften zum Bauwesen anzustreben.

Gebäude müssen heute unbedingt so konzipiert werden, dass durch deren Nutzung den Folgen des Klimawandels standgehalten werden kann. Eine einwandfreie **Bedienung des Sonnenschutzsystems** und die Möglichkeit einer **ausreichenden natürlichen Lüftung** zur Nachtkühlung müssen sichergestellt sein. Eine Möglichkeit dafür bildet in beiden Bereichen die Automatisierung der Systeme.

Die Elektrifizierung von *Sonnenschutzsystemen* ist im heutigen Wohnungsbau üblich. Im Gegensatz zum Bürobau, wo eine Automatisierung verbreitet ist, wird der Sonnenschutz zumeist noch manuell respektive per Funksignal bedient. Eine allfällige Automatisierung beschränkt sich oftmals auf den Schutz der Anlage infolge Unwetters und ist an Windwächtern gekoppelt. Die Auswirkungen einer intelligenten Automatisierung, welche die Sonneneinstrahlung berücksichtigt oder gar prädiktiv aufgrund der Wetterprognosen agiert, dürften in einer Gesamtbilanz durchaus positiv sein. Eine genauere Quantifizierung der Auswirkungen in Zusammenhang mit dem Klimawandel und ob die Steuerung nicht nur anhand der Aussentemperaturen, sondern vielmehr in Abhängigkeit der solaren Einstrahlstärke auf den jeweiligen Fassaden erfolgen soll, erscheint im Hinblick auf zukünftige Planungen wertvoll. Die Akzeptanz von solchen Systemen bei den Nutzern müsste zwingend Teil der Untersuchungen sein.



Mechanische *Lüftungssysteme* sind im heutigen Wohnungsbau durchaus verbreitet. Die Akzeptanz der Systeme ist vorwiegend in lärmbelasteten Situationen oder aus Allergiegründen gegeben. Deren Funktionsweise ist in der Regel auf den Winterfall ausgelegt. Die umgewälzten Luftmengen sind für eine effektive Nachtkühlung nicht ausreichend. Unter Berücksichtigung der Grauen Energie der Anlagen ist die energetische Gesamtbilanz der Anlagen nicht selten negativ. Die oftmals praktizierte Einbetonierung der Leitungen widerspricht der anzustrebenden Systemtrennung und erlaubt eine Erhöhung der Lüftungsraten in Zukunft nicht. Es sind unbedingt Lüftungssysteme anzustreben, die auf den Sommerfall angemessen reagieren können und situationsabhängig sind (Lärmbelastung, Einbruchgefahr usw.). Eine Automatisierung der Fenster in Abhängigkeit von Aussen- und Innentemperaturen bildet ein untersuchungswerter Ansatz. Wo eine konventionelle natürliche Lüftung nicht denkbar ist, sind entsprechende mechanische Systeme vorzusehen.

Die heutigen Zielvorgaben hinsichtlich der Dämmwerte von **opaken Bauteilen** ($0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei Niedrigstenergiegebäude) erscheinen zur Reduktion der Betriebsenergie auch mit höheren Aussentemperaturen angesichts des Klimawandels sinnvoll. Die optimale Gesamtenergiebilanz ist auch künftig unter Berücksichtigung der Grauen Energie der eingesetzten Materialien zu eruiieren.

Viel gewichtiger als die opaken Komponenten der Gebäudehülle wird der Umgang mit den **transparenten Bauteilen** sein. U-Werte und g-Werte von Verglasungen müssen nach wie vor zur optimalen Energiebilanz und in Abhängigkeit der Orientierung aufeinander abgestimmt werden. U-Werte behalten die erheblichen Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf bei, die Behaglichkeit im Sommer und der Klimakältebedarf werden zur Bestimmung des optimalen g-Werts bestimmend sein.

Angesichts des immensen Einflusses des **Fensteranteils** auf den Energiebedarf sowie der Behaglichkeit erscheinen diesbezüglich differenzierte Normvorgaben oder Vorschriften denkbar. Ein ausserordentlich hoher Fensteranteil könnte beispielsweise an spezifische Massnahmen zur Gewährleistung von Behaglichkeitskriterien gekoppelt werden. Dies könnend zwingende Vorgaben zu **Free Cooling** oder Geocooling sein. Durch solche Systeme liesse sich in Zukunft situationsabhängig sowohl die sommerliche Behaglichkeit als auch die Effizienz der Wärmebereitstellung im Winter erhöhen.

Eine **Südorientierung** von Wohnbauten, im Sinne eines erhöhten Fensteranteils der Südfassade, erscheint auch in Zukunft, bei den erwarteten Aussentemperaturen des Schweizer Mittellands weiterhin empfehlenswert. Der Einfluss der Orientierung fällt im Vergleich zu den anderen untersuchten Parametern weniger erheblich aus.

Der untersuchte Massivbau scheidet hinsichtlich der Behaglichkeit und des Kältebedarfs merklich besser ab als der ausgewählte Hybridbau und somit gegenüber Leichtbaukonstruktionen. Beim Heizwärmebedarf spielt die **Wärmespeicherfähigkeit** eine weniger bedeutende Rolle, der Massivbau weist aber auch diesbezüglich die besseren Werte auf. Die Wärmespeicherfähigkeit wird im Hinblick auf die höheren Aussentemperaturen für die Behaglichkeit noch wichtiger. Zur Ermittlung der optimalen energetischen Gesamtbilanz darf der Erstellungsaufwand der Gebäude nicht vernachlässigt werden. Insbesondere bei den Treibhausgasemissionen dürften Leichtbaukonstruktionen besser abschneiden als Massivbauten. Dementsprechend werden Holzkonstruktionen auch in Zukunft durchaus sinnvoll sein, wenn durch spezifische Massnahmen eine genügende Wärmespeicherfähigkeit erzielt wird.

Angesichts des Einflusses des Klimawandels auf die Behaglichkeit und die Energiebilanz über die gesamte Nutzungsdauer von Wohnbauten wird es künftig mit Sicherheit anstrebenswert, Entscheide bei der Projektierung und der Normgebung auf die **Lebenszyklen** der jeweiligen Komponenten und Systeme abzustimmen. So müssen Vorgaben, welche die Gebäudetopologie betreffen (z.B. der Fensteranteil oder die Speicherfähigkeit) weitsichtiger formuliert werden als solche bei Bauteilen mit einer kür-



zeren Amortisationszeit (z.B. die technischen Eigenschaften der Fenster). Die Konzepte heutiger Neubauten sind auf den zu erwartenden Klimawandel entsprechend abzustimmen, wenn eine energieintensive Abdeckung der zu erwartenden Komfortbedürfnisse im Sommer durch nachträgliche Massnahmen verhindert werden soll.

7. Literaturverzeichnis

- [1] CH2011 (2011), "Swiss Climate Change Scenarios CH2011", published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.
- [2] Rajczak, J., N. Salzmann, S. Kotlarski and C. Schär (2015): Robust climate scenarios for sites with sparse observations: A two-step bias correction approach | Int. J. Climatol., doi:10.1002/joc.4417
- [3] MeteoSchweiz et al., 2017. „CH2018 – Neue Klimaszenarien für die Schweiz“. Online verfügbar unter <http://www.ch2018.ch/>, zuletzt geprüft am 15.06.2016.
- [4] Eberhard, P. et al., 2011. "Stadtklimatologische Aspekte von Basel". REGIO BASILIENSIS- Basler Zeitschrift für Geographie 52. Jahrgang, Heft 1 (2011).
- [5] MeteoSchweiz, 2014, «Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht», Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.
- [6] Guerra, F., 2015. „Fassaden in Metall/Glas, Marktanalyse 2015“. Schweizerische Zentrale Fenster und Fassaden, Zürich, 32 pp.
- [7] BFS, 2015. „Bau- und Wohnungswesen 2013“. Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel, 91 pp.
- [8] SBV, 2017. „Baumaterialien. Fassaden - Mehrfamilienhaus (2005 - 2012)“. SBV Schweizerischer Baumeisterverband. Online verfügbar unter <http://www.baumeister.ch/de/politik-kommunikation/wirtschaft/baumaterialien/>, zuletzt geprüft am 14.04.2016.
- [9] Domingo, S. et al., 2016. „ClimaBau - Grundlagendokument Simulationen“. Unpubliziert, Luzern, 52 pp.
- [10] SIA, 2015. SIA 2024:2015; Merkblatt „Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik“. Zurich, 156 pp.
- [11] IPCC SRES (2000), Nakićenović, N.; Swart, R., eds., "Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, 570 pp.
- [12] SIA, 2014. SIA 180:2014; Schweizer Norm „Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden“, Zürich, 72 pp.
- [13] EnDK, 2015. „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n)“, Bern, 98 pp.
- [14] CH2014-Impacts, (2014). "Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland", published by OCCR, FEON, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim, Bern, 136 pp.
- [15] BAFU, 2011. „Treibhausgasinventar“, Stand 2011. Online verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten.html>, zuletzt geprüft am 08.06.2016.
- [16] Gadola, R. et al., 2010. „Gesamtenergieeffizienz von Büro-Bauten; Optimierung des Heizwärmebedarfs vs. Optimierung der Gesamtenergieeffizienz - Schlussbericht“. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 102 pp.
- [17] Brunner C. U. et al., 2007. „Bauen, wenn das Klima wärmer wird - Schlussbericht“. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 138 pp.
- [18] SIA, 2014. SIA 382/1:2014; Schweizer Norm „Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“. Zürich, 82 pp.



- [19] OcCC et al., 2007. „Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft“. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques / Proclim - Forum für Klima und globale Umweltveränderungen, Bern, 168 pp.
- [20] Vetterli, N. et al., 2017. „Monitoring Suurstoffi – Auswertung Okt. 2013 - Sep. 2016“ BFE-Schlussbericht.
- [21] SIA, 2010. SIA 2028:2010; Merkblatt „Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik“. Zürich, 80 pp.
- [22] BFE, 2017. Online verfügbar unter „Energierstrategie 2050“. Unter: <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050/index.html?lang=de>, zuletzt geprüft am 09.06.2016.
- [23] Zakovorotnyi, A. et al., 2017. „ROGEK - Robustheitsbewertung von integrierten gebäudetechnischen Kühlkonzepten in Verwaltungsbauten hinsichtlich Klima und Nutzervariabilität – Schlussbericht“. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 79 pp.
- [24] CEN, 2006. Europäische Norm EN 7730 „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“. Europäische Komitee für Normung, Brüssel, 55 pp.
- [25] B. Schrader, B. et al., 2015. „S.A.D.L.E.S.S.; Systemische Betrachtung von Beschattungssystemen mit dem Fokus Tageslicht zur Optimierung der SIA - Norm 380/4 – Schlussbericht“. BFE, Bern, 57 pp.
- [26] SIA, 2007. SIA 382/1:2007; Schweizer Norm „Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“. Zürich, 86 pp.
- [27] Dorer, V. et al., 2012. „Urban Climate and Energy Demand in Building“. EMPA, Basler & Hofmann AG, BFE-Schlussbericht, Bern, 166 pp.
- [28] SIA, 2011. SIA 382/2:2011; Schweizer Norm „Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf“. Zürich, 40 pp.
- [29] CEN, 2015. Europäische Norm EN 13659 „Abschlüsse außen und Außenjalousien - Leistungs- und Sicherheitsanforderungen“. Europäische Komitee für Normung, Brüssel, 62 pp.
- [30] Knüsel, P. et al., 2016. „Mehr als wohnen - Von der Brache zum Stadtquartier. Report 3: 2013 – 2015“. Bundesamt für Wohnungswesen (BWO), Grenchen, 98 pp.
- [31] Liechti, R., 2012. „ABZ erneuert historisch wertvolle Siedlung Sihlfeld in Zürich. Ein Flaggschiff ist wieder auf Kurs“, Zeitschrift WOHNEN 4/2012, Zürich, pp. 14-18.
- [32] Stadt Zürich. „Siedlung Sihlfeld - Tiefgreifende Erneuerung“. Online verfügbar unter https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/prd/Deutsch/Stadtentwicklung/Grafik_und_Foto/Stadt_und_Quartierentwicklung/nachhaltigsanieren/Plakate%20der%2019%20Bauten/Siedlung_Sihlfeld.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2016.
- [33] Rass, R. et al., 2014. „element 31. Nachhaltige Konzepte im Hochbau“. Faktor Verlag AG, Zürich, 59 pp.
- [34] Knüsel, P., 2012. „Siedlung Sihlweid. 2000 Watt hoch. Die Baugenossenschaft Zurlinden verwandelt zwei Hochhäuser aus den Siebzigerjahren in ein bewohnbares Solarkraftwerk“. Beilage zu Hochparterre NR. 11 / 2012: Nachhaltig sanieren - Vorbildlich erneuerte Wohnbauten in Zürich. Hochparterre Verlag AG, Zürich, pp. 34.
- [35] Knüsel, P., 2015. „Hunziker-Areal Zürich – die bessere Vorstadt?“ In TEC 21 13-14, 2015, Zürich, 48 pp.
- [36] Leibundgut, H., 2012. „Von der Sonne zur Erde und wieder zurück“. Online verfügbar unter <https://www.espazium.ch/von-der-sonne-zur-erde-und-wieder-zurck>, zuletzt geprüft am 14.04.2016.



[37] Lignum, 2015. „Holzwirtschaft Schweiz: Mehrgeschossige Gebäude aus Holz. Planung und Realisation“. Lignum, Broschüre Nr 11 – August 2015. Online verfügbar unter http://www.lignum.ch/editor/images/Downloads_deutsch/Mehrgeschossige_Holzbauten.pdf, zuletzt geprüft am 26.03.2016.

[38] Hubacher, S., Haerle, C., 2002. Wohnüberbauung Balance 1997-2002.

8. Anhang

8.1. Vorauswahl der Beispielgebäude


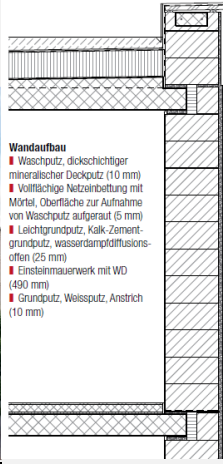
Gebäudetyp 1 Massivbau
Einsteinmauerwerk/ Stahlbetondecke

Tragwerkstyp
Mauerwerk

Aussenwandtyp
Einsteinmauerwerk mit WD
Lochfassade

Deckentyp
Stahlbetondecke

Typ des privaten Aussenraums
Balkone einzeln

Wandaufbau

- Waschputz, dickschichtiger mineralischer Deckputz (10 mm)
- Vollflächige Netzeinbettung mit Mikrost. Oberfläche zur Aufnahme von Waschputz aufgeraut (5 mm)
- Leichtgrundputz, Kalk-Zementgrundputz, wasserdampfdiffusionsoffen (25 mm)
- Einsteinmauerwerk mit WD (490 mm)
- Grundputz, Weissputz, Anstrich (10 mm)

Mehr als Wohnen, Haus A, Zürich (Baujahr 2015) - 1 links Foto [30, S. 60] , rechts Schnitt [30, S. 73]

Abbildung 110: Gebäudetyp 1 Massivbau (Mauerwerk) - Mauerwerk, Aussenwände aus Einsteinmauerwerk.


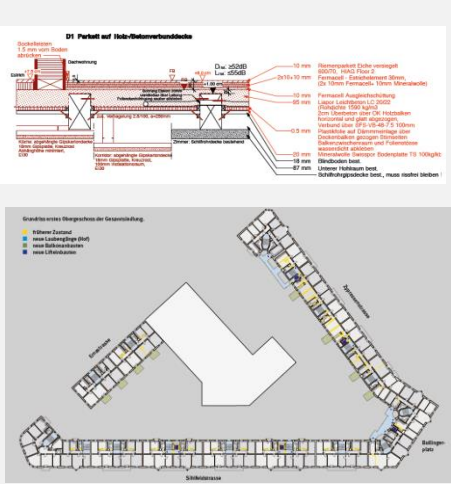
Gebäudetyp 2 Massivbau
Backstein/ Holzbalkendecke

Tragwerkstyp
Mauerwerk

Aussenwandtyp
Backstein
Lochfassade

Deckentyp
Holzbalkendecke

Typ des privaten Aussenraums
Balkone einzeln

D1 Perlell auf Holz-Balkendecke

Stoffwechselvorgang der Regenabführung

- 2. Ebene Zustand
- neue Ladungstiefe (D1)
- neue Balkenstruktur
- neue Überbauten

Siedlung Sihlfeld, Zürich (Baujahr 1928-1929, Sanierung 2011–2013) – 1 links Foto [31, S. 18], rechts Schnitt, Grundriss [32]

Abbildung 111: Gebäudetyp 2 Massivbau (Mauerwerk) - Mauerwerk, Aussenwände aus Mauerwerk.

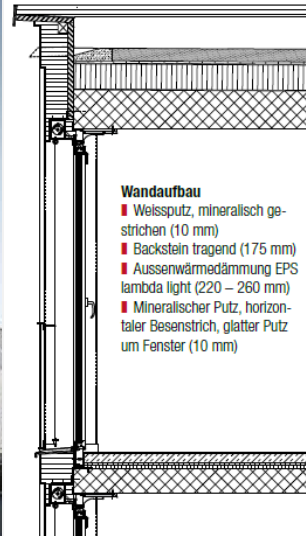
**Gebäudetyp 3 Massivbau
Backstein mit WDVS/ Stahlbetondecke**

Tragwerkstyp
Mauerwerk

Aussenwandtyp
Backstein mit
Dämmung EPS
Lochfassade

Deckentyp
Stahlbetondecke

*Typ des privaten
Aussenraums*
Loggien



Mehr als Wohnen, Haus K, Zürich (Baujahr 2012) – 1
links Foto [30, S. 64], rechts [33, S. 54]

Abbildung 112: Gebäudetyp 3 Massivbau (Mauerwerk) - Mauerwerk, Aussenwände aus Backstein mit WD.

**Gebäudetyp 4 Massivbau
Stahlbeton (Wandscheiben/ Stützen)/ Betonelemente, Stahlbetondecke**

Tragwerkstyp
Stahlbeton (Wand-
scheiben/ Stützen)

Aussenwandtyp
Betonelemente
Bandfassade mit
Solarpaneelen

Deckentyp
Stahlbetondecke

*Typ des privaten
Aussenraums*
Loggien



Wohnhochhäuser Siedlung Sihlweid, Zürich (Baujahr 1977, Sanierung 2011–2013) - 1
links/ rechts Foto [34, S. 27]

Abbildung 113: Gebäudetyp 4 Massivbau (Beton) - Stahlbeton (Wandscheiben/ Stützen), Aussenwände aus Betonelementen.

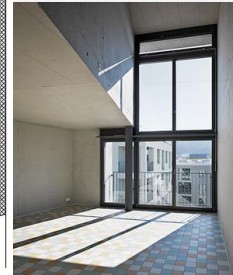
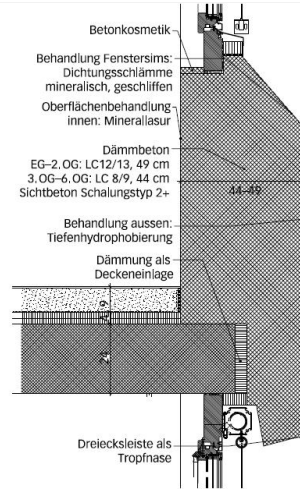
**Gebäudetyp 5 Massivbau
Stahlbeton (Wandscheiben/ Stützen)/ Dämmbeton/ Stahlbetondecke**

Tragwerkstyp
Stahlbeton (Wandscheiben/ Stützen)

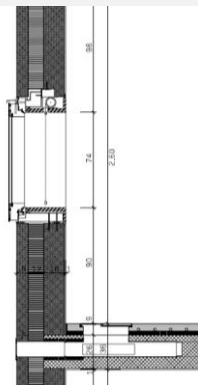
Aussenwandtyp
Dämmbeton
Skelettfassade (1)
Bandfassade (2)

Deckentyp
Stahlbetondecke

Typ des privaten Aussenraums
Loggien (1)
Dachterrasse (2)



Mehr als Wohnen, Haus G, Zürich (Baujahr 2015) – 1
links/ mittig Foto, Schnitt [35, S. 32], rechts Foto [30, S. 70]



B35, zürich (Baujahr 2011) - 2
links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [36, S. 40]

Abbildung 114: Gebäudetyp 5 Massivbau Beton - Stahlbeton (Wandscheiben/ Stützen), Aussenwände aus Dämmbeton.

Gebäudetyp 6 Hybrid
Stahlbetonstützen/ Holzrahmenbau/ Stahlbetondecke

Tragwerkstyp
 Stahlbetonstützen

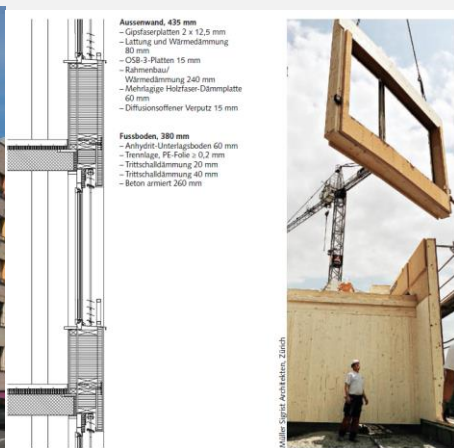
Aussenwandtyp
 Holzrahmenbau
 Bandfassade (1)
 Lochfassade (2)

Deckentyp
 Stahlbetondecke

Typ des privaten Aussenraums
 Balkone umlaufend (1)
 Balkone einzeln (2)
 Loggien (3)



Wohnungen im Wettstein-Quartier, Basel (2014) – 1
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 34]



Wohn- und Gewerbebau über Tramdepot, Zürich (2014) - 2
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 28]



Wohnungen und Gewerberäume Fabrikgässli, Biel (2014) - 3
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 36]

Abbildung 115: Gebäudetyp 6 Hybrid – Stahlbetonstützen, Aussenwände in Holzrahmenbau.



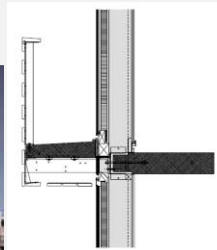
Gebäudetyp 7 Hybrid
Holzstützen/ Betonelemente/ Stahlbetondecke

Tragwerkstyp
Holzstützen

Aussenwandtyp
Betonelemente
Bandfassade

Deckentyp
Stahlbetondecke

Typ des privaten Aussenraums
Balkone umlaufend



Fassadenkonstruktion:
Tragsäulen Holz 160/180mm, Rasterabstand 246cm
TJ-Träger als Sekundärkonstruktion
Zweiseitige Beplankung Gipskarton, Ausflockung 22cm
Kartonwabe, gestrichen 60mm
Industrieglas, Isolierfüllung 48mm
Elektrikanal umlaufend im Sockelbereich
Stahlkonsolen an Deckenslrm
vorfabrizierte Betonelemente
Geländerstützen T-Profil feuerverzinkt
Brüstungs- und Untersichtsverkleidung Douglasie

Wohnüberbauung Balance, Wallisellen (Baujahr 1999-2000) – 1
links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [38]

Abbildung 116: Gebäudetyp 7 Hybrid – Holzstützen, Aussenwände aus Betonelementen.

Gebäudetyp 8 Hybrid
Stützträgersystem Holz/ Holzrahmenbau/ Verbunddecken Holz-Beton

Tragwerkstyp
 Stützträgersystem
 Holz

Aussenwandtyp
 Holzrahmenbau
 Lochfassade (1,3)
 Bandfassade (2)

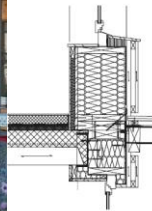
Deckentyp
 Verbund Holz-Be-
 tondecke

Typ des privaten
Aussenraums
 Balkone umlau-
 fend (1)
 Loggien einzeln
 (2,3)



- Aussenwand, 611 mm**
- Gipsfaserplatten 12,5 mm
 - Installationsebene und Wärmedämmung 25 mm
 - OSB-3-Platten, Dichtungen 25 mm
 - Rahmen/Wärmedämmung 420 mm
 - Gipsfaserplatten 15 mm
 - Fassadenblech
 - Hinterlüftung 40 mm
 - Holzklattung 40 mm
 - Fassadenschalen aus Holz 24 mm

- Fussboden, 455 mm**
- Bodenbelag 15 mm
 - Unterlagsboden 75 mm
 - Trennlage, PE-Folie > 0,2 mm
 - Trittschalldämmung 25 + 20 mm
 - Holz-Beton-Verbunddecke mit armiertem Beton 150 mm mit Brettstapeldecke 140 mm



Wohnüberbauung Oberfeld, Ostermundigen (2014) - 1
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 12]



- Aussenwand, 900 mm**
- Gipsfaserplatten 2 x 12,5 mm
 - Metallrahmen 75 mm/
 - Gipsfaserplatte 15 mm
 - Ständer 240 mm/
 - Wärmedämmung
 - Horizontallattung 40 mm/
 - Wärmedämmung
 - Gipsplatte 15 mm
 - Lüftung 55 mm
 - Schalung 17 mm
 - Schiefer 8 mm

- Fussboden, 410 mm**
- Eichenparkett massiv 20 mm
 - Anhydrit-Unterlagsboden 70 mm
 - Trennlage, PE-Folie > 0,2 mm
 - Trittschalldämmung 30 mm
 - Füllung 50 mm
 - Trennlage
 - Holzbetonverbund mit Beton armiert 80 mm und Brettstapel 140 mm



Zwei Gebäude an der Mühlebachstrasse, Zürich-Stadelhofen (2012) - 2
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 22]



- Aussenwand, 406 mm**
- Gipsfaserplatte 15 mm
 - Dampfbremse
 - Gipsfaserplatte 15 mm
 - Rahmen 280 mm/
 - Isolierung
 - Gipsfaserplatte 15 mm
 - Fassadenblech
 - Vertikallattung 30 mm
 - Horizontallattung 30 mm
 - Vertikalschalung
 - Fichte/Farne, 4 Farbzone 21 mm

- Fussboden, 445 mm**
- Bodenbelag 10 mm
 - Unterlagsboden 70 mm
 - Trennlage, PE-Folie > 0,2 mm
 - Trittschalldämmung 40 mm
 - Dampfbremse
 - Rippendecke 234 mm
 - Gipsfaserplatte 15 mm
 - Gipskartonplatte 63 mm



Wohngebäude Swisswoodhouse, Nebikon (2014) - 3
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 30]

Abbildung 117: Gebäudetyp 8 Hybrid – Stützträgersystem Holz, Aussenwände in Holzrahmenbau.



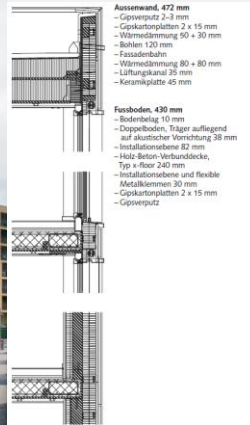
Gebäudetyp 9 Hybrid Vertikalbohlen Holz/ Verbunddecken Holz-Beton

Tragwerkstyp
Vertikalbohlen
Holz

Aussenwandtyp
Vertikalbohlen
Lochfassade

Deckentyp
Verbund Holz-Be-
tondecke

Typ des privaten
Aussenraums
Loggien einzeln



Wohn- und Gewerbebau Sihlbogen, Zürich-Leimbach (2015) - 1
links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 42]



Gewerbefläche und Wohnungen in der Badenerstrasse, Zürich (2010) - 2
links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 40]

Abbildung 118: Gebäudetyp 9 Hybrid – Vertikalbohlen Holz.

Gebäudetyp 10 Leichtbau
Stützträgersystem Holz/ Holzrahmenbau/ Rippendecke und Brettstapel/ Kastendecken Holz

Tragwerkstyp
 Stützträgersystem
 Holz

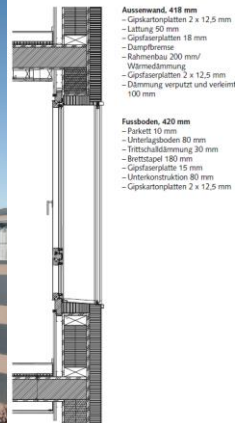
Aussenwandtyp
 Holzrahmenbau
 Bandfassade (1,3)
 Lochfassade (2)

Deckentyp
 Rippendecke (1)
 Brettstapeldecke
 (1,2)
 Kastendecke (3)

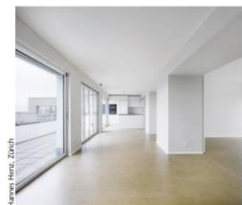
Typ des privaten
Aussenraums
 Balkone umlaufend (1)
 Loggien einzeln (2)



Mehrgenerationenhaus Giesserei, Winterthur (2013) - 1
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 14]



Überbauung Avenue Victor Ruffy, Lausanne (2010) - 2
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 20]



Wohnhaus Habsburgstrasse, Zürich (2011) - 3
 links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 18]

Abbildung 119: Gebäudetyp 10 Leichtbau – Stützträgersystem Holz, Aussenwände in Holzrahmenbau.

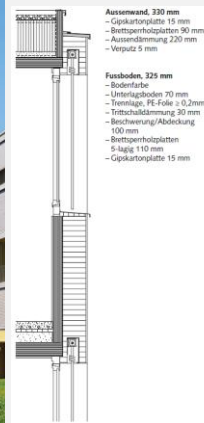
Gebäudetyp 11 Leichtbau Stützträgersystem Holz/ Brettsperrholzplatten

Tragwerkstyp
Stützträgersystem
Holz

Aussenwandtyp
Brettsperrholz-
platten
Bandfassade

Deckentyp
Brettsperrholz-
plattendecke

*Typ des privaten
Aussenraums*
Balkone umlau-
fend



Wohnüberbauung le Clos des Forches, Martigny (2012) – 1
links/ mittig/ rechts Foto, Schnitt [37, S. 16]

Abbildung 120: Gebäudetyp 11 Leichtbau – Stützträgersystem Holz, Aussenwände aus Brettsperrholzplatten.

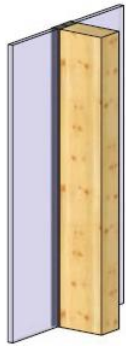
Zum Holzbau und der Hybridbauweise

Dank den heutigen technischen Kenntnissen in den Gebieten Brand- und Schallschutz findet Holz wieder vermehrt seinen Platz im Bau, besonders auch bei Gebäuden mit mehr als vier Geschossen.

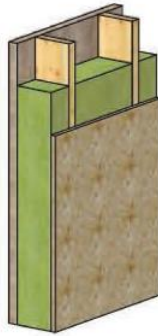
Zur jüngsten Entwicklung gehören die sogenannten Hybridbauten, eine Mischform aus Holz und Stahl/Beton. Das Aufkommen von mehrstöckigen Hybridbauten entspringt dem Bedürfnis, Materialien rationell einzusetzen. Diese Bauweise hat entscheidende technische Vereinfachungen und Vorteile gebracht. [37, S. 3]

Abbildung 121 zeigt vertikale und horizontale Holz- bzw. Holz-Beton Verbundkonstruktionen, die im Wesentlichen auf drei Systemvarianten beruhen und in den Gebäudetypen 8 – 11 vertreten sind:

- Tragende Holzrahmenkonstruktion in der Aussenwand, Kern aus armiertem Beton und ein Holzbo-
den oder ein Boden als Holz-Beton-Verbund
- Brettsperrholzplatten vertikal und horizontal
- Basiskonstruktion aus Stahlbeton und nichttragende Aussenwände mit Holzrahmenkonstruktion



Skelettkonstruktion



Holzrahmenkonstruktion



Massivholzkonstruktion



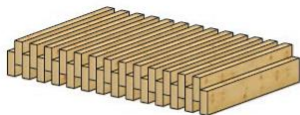
Holzbohlenkonstruktion



Balken- oder Rippendecken



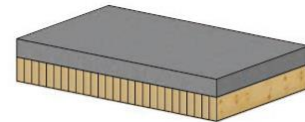
Hohlkastendecken



Massivholz- oder Brettstapeldecken



Brettsper Holzplatten



Holz-Beton-Verbunddecken

Abbildung 121: Vertikale- und horizontale Holz- bzw. Holz-Beton Verbundkonstruktionen [37, S. 4–5.



8.2. Experteninterviews

Interviewpartner:

#1 Bundesamt für Wohnungswesen (BWO) – Felix Walder (Stellvertretender Direktor, Leiter Bereich Bauwesen) am 24.03.2016 14.45-16.00 in Grenchen

#2 Allgemeine Baugenossenschaft Luzern (ABL) – Peter Bucher (Leiter Bau & Entwicklung) am 29.03.2016 14.00-15.00 in Luzern

#3 Renggli AG – Max Renggli (CEO) am 04.04.2016 9.00-10.00 in Sursee

#4 Halter AG – Christian Erb (Leiter Energie und Gebäudetechnik) am 05.04.2016 8.30-9.30 in Zürich

#5 Stadt Zürich Amt für Hochbauten – Annick Lalive (Leiterin Fachstelle Nachhaltigkeit) am 08.04.2016 10.45-11.45 in Zürich

#6 Pensimo AG – Marc Derron (Construction & Development) am 28.04.2016 14.00-15.00 in Zürich

Fragekatalog

Einstiegsfragen:

- Welche Entwicklungen prägen aus ihrer Sicht den Wohnungsbau der Zukunft?

#1

- Tiefes Zinsniveau begünstigt Investitionen in den Wohnungsbau
- Technische Entwicklung z.B. Hybridkollektoren, Erdsonden zum Heizen und Kühlen
- Verschärfung der Vorschriften z.B. energetische Standards
- Verdichtung, bessere Ausnutzung von Grundstück und Gebäude

#2

- Zuwanderung und demographische Entwicklung
- Zins- und wirtschaftliche Entwicklung

#3

- Erstellung durch interdisziplinäre Teams von der Planung über die Erstellung und Betrieb
- Gesamtheitliche Betrachtung im Sinne der Nachhaltigkeit
- Technologie: Standardisierung und Vorfabrikation

#4

- Baugewerbe bleibt der Tradition noch lange verpflichtet (Hemmnis bei der Erstellung durch neue Prozesse und Technologien)
- Flexibilität, neue Wohnformen (Clusterwohnen, Alterswohnen), Verdichtung im Wohnungsbau
- Smart Home, Digitalisierung z.B. durch Assistenzsysteme für Alterswohnen, insbesondere Pflege- und Sicherheitsaspekte werden gefragt sein



- Suffizienz durch geringeren Wohnflächenbedarf wird sich nur durch die wirtschaftlichen Verhältnisse regeln lassen, z.B. zumietbare Zimmer anstatt überdimensionierte Wohnung

#5

- Verdichtung spielt eine zunehmende Rolle, insbesondere bei der Entscheidung zwischen Ersatzneubau und Sanierung, was sich als Verdrängungsdruck auf den Bestand äussert
- Qualitätsvolle Gestaltung des Aussenraums gewinnt bei der Quartiersentwicklung an Bedeutung
- Bedarf nach günstigem Wohnraum verschärft den Kostendruck, dadurch geraten Planer und die öffentliche Hand zunehmend unter Druck
- Smart Home und Assistenzsysteme werden an Bedeutung gewinnen (Software wichtiger als Hardware)

#6

- Preiswertes Wohnen vgl. Anlagestiftung Adimora, z.B. Siedlung Oberwis in Winterthur (4 Zi. Wohnung mit 85 m²) CHF 1985 inkl. NK durch Verringerung der Wohnfläche (keine Korridore, keine zweite Nasszelle)
- Low Tech Ansätze in der Gebäudetechnik, die robust und günstig im Betrieb sind, z.B. Nachströmöffnungen für Zuluft (Wärmerückgewinnung von mechanischen Lüftungen steht in keinem Verhältnis zum Aufwand)
- Ersatzneubau rechnet sich in der Regel erst bei einer möglichen Steigerung der Ausnutzung von +100%

- Welche Wohntypologien bzw. Wohnformen könnten in Zukunft gefragt sein?

#1

- Clusterwohnen, Grosshaushalte, Mehrgenerationenwohnen in den grossen Städten
- Bedeutung der sozialen Nachhaltigkeit gewinnt an Bedeutung

#2

- Flexibilität im Wohnungsgrundriss mit der Option auf zumietbaren Wohnraum (Zusatzzimmer)
- Offener Grundriss (Verbindung von Küche und Wohnen) mit Küche als Repräsentationsraum
- Helle Wohnungen (grosse Fensterflächen) mit einem Fensterflächenanteil von ca. 50%
- Trend zu einer weiteren Vergrösserung des privaten Aussenraums (Balkon, Loggia)

#3

- Individuelle Wohnformen (Stockwerkeigentum) nur für vermögenderes Klientel leistbar
- Funktionelle Wohnformen (Bestand 1940-1970) für weniger vermögendes Klientel

#4

- Wohnformen, die Suffizient sind und weniger Wohnfläche verbrauchen - mehr Qualität als Quantität, daran sind aber Investoren in der Regel nicht interessiert (grössere Wohnung = grössere Marge)



#5

- Demografische Entwicklung (Überalterung)
- Flexibilität im Wohnungsgrundriss und Wohnungsmix vgl. Projekte Mehr als Wohnen, Kalkbreite, Dienstleistungen, z.B. Rezeption vgl. Überbauung James, zumietbare Zimmer für Besucher

#6

- Universell nutzbarer Wohnraum (hauptsächlich 3-4 Zi. Wohnungen) und zunehmend auch Kleinwohnungen

Fachfragen:

#1 Thema: Wohnen und Energie

- Energiestandard und Energiestrategie, wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung ein?
 - Maximum des Dämmstandards ist in absehbarer Zeit erreicht
 - Systeme zur Energiespeicherung gewinnen an Bedeutung
 - Low Tech Ansätze sind robust und wenig fehleranfällig vgl. Baumschlager Eberle Projekt 2226 in Lustenau, Österreich
 - Ohne Überzeugung fehlt die Umsetzung (z.B. Minergie mit kontrollierter Lüftung)
- Wie werden sich Eigentumsformen und der Anteil am Eigentum entwickeln?
 - Bauland wird knapper und teurer
 - Stockwerkeigentum wird weiterhin gefragt sein, Vorgehen bei der Erneuerung muss sich etablieren
- Energiekosten im Mietsektor (Mieter vs. Hausbesitzer), ist die Verantwortung auf den Bauherrn übertragbar?
 - Grundsätzlich denkbare Szenario, die Umsetzung wird schwierig durchführbar sein (starke Lobby)
- Welche Veränderungen sind im Mietrecht und Mietwohnungsmarkt absehbar?
 - Politischer Wille/ Durchschlagskraft fehlt, um nachhaltiger zu bauen, vgl. z.B. Vorstösse die abgelehnt wurden: Flächenverbrauchssteuer (Leuthard) oder Lenkungsabgabe (Widmer-Schlumpf)

#2 Thema: Bau und Entwicklung

- Welche Rolle wird der Holzbau in Zukunft spielen?
 - Kostenfrage, derzeit sind Hybridbauten 10% teurer (Primärkonstruktion) als Massivbauten (Angabe bezieht sich auf aktuelle Offertvergleich der ABL)
 - Dauerhaftigkeit muss im Vergleich zu einem Massivbau gewährleistet werden
 - Aufgrund des Gewichts prädestiniert für das Weiterbauen im Bestand



- Welche strategische Ausrichtung verfolgt die ABL? Wie sehen ihre Leitbilder aus?
 - Lebenszyklus 100 Jahren, bei einer Abschreibung des Gesamtbaus nach 50 Jahren
 - Unterhalt und Erneuerung erfolgen nach einer eingehenden Beurteilung des Gebäudebestands (umfassende Erneuerung soll den Lebenszyklus um ca. 30 Jahre verlängern)
 - Erneuerung ist abhängig von der Situation der Mieter (Umsiedlungsmöglichkeiten)

- Welche Tendenzen zeichnen sich in der Gebäudetechnik ab, welche Technologien werden in Zukunft eingesetzt?
 - Bestrebung erneuerbare Energien einzusetzen und fossile Brennstoffe abzubauen, jedoch fehlt der politische Wille
 - Nutzung von PV mit Netzeinspeisung anstelle von WW Kollektoren (Problem: Überschuss im Sommer und Mangel im Winter)
 - Standard: Heizung über Fussboden und zentrale Lüftung (Monoblock) mit wohnungsweiser Ansteuerung
 - Strukturtrennung ist allenfalls bei Erneuerungen ein Thema, im Neubau werden die Leitungen nach wie vor in die Geschossdecke eingelegt

#3 Thema: Holzbau, Hybridbau, modulare Bauweise und Energieeffizienz

- Welche Rolle wird der Holzbau in Zukunft spielen? Welchen Anteil erwarten Sie bis im Jahr 2080?
 - EFH ca. 20-25% Marktanteil
 - MFH ca. 20% (vorfabrizierter Holzbau)

- Was verstehen Sie unter Hybridbau?
 - Einsatz von Materialien entsprechend ihrer Stärken, z.B. Beton in der Erschliessung und im Bereich der Geschossdecken (Brand- und Schallschutz, Erdbebensicherheit)
 - Problem der Toleranzen bei der Kombination von Nass- und Trockenbau: Vorfabrikation auf Millimeter, Ortbau auf mehrere Zentimeter
 - Übergangserscheinung, die langfristig dem integralen- und vorfabrizierten Modulbau weichen wird

- Welche Vorteile sehen Sie in der modularen Bauweise?
 - Ausnutzung der Vorteile industrieller Produktion vs. handwerklicher Produktion, insbesondere die integrale Planung im Werk
 - Mehrwert durch Replizierbarkeit, in Abhängigkeit der Stückzahlen

- Was kann den Holzbau wettbewerbsfähiger machen, wo kann er seine Stärken ausspielen?
 - Problem: Billige, unqualifizierte Arbeitskräfte (Akkordanten der Baumeister) drücken den Preis der traditionellen Massivbauweise, dem gegenüber stehen teurere, qualifizierte Arbeitskräfte der vorfabrizierten Bauweise im Holzbau
 - Kosten müssen über den gesamten Lebenszyklus visualisiert werden (inkl. Energie im Betrieb), dafür fehlen die entsprechenden Tools



- Bei einer professionellen Planung im Holzbau sind derzeit Mehrkosten zwischen 0-5% gegenüber einer traditionellen Bauweise zu erwarten
- Innerhalb kürzester Zeit geschossweise erstellbar, mit der Möglichkeit der Errichtung über das gesamte Jahr

- Was kann der Holzbau im Bereich der Sanierung leisten?
 - Vorfabrikation macht für die rein energetische Sanierung keinen Sinn, da sie zu unwirtschaftlich ist – für Erweiterungen ist sie sinnvoll (Leichtbaukonstruktionen auf Bestandsgebäuden)
 - Je nach Unterhaltsstrategie ist der Ersatzneubau in der Regel besser als eine umfassende Sanierung, insbesondere betreffend den Anforderungen nach Brandschutz, Schallschutz und Statik

#4 Thema: energieeffiziente Gebäudetechnik sowie Wohnkomfort

- Welche Tendenzen zeichnen sich in der Gebäudetechnik ab, welche Technologien werden in Zukunft eingesetzt?
 - Einsatz von Wärmepumpen wird in Zukunft standardmässig eingesetzt, z.B. in Verbindung mit: Erdsonden/ Erdregister, Aussenluft, Grundwasser, Netz- bzw. Ringverbünde von Arealen
 - Dämmung der Gebäudehülle soll nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen (Auslotung des Optimums zwischen Energievermeidung und Produktion)
 - Lokale Energiespeicher für Spitzenlasten und nicht für Grundlasten dimensionieren (Netzdesign)
 - Leistungsoptimierung steht im Vordergrund, durch die vereinfachte Vernetzung von Angebot und Nachfrage

- Ist die Kühlung durch Erdsonden eine nachhaltige Technologie? Welche Risiken sind damit verbunden?
 - Wärmepumpenkältemaschine (WPKM) im Change Over Betrieb (im Winter heizen und im Sommer kühlen), besonders für Mischnutzungen (Wohnen, Büro und Gewerbe) sinnvoll, dadurch können sich Erdsondenfelder entsprechend regenerieren – die Kühlung im Wohnungsbau geht über die Fussbodenheizung, im Bürobau über TABS (Lebensdauer 90 Jahre = Beton)
 - Rein thermische Kollektoren werden Hybridkollektoren weichen zur Produktion von Strom, Wärme und der Regeneration von Erdsondenfeldern

- Low-Tech (z.B. 2226 Baumschlagler Eberle) vs. High-Tech (z.B. B35Leibundgut), welche Szenarien sind denkbar?
 - Es geht um die Frage der Wirtschaftlichkeit, nicht um die Frage der Technik

#5 Thema: Nachhaltiges Bauen

- Welche Innovationen erwarten Sie im Rahmen des nachhaltigen Bauens?
 - Durch den Einsatz neuer Materialien und Bautechnologien verringert sich der Bedarf an grauer Energie



- Prozess der Zusammenarbeit d.h. integrale Planung und vernetztes Denken wird an Bedeutung gewinnen - braucht es den klassischen Architekten noch?
- Wo liegt aus ihrer Sicht der zukünftige Fokus nachhaltigen Bauens betreffend Suffizienz, Effizienz, Konsistenz? Wie kann eine Suffizienzsteigerung erreicht werden?
 - Effizienz im Neubau ist ausreichend und muss nicht weiter gesteigert werden, das grosse Potenzial liegt in der Sanierung des Bestands
 - Einsatz regenerativer Energie scheitert häufig an der technischen-, wirtschaftlichen- oder gestalterischen Umsetzbarkeit sowie dem politischen Willen
 - Erdsonden benötigen Platz im Erdreich und können nur bei entsprechender Regeneration an Nachbarsonden angrenzen und nur in ausgewiesenen Zonen eingesetzt werden
 - Grosses Potenzial in der Verringerung des Flächenbedarfs durch:
Konsum- und Mobilitätsverhalten, was einen gesellschaftlichen Wandel erfordert (politisch nicht durchsetzbar) und betriebliche Massnahmen, vgl. Mehrfachnutzung von Schulgebäuden in der Stadt Zürich
 - Fokus liegt auf der Betriebsphase: Lebenszyklus und materialgerechte Gebrauchstauglichkeit
- Welche Tendenzen zeichnen sich in der Gebäudetechnik ab, welche Technologien werden in Zukunft eingesetzt?
 - Wärmepumpen betrieben über Erdsonden/ Grundwasser
 - Das Projekt 2226 von Baumschlager Eberle erfüllt Aspekte nachhaltigen Bauens, wie z.B. Kompaktheit, Sommerlicher Wärmeschutz (tiefe Leibungen), Dauerhaftigkeit, kein Untergeschoss, angemessener Fensteranteil, Nutzung interner Wärmelasten (Personen, Geräte), natürliche Lüftung über automatisch gesteuerte Kippflügel - kritisch anzumerken sind folgende Aspekte: Risikobereitschaft (kein Standard für Investoren), Bereitschaft Komforteinschränkungen hinzunehmen (Zugerscheinungen), akustische Probleme (Entschärfung durch Vorhänge), hoher Aufwand für gebäudetechnische Simulationen

#6 Thema: Konstruktion und Entwicklung

- Energiestandard und Energiestrategie, wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung ein?
 - Energetischer Standard ist ausreichend, eine weitere Erhöhung nicht sinnvoll, der Fokus liegt auf der Vermeidung von CO₂
 - Effizienzpfad 2040 ist die Richtlinie, die Vorgaben der 2000 Watt Gesellschaft werden angestrebt
- Welche Tendenzen zeichnen sich in der Gebäudetechnik ab, welche Technologien werden in Zukunft eingesetzt?
 - Übersetzbarkeit des Projekts 2226 (Bürobau) von Baumschlager Eberle wird für den Wohnungsbau geprüft, in Zusammenarbeit mit Sen Development (prov. Projektname 2028)
- Welche Innovationen erwarten Sie im Rahmen des nachhaltigen Bauens?
 - Anpassungsfähigkeit ist im Wohnungsbau kein Thema, da unwirtschaftlich, gefragt sind nutzungsneutrale Wohnungen, in denen verschiedene Wohnformen möglich sind



- Aus nachhaltiger Sicht (graue Energie) sind Holzbauten interessant, insbesondere für Aufstockungen, nicht jedoch für den Neubau (unwirtschaftlich)
- Moderate Strukturtrennung, z.B. Lüftung in abgehängter Decke, pro Wohnung ein Schacht für die gebäudetechnischen Installationen

Auswahl Fallstudien:

- Welche Bauweise sehen Sie aufgrund folgender Merkmale als zukunftsweisend an? (Auswahl von fünf Gebäuden)
 - Tragwerkstyp
 - Aussenwandtyp
 - Deckentyp
 - Typ des privaten Aussenraums

Bauweise	Experteninterviews						Auswahl
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
<i>Massivbau</i>							
<i>Typ 1</i>	Nr. 1		Nr. 1	Nr. 1	Nr. 1	Nr. 1	Nr. 1 (5)
<i>Typ 2</i>							
<i>Typ 3</i>		Nr. 1		Nr. 1		Nr. 1	Nr. 1 (3)
<i>Typ 4</i>	Nr. 1	Nr. 1					
<i>Typ 5</i>	Nr. 2			Nr. 2	Nr. 2	Nr. 2	Nr. 2 (4)
<i>Hybridbau</i>							
<i>Typ 6</i>	Nr. 2	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 2	Nr. 2	Nr. 2	Nr. 2 (5)
<i>Typ 7</i>							
<i>Typ 8</i>		Nr. 3	Nr. 3	Nr. 1			
<i>Typ 9</i>		Nr. 1	Nr. 1		Nr. 1	Nr. 1	Nr. 1 (4)
<i>Leichtbau</i>							
<i>Typ 10</i>	Nr. 1				Nr. 1		
<i>Typ 11</i>			Nr. 1				

Tabelle 23: Auswahl der Beispielgebäude durch Interviewpartner

#1

- Leichtbau, insbesondere der Holzbau wird in Zukunft eine wachsende Rolle spielen, z.B. für Aufstockungen/ Erweiterungen, um Ausnutzungsreserven zu aktivieren
- Steigendes Know - How von Planern und Unternehmern (z.B. Brandschutz, Bauprozess) wird den Prozess der Nutzung alternativer Bausysteme beschleunigen

#2

- Aufgrund des Verdichtungspotenzials wird der Leichtbau in Zukunft eine grössere Rolle spielen



- Wegen der aufwändigen Detailausbildung (z.B. Überdämmung Fenster) ist das Einsteinmauerwerk kritisch zu betrachten
- Massivbauweise bzw. die Hybridbauweise garantieren eine einfachere Erfüllung von Vorschriften (z.B. Erbebensicherheit)
- Modularer Holzbau wird an Bedeutung gewinnen (Standardisierung)

#3

- Unterscheidung zwischen Systembau (Bauelemente), Hybridbau und Modulbau (Raumelemente)
- Holzrahmenbau ist grundsätzlich am wirtschaftlichsten, je nach lokaler Tradition können auch Massivholzplatten als Variante gewählt werden
- Ablösung der traditionellen Bauweise wird nur langsam zugunsten einer industrialisierten Bauweise voranschreiten (die Frage ist nicht ob, nur wann)

#4

- Neben der Simulation ist die messtechnische Erfassung, z.B. durch Netatmo (Wetterstation + App) überlegenswert, entsprechende Daten können vom Projekt Cresta Park bereitgestellt werden
- Typologie sollte mit Heizgrenzen von verschiedenen Gebäudetypen ergänzt werden - daran wäre Halter interessiert (ggf. als Folgeprojekt)
- Holzbau ist derzeit nicht wirtschaftlich, eher der Hybridbau mit Holzfassaden
- Einsteinmauerwerk mit WD und mineralischem Putz hat Potenzial, dadurch kann das WDS vermieden werden und die Dauerhaftigkeit verbessert werden

#5

- Hybridbau als Antwort auf Leichtbau, um Schall-, Brand- und sommerlichen Wärmeschutz einfacher lösen zu können, so wurden z.B. die Holzbetonverbunddecken im Projekt Sihlbogen (Typ 9 Nr. 1) verbessert, aufgrund der erkannten Probleme im Projekt an der Badenerstrasse (Typ 9 Nr. 2)
- Leichtbau (Holzbau) kann für bestimmte Nutzungen sinnvoll sein und bietet Vorteile die Ziele der 2000 Watt Gesellschaft zu erreichen, insbesondere im Hinblick auf die graue Energie
- Massivbau kann, im Vergleich zu anderen Bauweisen, trotz des hohen Verbrauchs an grauer Energie, über den gesamten Lebenszyklus eine positive Bilanz aufweisen (Dauerhaftigkeit)
- Im Hinblick auf die Ausnutzung (geringere Wandstärken durch Holzrahmenbauweise) kann der Hybrid- oder Leichtbau im Vergleich zum Massivbau vorteilhaft sein, z.B. konnte dadurch im Projekt Kronenwies in Zürich 10% mehr HNF ausgewiesen werden (trotzdem wurde aufgrund wirtschaftlicher Erwägungen der Massivbau bevorzugt)

#6

- Konstruktion als Einsteinmauerwerk zunehmend beliebt, z.B. Projekt Allenmoosstrasse von Maier Hug Architekten
- Wärmedämmverbundsystem (WDV) wird sich weiterhin als Standard behaupten
- Leistungsfähigkeit des monolithischen Dämmbetons nicht mehr ausreichend für gesetzliche Anforderungen (nur mit aufwändiger Konstruktion – dadurch unwirtschaftlich)
- Holzbaukonstruktionen werden max. einen Marktanteil von 20%-25% erreichen



Schlussfragen:

- Inwiefern sind die baulichen Herausforderungen des Klimawandels für Ihre Arbeit von Bedeutung?

#1

- Energieeffizienz steht im Vordergrund, die Herausforderungen des Klimawandels sind wenig präsent

#2

- Wetterextreme sind genauer zu analysieren, da sie immer häufiger vorkommen werden
- Sommerlicher Wärmeschutz gewinnt an Bedeutung, Kühlung erfolgt zunehmend über Erdsonden mit einer Verteilung über die Lüftung oder die Fussbodenheizung (erstmaliger Einsatz bei der ABL)

#4

- Ressourcen- und Klimawandel sind von grosser Bedeutung, die vorübergehende Verbilligung fossiler Brennstoffe wird von kurzer Dauer sein
- Raumkühlung wird zunehmend an Bedeutung gewinnen und in Zukunft als Standard im Wohnungsbau zu betrachten sein, z.B. durch TABS (ca. CHF 50/m²) mit zusätzlichen Dosen für max. Flexibilität

#5

- Tägliche Beschäftigung mit dem Thema durch die Optimierung von Ressourcen und Treibhausgasen, um nachhaltige Bauprojekte zu realisieren

#6

- Keine unmittelbare Bedeutung, nur im Rahmen der 2000 Watt Gesellschaft

- Wie kann der Energiebedarf weiter gesenkt werden – was sind aus ihrer Sicht die relevanten Stell-schrauben?

#1

- Fossile Energieträger sind zu günstig, solange das so ist werden sich die erneuerbaren Energieträger nicht durchsetzen
- Umstieg auf erneuerbare Energie lohnt sich in der Regel nicht, Amortisationszeiten sind zu lang
- Abhängigkeit der Energiepreise im Ausland, z.B. durch den Import von AKW Strom
- Bewusstsein einer kompakten Bauweise setzt sich bei Planern zunehmend durch (Verhältnis EBF/ Gebäudevolumen)
- Investoren müssen überzeugt werden Energieeffizienz zu bauen



#2

- Entscheidend ist das Nutzerverhalten, dort ist der grösste Hebel zu erwarten
- Dämmstärken sind mit 18cm (zweischalige Aussenwandkonstruktion) - 27 cm ausreichend

#3

- In der Mobilität und im Gebäudebestand (ca. 70% Optimierungsmöglichkeit) liegt das grosse Potenzial
- Steigerung durch Smart Grid/ Energieverbünde und Bautechnologie
- Nutzung erneuerbarer Energien (Sonne-, Wind-, und Wasserkraft), es muss nicht immer regional produziert werden, es kann sinnvoller (ökonomischer) sein den Strom im Süden zu produzieren (Volkswirtschaftlichkeit betrachten)

#4

- Muss er weiter gesenkt werden? Die Frage sollte lauten: Wieviel CO₂ können wir uns leisten
- Eine optimierte Einstellung der Heizgrenze, z.B. in Verbindung mit Wetterdaten, abgestimmt auf die verfügbare thermische Masse kann den Heizenergiebedarf massiv senken, z.B. wird die Heizung erst bei 10.5° anstatt 13°-14° Aussentemperatur aktiviert
- Neben der SIA 380/1 muss die Betrachtung der Wärmeabgabeleistung (SIA 384) in den Vordergrund gestellt werden
- Standort ist relevant – ein Minergie Gebäude macht z.B. in den Bergen nicht unbedingt Sinn (da problemlos Energie produziert werden kann), hingegen z.B. in einem schattigen „Nebel-loch“ eher

#5

- In der Sanierung des Gebäudebestands liegt das grösste Potenzial

#6

- Der CO₂ Bedarf ist zu senken und die Produktion erneuerbarer Energien zu steigern, fossile Energieträger sind zu vermeiden
- In der Mobilität liegt das grosse Potenzial den Energiebedarf zu senken

– Wie lassen sich Anforderungen an Einfachheit und Komfort für den Nutzer umsetzen?

#1

- Je nach Bauträger steht die ökologische Nachhaltigkeit mehr oder weniger im Fokus, vgl. progressive/ experimentelle Bauträger, die z.B. Regenwasserspülungen nutzen

#2

- Anforderungen an Behaglichkeit werden sich nicht wesentlich ändern



#4

→ Anforderungen sind durch den angemessenen Einsatz von Gebäudetechnik zu lösen

#5

→ Komfortanforderungen von Büro und Wohnen werden sich annähern, eine Kühlung von Wohngebäuden wird in absehbarer Zeit Standard sein

→ Durch faire, transparente Aushandlungsprozesse unter Einbezug von Eigentümer, Bauherren- und Nutzervertretung

#6

Gebäude muss so robust konzipiert sein, dass das Nutzerverhalten keinen grossen Einfluss hat, z.B. keine Kippflügel, wassersparende Armaturen



8.3. Kurzbeschreibung Beispielgebäude

Folgend werden die vier in IDA ICE 4.7.1-implementierten Gebäudemodelle in Kurzform dargestellt:

- „Altbau standard“
- „Altbau geschützt“
- „Neubau massiv“
- „Neubau hybrid“

Diese Gebäudemodelle bilden die Grundlagen zur Simulationen von vier verschiedenen zukunftsorientierten Gebäudetypologien, die Fallstudien genannt werden. Die Typologien sind durch die folgenden Parameter charakterisiert:

	„Altbau standard“ (1954)	„Altbau geschützt“ (1928-29)	„Neubau massiv“ (2016)	„Neubau hybrid“ (2014)
Anzahl Wohnungen simuliert / (gesamthaft)	12 (99)	5 (138)	12 (145)	13 (18)
Gebäudeform:				
Anzahl der Etagen	2	5	4	3 + Attika
Formfaktor ¹ (A_{th}/V_E)	0.765 m ⁻¹	0.43 m ⁻¹	0.371 m ⁻¹	0.42 m ⁻¹
Gebäudehüllzahl (A_{th}/A_E)	2.35	1.3	1.15	0.77
Proportion (lxbxh)	33.6x10x 9.9 m	100-130x10x 17 m	18.25x23.16x 11.6 m	13.24x60x 12.5 m
Orientierung Hauptfassade	138°	50.1°	130°	230.5°
Wärmespeicherfähigkeit	Massivbau	Massivbau	Massivbau	Leichtbau
Wärmeverteilsystem ²	Radiatoren	Radiatoren	Bodenheizung	Bodenheizung
Fenster:				
Anteil	17.8%	21.2%	53.8%	42.3%
	27.4% (SW)	17.9% (SO)	37.9% (NW)	44.5% (NW)
	17.4% (NO)	24.4% (NW)	58.7% (NO)	35.5% (NO)
	3.6% (SO)		64.2% (SO)	23.6% (SO)
	13.2 % (NW)		53.9% (SW)	55.9% (SW)
Qualität (U_{glas} / U_{rahmen}) (W/m ² K)	U_g : 2.9 / U_r : 1.8	U_g : 1.3 (Hof.), 2.4 (Strasse) / U_r : 1.8	U_g : 0.7 / U_r : 1.1	U_g : 0.7 / U_r : 1.3



+	„Altbau standard“ (1954)	„Altbau geschützt“ (1928-29)	„Neubau massiv“ (2016)	„Neubau hybrid“ (2014)
Sonnenschutz:				
Fix/Mobil	Mobil	Mobil	Mobil	Mobil
Typ	Rollladen (SW-Fassade) Fensterläden (NO-Fassade)	Fensterläden	Fassadenmar- kise: Stoff	Rafflamellen- storen
g-Wert	0.1	0.1	0.15	0.1
Zusätzlicher Wärme- durchlasswiderstand ge- schlossen	0.22 / 0.36	0.36	0.08	0.08
Automation	Ja, gem. <i>Kapitel</i> 5.1.1.2	Ja, gem. <i>Kapitel</i> 5.1.1.2	Ja, gem. <i>Kapitel</i> 5.1.1.2	Ja, gem. <i>Kapitel</i> 5.1.1.2
Balkon				
	SO – Integriert 1.14x3.7 m + Überstand 0.8x2.3 m	SW – Überstand 1x2.6 m NO – Überstand (neu) 2.4x3.3 m	NO, SO und SW – Integriert 2.4x4.6-5.1 m	SW – Integriert 3.84x3.86 m
Dämmung				
Lage	Innen (nur Dach)	Innen (Hoffassade, Dach, Keller)	Aussen	Zwischen Holz- konstruktion
Dämmwert:				
Fassade	1.4	1.4 – 0.52	0.15	0.15
Dach	0.28	0.28	0.16	0.13
Boden (unbeheizt Räume)	1.02	0.27	0.19	0.18
<i>Durchschnittswert</i> (W/m ² K)	1.02	0.65	0.17	0.15
Lüftung				
Typ	Natürlich	Natürlich	Mechanisch	Mechanisch
Kontrolle	CO ₂	CO ₂	konstanter Volumenstrom 1m ³ /m ² h	konstanter Volumen- strom 1m ³ /m ² h
Infiltration ³ [m ³ /h·m ²]	0.3	0.3	0.15	0.15
¹ Verhältnis der thermischen Gebäudehüllfläche zum Energiebezugsvolumen				
² Tatsächlich installierte Wärmeverteilsysteme. Für genauere Angaben zur Implementierung in den Simulationen, siehe Abschnitt 2.6.				
³ Die Werte entsprechen den Bestand und Standardwert für den Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration für MFH gemäss SIA MB 2024:2015 [10].				



8.4. Umfassende Simulationsergebnisse – Phase I

8.4.1. „Altbau standard“

	Ref. Medianjahr 2004				Ref. wärmstes Jahr 2003				A1B Medianjahr 2063				A1B wärmstes Jahr 2068			
	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD
W1 EG Zone 1	26.3	0	0	7.2%	28.9	0	125	7.7%	30	0	82	7.5%	31.2	0	329	8.5%
W1 EG Zone 2	24.6	0	0	6.9%	27.5	0	57	7.2%	27.3	0	25	7.0%	29.4	0	121	7.7%
W1 EG Zone 3	25.2	0	0	7.4%	28.7	0	122	8.1%	29	0	51	7.6%	30.7	0	335	8.9%
W1 EG Zone 4	24.2	0	0	7.2%	27.3	0	46	7.5%	27.5	0	12	7.2%	29.4	0	178	8.0%
W1 1OG Zone 1	26.6	0	1	7.1%	29.5	0	174	7.9%	30.5	0	103	7.5%	31.8	0	378	8.7%
W1 1OG Zone 2	25.1	0	0	6.8%	28.5	0	105	7.4%	28.6	0	40	7.1%	30.3	0	262	8.2%
W1 1OG Zone 3	25.6	0	0	7.3%	29.5	0	198	8.3%	29.6	0	79	7.7%	31.3	0	417	9.3%
W1 1OG Zone 4	24.8	0	0	7.1%	28.4	0	107	7.7%	28.4	0	38	7.3%	30.2	0	267	8.4%
W2 EG Zone 1	25.5	0	0	6.9%	28	0	69	7.2%	28.7	0	32	7.1%	30.3	0	191	7.8%
W2 EG Zone 2	24.6	0	0	6.8%	27.6	0	60	7.1%	27.8	0	22	6.9%	29.5	0	154	7.6%
W2 EG Zone 3	24.1	0	0	6.9%	27.2	0	31	7.2%	27.1	0	9	7.0%	29	0	141	7.6%
W2 EG Zone 4	24.2	0	0	7.1%	27.3	0	37	7.4%	27.3	0	11	7.1%	29.2	0	162	7.9%
W2 1OG Zone 1	25.8	0	0	6.8%	28.6	0	106	7.4%	29.3	0	44	7.1%	30.8	0	250	8.0%
W2 1OG Zone 2	25	0	0	6.7%	28.5	0	102	7.3%	28.7	0	38	7.0%	30.5	0	249	8.0%
W2 1OG Zone 3	24.5	0	0	6.8%	28.1	0	93	7.3%	27.9	0	20	7.0%	29.7	0	200	7.9%
W2 1OG Zone 4	24.6	0	0	7.0%	28.2	0	95	7.5%	28	0	27	7.1%	29.9	0	229	8.2%
W4 EG Zone 1	25.5	0	0	7.0%	27.9	0	68	7.3%	28.8	0	33	7.1%	30.3	0	196	7.9%
W4 EG Zone 2	25.2	0	0	7.2%	28.2	0	83	7.6%	28.6	0	36	7.3%	30.3	0	207	8.2%
W4 EG Zone 3	25.2	0	0	7.4%	28.5	0	82	7.8%	29.1	0	37	7.5%	31	0	233	8.4%
W4 EG Zone 4	24.2	0	0	7.2%	27.2	0	33	7.6%	27.4	0	12	7.3%	29.3	0	174	8.0%
W4 1OG Zone 1	25.9	0	0	6.9%	28.7	0	114	7.5%	29.4	0	51	7.2%	31	0	281	8.2%
W4 1OG Zone 2	25.7	0	0	7.1%	29.1	0	136	7.8%	29.4	0	56	7.4%	31.1	0	312	8.6%
W4 1OG Zone 3	25.6	0	0	7.3%	29.4	0	136	8.0%	29.8	0	52	7.5%	31.6	0	302	8.7%
W4 1OG Zone 4	24.7	0	0	7.1%	28.2	0	102	7.7%	28.3	0	35	7.3%	30.1	0	256	8.4%
Mittelwert	25.1	0	0	7.0%	28.3	0	94	7.5%	28.6	0	39	7.2%	30.3	0	240	8.2%
Median	25.0	0	0	7.0%	28.2	0	94	7.4%	28.6	0	34	7.1%	30.3	0	229	8.0%

¹ Anforderung an Räume mit natürlicher Lüftung, während diese weder beheizt noch gekühlt sind

² Anforderung an Räume, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind

Tabelle 24: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Altbau standard“.

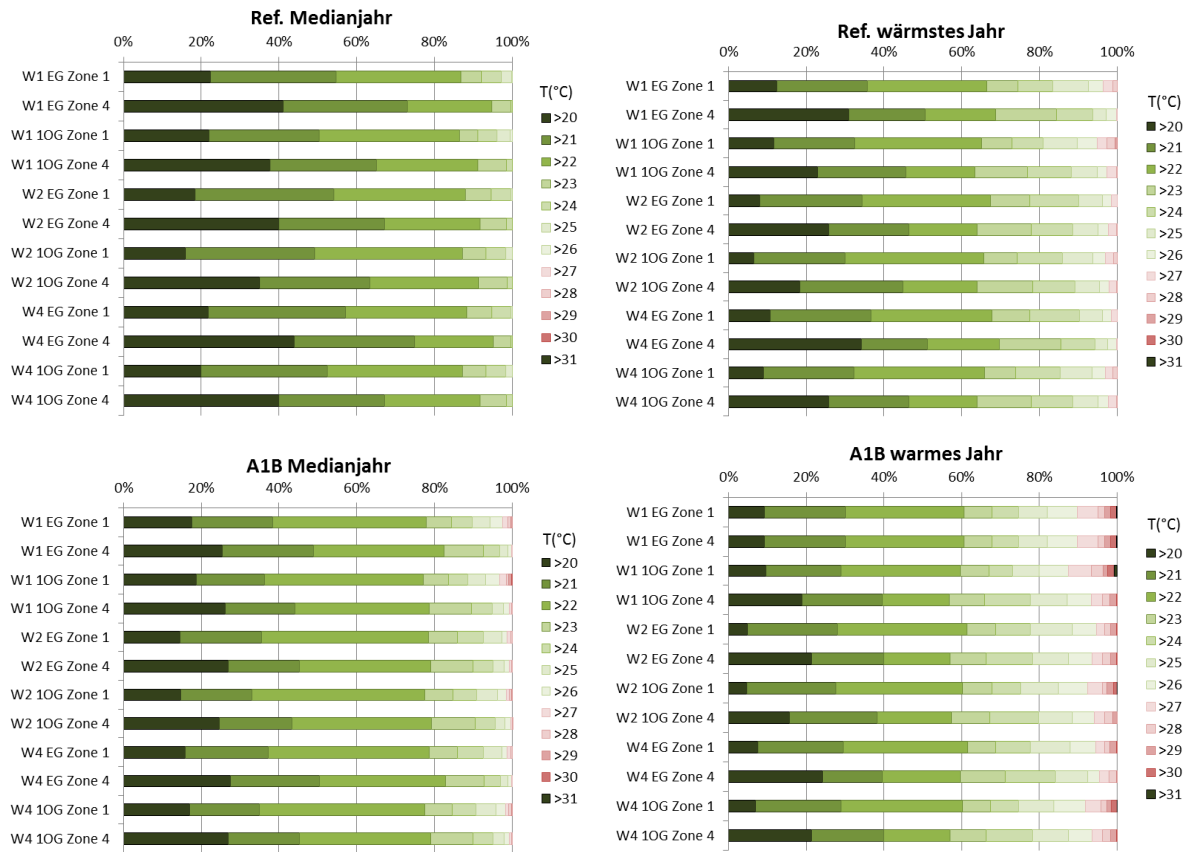


Abbildung 122: Prozentualer Anteil der Zeit der empfundenen Temperaturen in den Zonen 1 und 4 in jeder Wohnung während des Zeitraums vom 15. April bis zum 16. Oktober in den Jahren Referenz Medianjahr, Referenz wärmstes Jahr, A1B Medianjahr und A1B warmes Jahr.



8.4.2. „Altbau geschützt“

	Ref. Medianjahr 2004				Ref. wärmstes Jahr 2003				A1B Medianjahr 2063				A1B wärmstes Jahr 2068			
	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD
W1 EG Zone 1	24.4	0	0	7.3%	27.6	0	63	7.4%	27.8	0	22	7.1%	29.6	0	189	8.0%
W1 EG Zone 2	24.5	0	0	7.2%	27.7	0	68	7.3%	27.9	0	24	7.1%	29.7	0	199	7.9%
W1 EG Zone 3	24.7	0	0	7.2%	27.8	0	75	7.4%	28.1	0	25	7.1%	29.7	0	208	8.0%
W1 EG Zone 4	24.4	0	0	7.2%	27.6	0	64	7.4%	27.8	0	22	7.1%	29.6	0	182	7.9%
W1 EG Zone 5	24.1	0	0	7.2%	26.8	0	5	7.2%	26.9	0	3	7.0%	28.7	0	110	7.5%
W1 EG Zone 6	24.4	0	0	7.3%	27.1	0	19	7.3%	27.4	0	10	7.1%	29	0	116	7.6%
W1 1OG Zone 1	24.9	0	0	6.9%	28.3	0	89	7.2%	28.4	0	36	6.9%	30.1	0	242	7.9%
W1 1OG Zone 2	25	0	0	6.8%	28.5	0	107	7.2%	28.6	0	44	6.9%	30.3	0	275	8.0%
W1 1OG Zone 3	25.1	0	0	6.8%	28.5	0	108	7.2%	28.6	0	46	6.9%	30.3	0	276	8.0%
W1 1OG Zone 4	24.9	0	0	6.9%	28.3	0	89	7.2%	28.4	0	35	6.9%	30.1	0	234	7.8%
W1 1OG Zone 5	24.5	0	0	6.8%	27.6	0	54	7.0%	27.5	0	11	6.7%	29.2	0	134	7.4%
W1 1OG Zone 6	24.7	0	0	7.0%	27.8	0	62	7.2%	27.8	0	14	6.9%	29.4	0	152	7.6%
W1 2OG Zone 1	25	0	0	6.9%	28.5	0	99	7.2%	28.6	0	40	6.9%	30.3	0	259	7.9%
W1 2OG Zone 2	25.1	0	0	6.7%	28.8	0	121	7.2%	28.9	0	54	6.9%	30.6	0	294	8.0%
W1 2OG Zone 3	25.1	0	0	6.7%	28.8	0	121	7.2%	28.9	0	54	6.9%	30.6	0	294	8.1%
W1 2OG Zone 4	25	0	0	6.8%	28.5	0	100	7.2%	28.6	0	40	6.9%	30.3	0	254	7.9%
W1 2OG Zone 5	24.5	0	0	6.8%	27.7	0	60	7.0%	27.6	0	11	6.7%	29.3	0	141	7.4%
W1 2OG Zone 6	24.7	0	0	7.0%	27.8	0	67	7.2%	27.9	0	16	6.9%	29.5	0	155	7.6%
W1 3OG Zone 1	25.1	0	0	6.8%	28.7	0	109	7.2%	28.9	0	47	6.9%	30.5	0	276	8.0%
W1 3OG Zone 2	25.3	0	0	6.7%	29	0	141	7.3%	29.1	0	64	6.9%	30.8	0	313	8.2%
W1 3OG Zone 3	25.3	0	0	6.7%	29	0	143	7.3%	29.1	0	65	6.9%	30.8	0	313	8.2%
W1 3OG Zone 4	25.1	0	0	6.8%	28.7	0	109	7.2%	28.9	0	46	6.9%	30.5	0	272	7.9%
W1 3OG Zone 5	24.6	0	0	6.8%	27.8	0	68	7.0%	27.7	0	15	6.7%	29.4	0	153	7.4%
W1 3OG Zone 6	24.8	0	0	7.0%	27.9	0	72	7.2%	28	0	17	6.9%	29.6	0	165	7.6%
W1 4OG Zone 1	26.3	0	0	7.1%	30	0	207	7.9%	30.5	0	120	7.3%	32.1	4	458	9.0%
W1 4OG Zone 2	26.4	0	0	7.0%	30.2	0	235	7.9%	30.5	0	131	7.3%	32.2	6	490	9.1%
W1 4OG Zone 3	26.4	0	0	7.0%	30.2	0	237	7.9%	30.5	0	131	7.3%	32.2	6	491	9.1%
W1 4OG Zone 4	26.3	0	0	7.0%	30	0	207	7.8%	30.6	0	119	7.3%	32.1	4	454	8.9%
W1 4OG Zone 5	25.8	0	0	7.1%	29.2	0	136	7.6%	29.5	0	55	7.1%	31.1	0	318	8.3%
W1 4OG Zone 6	25.8	0	0	7.2%	29.2	0	137	7.7%	29.5	0	54	7.2%	31	0	318	8.4%
Mittelwert	24.8	0	0	6.9%	28.1	0	84	7.2%	28.2	0	32	6.9%	29.9	0	217	7.8%
Median	25.0	0	0	6.9%	28.5	0	99	7.2%	28.6	0	40	6.9%	30.3	0	256	8.0%

¹ Anforderung an Räume mit natürlicher Lüftung, während diese weder beheizt noch gekühlt sind

² Anforderung an Räume, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind

Tabelle 25: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Altbau geschützt“.

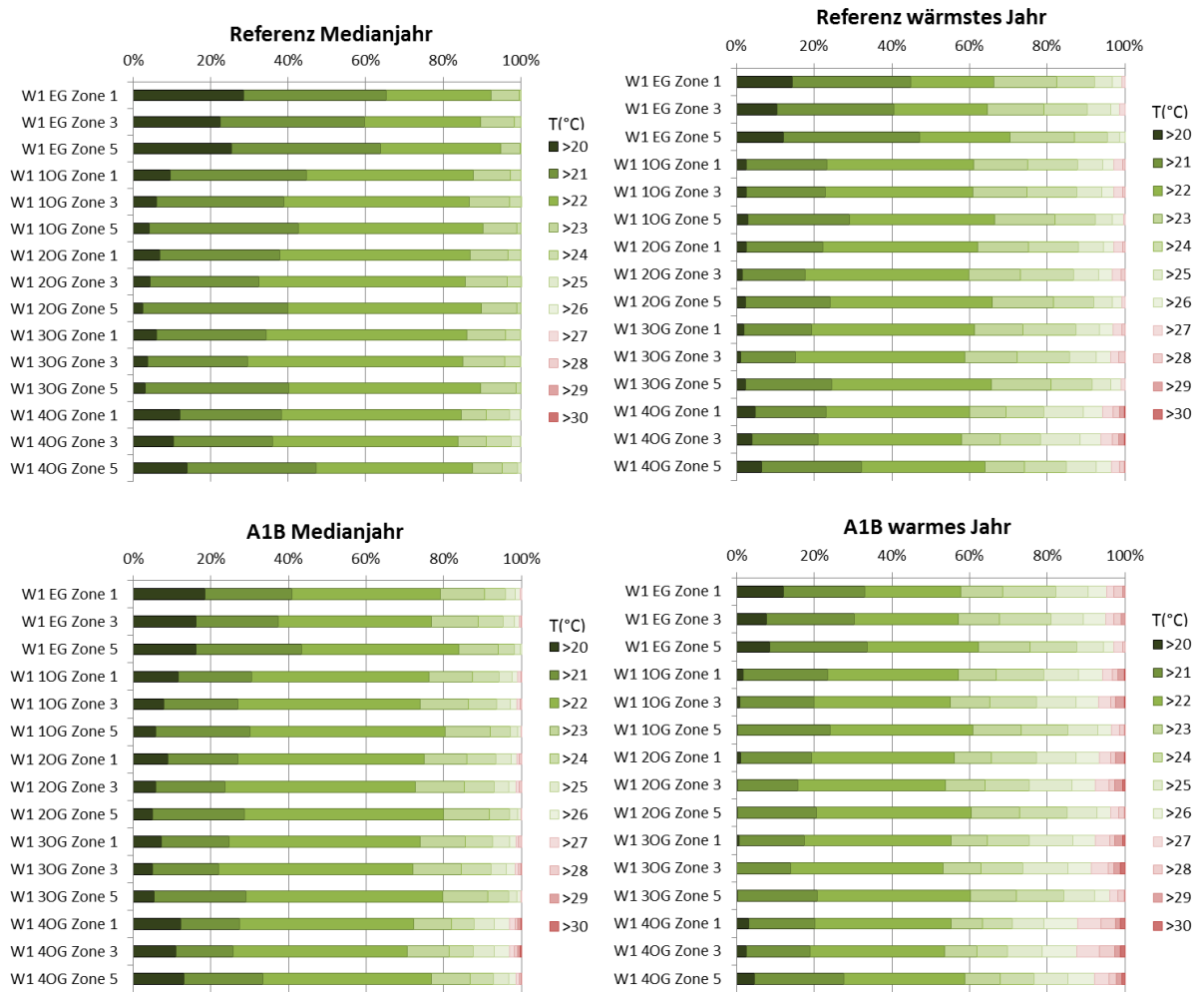


Abbildung 123: Prozentualer Anteil der Zeit der empfundenen Temperaturen in den Zonen 1, 3 und 5 in jeder Wohnung während des Zeitraums vom 15. April bis zum 16. Oktober in den Jahren Referenz Medianjahr, Referenz wärmstes Jahr, A1B Medianjahr und A1B warmes Jahr.



8.4.3. „Neubau massiv“

	Ref. Medianjahr 2004				Ref. wärmstes Jahr 2003				A1B Medianjahr 2063				A1B wärmstes Jahr 2068			
	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD
W1 EG Zone 1	26	0	0	6.7%	30	0	488	8.2%	28.2	0	81	6.7%	31.7	3	953	9.8%
W1 EG Zone 2	25.6	0	0	6.0%	29.8	0	422	7.4%	27.7	0	70	6.0%	31.2	0	947	9.0%
W1 EG Zone 3	27.5	0	50	6.5%	32.5	20	903	9.4%	30.9	10	392	7.4%	34.9	213	1301	13.1%
W1 EG Zone 4	24.7	0	0	5.2%	28.1	0	104	5.8%	26.1	0	0	5.3%	29.5	0	349	6.6%
W1 1OG Zone 1	26.2	0	0	6.7%	30.6	0	560	8.5%	29	0	125	6.8%	32.2	9	989	10.3%
W1 1OG Zone 2	25.9	0	0	6.0%	30.4	0	509	7.7%	28.5	0	121	6.1%	31.8	0	980	9.4%
W1 1OG Zone 3	28	2	89	6.6%	33.1	40	962	9.9%	31.8	19	434	7.6%	35.5	291	1308	13.5%
W1 1OG Zone 4	24.9	0	0	5.2%	28.7	0	143	5.9%	26.7	0	2	5.3%	30	0	418	6.8%
W1 2OG Zone 1	26.2	0	0	6.7%	30.7	0	576	8.6%	29.1	0	134	6.8%	32.4	14	997	10.4%
W1 2OG Zone 2	26	0	0	6.1%	30.6	0	533	7.8%	28.6	0	131	6.2%	31.9	4	996	9.6%
W1 2OG Zone 3	28.1	3	102	6.6%	33.2	48	989	10.0%	32	22	443	7.7%	35.7	306	1326	13.7%
W1 2OG Zone 4	24.9	0	0	5.3%	28.8	0	159	6.0%	26.8	0	3	5.3%	30.1	0	443	6.9%
W1 3OG Zone 1	26.2	0	0	6.9%	30.8	0	601	8.8%	29.1	0	147	7.1%	32.6	26	1033	10.9%
W1 3OG Zone 2	26	0	0	6.5%	30.6	0	570	8.3%	28.6	0	144	6.6%	32.1	15	1036	10.3%
W1 3OG Zone 3	28.1	0	87	6.8%	33.3	46	978	10.2%	31.9	21	444	7.9%	35.7	316	1326	14.0%
W1 3OG Zone 4	25.1	0	0	5.7%	29.1	0	193	6.5%	27.1	0	7	5.6%	30.5	0	537	7.5%
W2 EG Zone 1	25.8	0	0	6.3%	29.7	0	416	7.6%	27.9	0	60	6.1%	31.3	0	821	8.9%
W2 EG Zone 2	25.6	0	0	6.2%	29.5	0	345	7.4%	27.6	0	34	6.0%	31	0	763	8.5%
W2 EG Zone 3	27.6	0	50	6.8%	32.2	23	839	9.6%	31.4	7	320	7.5%	35.3	213	1261	13.0%
W2 1OG Zone 1	26	0	0	6.3%	30.3	0	483	7.9%	28.6	0	91	6.2%	31.8	2	884	9.3%
W2 1OG Zone 2	25.8	0	0	6.2%	30.1	0	414	7.6%	28.4	0	72	6.1%	31.5	0	825	8.9%
W2 1OG Zone 3	28.2	0	68	6.9%	32.8	37	869	9.9%	32.4	18	369	7.8%	35.9	259	1235	13.5%
W2 2OG Zone 1	26.1	0	0	6.4%	30.4	0	501	8.0%	28.8	0	104	6.3%	32	4	909	9.5%
W2 2OG Zone 2	25.8	0	0	6.3%	30.2	0	430	7.7%	28.5	0	79	6.2%	31.7	1	852	9.1%
W2 2OG Zone 3	28.3	0	70	6.9%	32.9	41	875	10.0%	32.5	20	376	7.8%	36	267	1241	13.6%
W2 3OG Zone 1	26.2	0	0	6.7%	30.5	0	532	8.4%	28.8	0	121	6.7%	32.3	10	972	10.1%
W2 3OG Zone 2	25.9	0	0	6.6%	30.3	0	466	8.1%	28.6	0	101	6.6%	32	4	924	9.8%
W2 3OG Zone 3	28.2	0	65	7.0%	32.9	41	881	10.1%	32.4	21	384	8.0%	36.1	281	1257	13.9%
W3 EG Zone 1	27.2	24	67	5.7%	31.5	67	676	7.6%	30.4	16	276	6.3%	34.6	113	1223	10.7%
W3 EG Zone 2	25.9	0	9	5.5%	30	0	362	6.7%	28.5	0	94	5.7%	32.5	12	888	8.7%
W3 EG Zone 3	27.7	2	74	6.5%	32.8	61	956	9.4%	31.7	18	410	7.4%	35.5	281	1325	13.3%
W3 EG Zone 4	24.6	0	0	5.2%	28.1	0	101	5.8%	26.1	0	0	5.3%	29.6	0	364	6.7%
W3 1OG Zone 1	27.6	47	114	5.7%	32.3	95	824	8.1%	31.5	47	381	6.6%	35.4	195	1282	11.4%
W3 1OG Zone 2	26.3	4	29	5.5%	30.7	5	499	7.0%	29.4	0	164	5.9%	33.2	31	981	9.3%
W2 1OG Zone 3	28.4	8	118	6.6%	33.3	97	997	9.9%	33	42	461	7.7%	36.4	343	1343	13.8%
W3 1OG Zone 4	24.8	0	0	5.2%	28.6	0	145	5.9%	26.8	0	3	5.3%	30.2	0	448	7.0%
W3 2OG Zone 1	27.7	57	136	5.8%	32.5	110	889	8.2%	31.6	61	415	6.7%	35.6	225	1313	11.7%
W3 2OG Zone 2	26.4	6	32	5.6%	30.9	10	524	7.1%	29.6	0	179	5.9%	33.4	37	1001	9.5%
W3 2OG Zone 3	28.6	13	131	6.6%	33.5	120	1034	10.1%	33.3	55	488	7.8%	36.7	368	1367	14.1%
W3 2OG Zone 4	24.9	0	0	5.2%	28.7	0	154	6.0%	26.8	0	3	5.3%	30.2	0	457	7.0%
W3 3OG Zone 1	27.8	29	98	6.2%	32.7	94	867	8.7%	31.6	36	395	7.0%	35.8	219	1308	12.3%
W3 3OG Zone 2	26.5	0	7	6.0%	31	0	516	7.6%	29.6	0	168	6.3%	33.6	41	1026	10.1%
W3 3OG Zone 3	28.5	1	107	6.8%	33.7	89	1017	10.3%	33.1	52	466	8.1%	36.8	371	1346	14.5%
W3 3OG Zone 4	25	0	0	5.6%	29	0	178	6.4%	27.1	0	9	5.6%	30.6	0	556	7.5%
Mittelwert	26.9	3	47	6.3%	31.5	31	667	8.5%	30.2	14	253	6.8%	33.8	152	1054	11.2%
Median	26.2	0	0	6.3%	31.2	0	539	8.2%	29.5	0	136	6.6%	33.2	13	1017	10.2%

¹ Anforderung an Räume mit natürlicher Lüftung, während diese weder beheizt noch gekühlt sind

² Anforderung an Räume, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind

Tabelle 26: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Neubau massiv“.

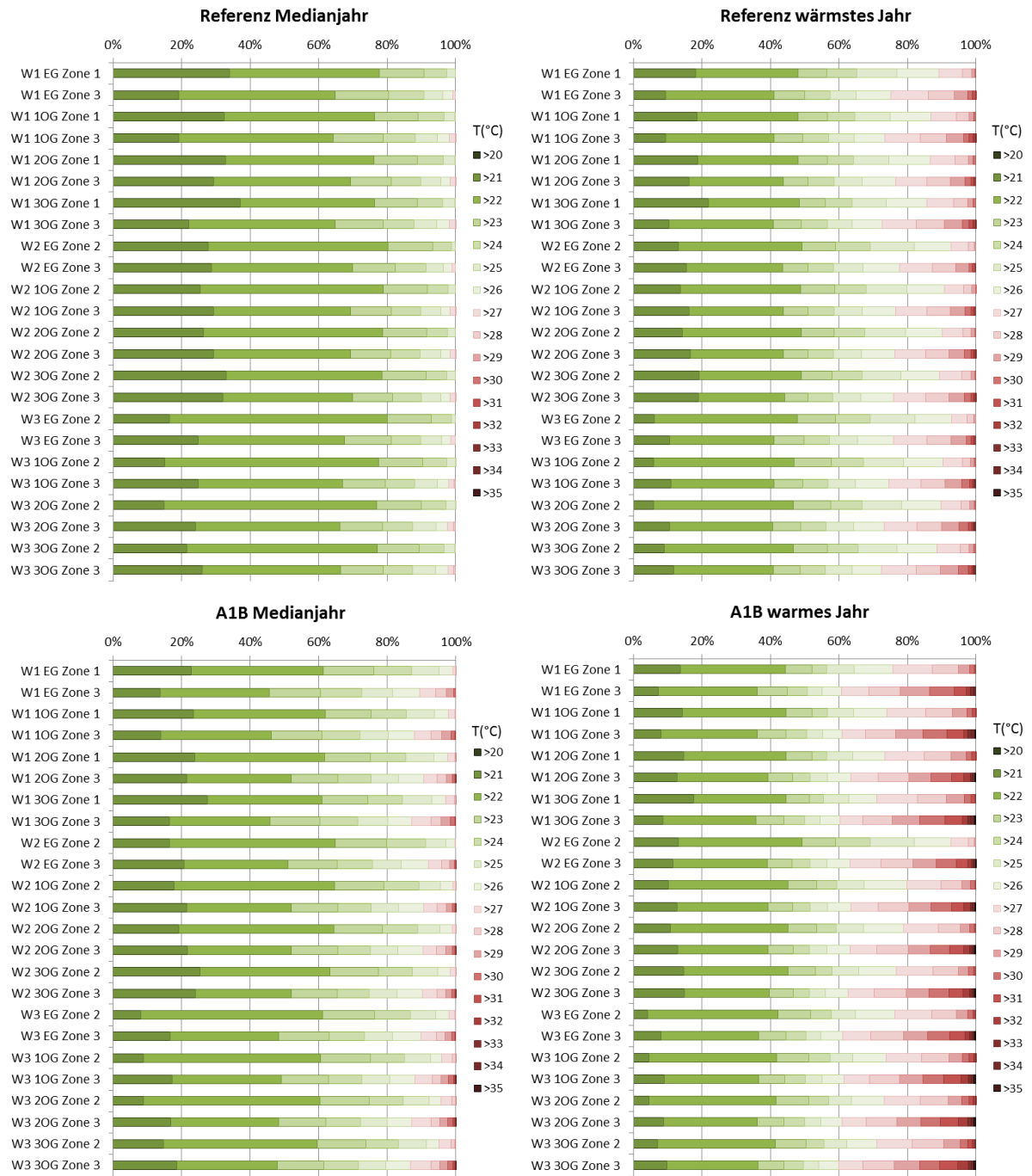


Abbildung 124: Prozentualer Anteil der Zeit der empfundenen Temperaturen in verschiedenen Zonen jeder Wohnung während des Zeitraums vom 15. April bis zum 16. Oktober in den Jahren Referenz Medianjahr, Referenz wärmstes Jahr, A1B Medianjahr und A1B warmes Jahr.



8.4.4. „Neubau hybrid“

	Ref. Medianjahr 2004				Ref. wärmstes Jahr 2003				A1B Medianjahr 2063				A1B wärmstes Jahr 2068			
	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD	Tmax (°C)	Ü. std. ¹	Ü. std. ²	PPD
W1 EG Zone 1	29.7	0	173	7.2%	34.3	143	918	11.1%	34.2	85	481	8.6%	36.2	355	1186	13.9%
W1 EG Zone 2	27.9	0	44	6.4%	32.3	20	668	8.9%	31.9	5	291	7.1%	33.8	82	1018	11.0%
W1 EG Zone 3	28.6	0	77	6.8%	33	44	697	9.4%	33.7	36	361	7.8%	35.9	215	1044	12.3%
W1 EG Zone 4	26.1	0	0	5.3%	30.5	0	363	6.8%	30.3	0	142	5.8%	32.3	6	735	8.5%
W1 1OG Zone 1	29.7	0	175	7.2%	34.6	156	933	11.3%	34.2	85	481	8.7%	36.4	367	1188	14.1%
W1 1OG Zone 2	27.9	0	44	6.5%	32.5	31	682	9.1%	31.9	5	295	7.2%	34.0	88	1020	11.2%
W1 1OG Zone 3	28.7	0	79	6.8%	33.3	53	714	9.6%	33.8	39	361	7.9%	36.1	226	1051	12.5%
W1 1OG Zone 4	26	0	0	5.3%	30.7	0	372	6.9%	30.3	0	139	5.8%	32.5	11	737	8.6%
W1 2OG Zone 1	29.8	1	176	7.3%	34.6	164	941	11.5%	34.4	93	490	9.0%	36.5	389	1200	14.5%
W1 2OG Zone 2	27.9	0	51	6.7%	32.6	36	716	9.5%	32	6	309	7.5%	34.2	109	1061	11.9%
W1 2OG Zone 3	28.8	0	83	7.0%	33.4	64	737	10.0%	33.9	46	375	8.2%	36.3	248	1077	13.1%
W1 2OG Zone 4	26.2	0	0	5.6%	30.9	0	405	7.3%	30.5	0	158	6.1%	32.7	21	817	9.1%
W2 EG Zone 1	29.8	23	203	6.2%	34.3	176	945	9.4%	36.1	133	530	8.0%	38.0	382	1256	13.2%
W2 EG Zone 2	28.6	3	80	6.1%	33	45	734	8.7%	34.3	46	387	7.4%	36.4	229	1090	12.0%
W2 1OG Zone 1	29.8	25	205	6.2%	34.5	189	954	9.6%	36.2	130	523	8.0%	38.3	383	1252	13.4%
W2 1OG Zone 2	28.6	3	82	6.2%	33.2	51	747	8.8%	34.3	46	382	7.4%	36.5	232	1086	12.1%
W2 2OG Zone 1	29.9	10	176	6.6%	34.6	154	910	10.0%	36.3	125	489	8.5%	38.4	385	1215	14.0%
W2 2OG Zone 2	28.6	2	78	6.2%	33.2	47	737	8.9%	34.3	46	376	7.5%	36.5	234	1085	12.2%
W3 EG Zone 1	27.4	0	22	6.4%	31.7	3	566	8.4%	31.3	0	246	6.8%	33.1	49	908	10.1%
W3 EG Zone 2	27.7	0	34	6.4%	32	10	613	8.6%	31.6	2	272	6.9%	33.5	66	952	10.4%
W3 EG Zone 3	27.7	0	31	6.5%	32.1	15	565	8.5%	32.5	12	274	7.2%	34.5	102	920	10.8%
W3 EG Zone 4	25.6	0	0	5.3%	29.9	0	280	6.4%	29.6	0	105	5.6%	31.5	0	568	7.7%
W3 1OG Zone 1	27.4	0	21	6.4%	32	8	574	8.5%	31.3	0	241	6.9%	33.3	56	908	10.3%
W3 1OG Zone 2	27.7	0	35	6.4%	32.3	18	621	8.7%	31.6	1	268	7.0%	33.7	68	952	10.6%
W3 1OG Zone 3	27.7	0	32	6.5%	32.3	22	575	8.6%	32.5	11	271	7.2%	34.7	112	924	11.0%
W3 1OG Zone 4	25.6	0	0	5.3%	30.1	0	286	6.4%	29.5	0	96	5.6%	31.6	0	547	7.7%
W3 2OG Zone 1	27.6	0	31	6.7%	32.2	18	610	9.1%	31.7	3	268	7.4%	33.7	73	959	11.1%
W3 2OG Zone 2	27.9	0	44	6.7%	32.5	30	656	9.2%	32	7	286	7.4%	34.0	90	997	11.3%
W3 2OG Zone 3	27.8	0	35	6.7%	32.4	26	593	8.9%	32.7	13	288	7.4%	34.9	127	945	11.4%
W3 2OG Zone 4	25.7	0	0	5.3%	30.2	0	307	6.5%	29.6	0	109	5.6%	31.8	0	591	7.9%
W4 EG Zone 1	30.4	55	362	7.2%	34.9	304	1167	11.7%	35.4	192	672	9.3%	37.6	583	1420	15.2%
W4 EG Zone 2	27.9	0	45	6.4%	32.3	22	640	8.7%	31.9	7	286	7.0%	33.8	81	975	10.7%
W4 EG Zone 3	28.9	2	126	6.7%	33.4	72	807	9.5%	34	60	423	7.9%	36.1	272	1100	12.5%
W4 EG Zone 4	25.8	0	0	5.3%	30.2	0	323	6.6%	29.9	0	124	5.7%	31.9	0	625	8.0%
W4 1OG Zone 1	30.5	62	371	7.2%	35.2	320	1187	11.9%	35.5	195	668	9.4%	37.8	601	1421	15.5%
W4 1OG Zone 2	27.9	0	47	6.4%	32.5	32	648	8.9%	32	7	283	7.1%	34.0	84	978	10.8%
W4 1OG Zone 3	29.0	5	136	6.7%	33.6	88	834	9.7%	34	61	431	7.9%	36.4	284	1107	12.7%
W4 1OG Zone 4	25.8	0	0	5.3%	30.5	0	332	6.7%	29.9	0	122	5.7%	32.0	1	615	8.0%
W4 2OG Zone 1	30.5	47	325	7.4%	35.3	293	1139	12.1%	35.6	183	641	9.6%	37.9	582	1382	15.8%
W4 2OG Zone 2	28.1	0	55	6.7%	32.8	38	679	9.3%	32.3	13	304	7.5%	34.3	111	1013	11.5%
W4 2OG Zone 3	29.1	1	125	6.8%	33.7	82	824	9.9%	34.2	64	417	8.1%	36.5	291	1109	13.0%
W4 2OG Zone 4	26	0	0	5.3%	30.7	0	360	6.8%	30.2	0	134	5.8%	32.3	6	677	8.3%
WA1 Zone 1	30.5	13	227	7.5%	35.2	240	1024	12.4%	35.1	145	566	9.6%	37.3	499	1269	15.7%
WA1 Zone 2	29.1	0	106	7.2%	33.8	90	795	10.5%	33.9	46	387	8.5%	36.1	259	1089	13.4%
WA1 Zone 3	28.6	0	75	6.9%	33.2	48	711	9.7%	33.8	38	361	8.1%	36.3	229	1069	12.8%
WA1 Zone 4	28.4	0	77	7.1%	33.1	54	747	10.0%	32.9	27	353	8.2%	35.3	197	1078	12.8%
WA1 Zone 5	28.2	0	44	6.8%	32.9	33	650	9.3%	33.5	26	343	7.9%	35.9	190	1065	12.5%
WA1 Zone 6	26.4	0	0	6.4%	31	0	436	8.1%	30.6	0	178	6.8%	32.8	27	843	10.0%
WA1 Zone 7	26.2	0	0	6.5%	31	0	403	8.1%	30.4	0	158	6.9%	32.8	23	795	9.9%
Mittelwert	28.2	4	82	6.5%	32.8	63	691	9.1%	33.1	41	340	7.5%	35.2	188	1018	11.7%
Median	27.9	0	47	6.5%	32.6	33	679	9.1%	32.5	13	304	7.4%	34.7	112	1020	11.5%

¹ Anforderung an Räume mit natürlicher Lüftung, während diese weder beheizt noch gekühlt sind

² Anforderung an Räume, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind

Tabelle 27: Maximale empfundene Temperaturen (Tmax), Anzahl Überhitzungsstunden (Ü.std.), bezogen auf den unteren Grenzwert der SIA 180:2014 [12], sowie Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) in verschiedenen Zonen des Gebäudes und Mittel- bzw. Medianwert des Gebäudes „Neubau hybrid“.

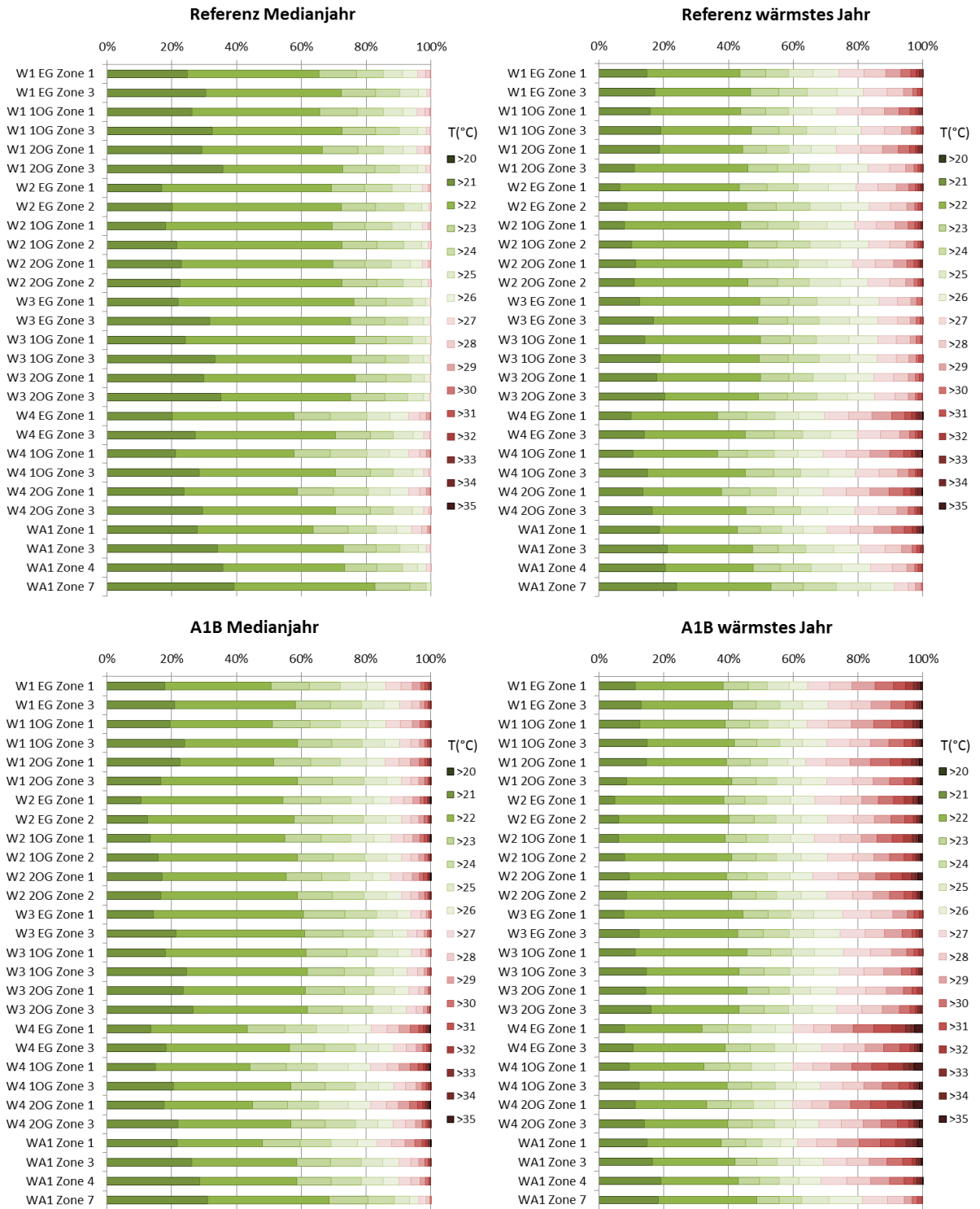


Abbildung 125: Prozentualer Anteil der Zeit der empfundenen Temperaturen in verschiedenen Zonen jeder Wohnung während des Zeitraums vom 15. April bis zum 16. Oktober in den Jahren Referenz Medianjahr, Referenz wärmstes Jahr, A1B Medianjahr und A1B warmes Jahr.